

Metodyka wyznaczania poziomu oleju w silniku spalinowym

Andrzej Suchecki, Tomasz Knefel, Jacek Nowakowski

W artykule przedstawiono sposób postępowania umożliwiającą przeprowadzenia doboru odpowiednich, bezpiecznych dla pracy silnika poziomów oleju w misce olejowej oraz określenie ich wpływu na parametry pracy silnika. Przeanalizowano również możliwość pracy silnika w przechyłach wzdłużnych i poprzecznych w stosunku do osi pojazdu, w celu określenia zakresu kątów, dla których nastąpi zassanie oleju na stronę dolotową silnika. Ponadto, w oparciu o uzyskane wyniki, podjęto próbę wskazania najbardziej optymalnego poziomu oleju w misce olejowej silnika spalinowego.

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, układ smarowania

1. Wprowadzenie i cel pracy

W skrzyni korbowej silnika zawsze panuje nadciśnienie wywołane przedmuchami gazów spalinowych, a także parowaniem rozgrzanego oleju. Przedmuchy z przestrzeni spalania do skrzyni korbowej są wywołane dużą różnicą ciśnień występujących w tych przestrzeniach podczas procesów sprężania i spalania. Przedmuchy są nieuniknione i występują nawet w silniku o najlepiej dotartych i dobrze działających pierścieniach tłokowych. Pełnosprawny silnik przy pracy ze znamionową mocą wykazuje przedmuchy w ilości 0,5÷1 % zasysanego powietrza. Odpowietrzniki stosuje się w celu zmniejszenia nadciśnienia oraz usunięcia ze skrzyni korbowej spalin, które pogarszają własności oleju i przyspieszają jego starzenie. Aby uniknąć strat oleju, odpowietrznik umieszcza się najczęściej w górnej części skrzyni korbowej. W powszechnie stosowanych układach smarowania olej jest zmagazynowany w misce olejowej. Ilość oleju w silniku orientacyjnie można określić jako dwu do sześciokrotnie większą od objętości skokowej silnika. Mniejszą ilość można stosować przy wprowadzeniu chłodnicy oleju i dobrym przewiewie miski w silnikach trakcyjnych.

Celem pracy było opracowanie metodyki doboru bezpiecznych dla pracy silnika poziomów oleju w misce olejowej oraz określenie ich wpływu na parametry pracy silnika. Przeanalizowano również możliwość pracy silnika przy przechyłach wzdłużnych i poprzecznych, w celu określenia zakresu kątów, dla których nastąpi zassanie oleju do układu dolotowego silnika. Ponadto, w oparciu o uzyskane wyniki, podjęto próbę wskazania najbardziej optymalnego poziomu oleju. Rozważania dotyczą układu smarowania z mokra miską olejową.

2. Obiekt, stanowisko i zakres badań

Obiektem badań był czterocylindrowy silnik o zapłonie samoczynnym, spełniający wymogi normy Euro V. Podstawowe dane silnika zawarto w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry badanego silnika

liczba cylindrów	4
objętość skokowa [cm ³]	1248
średnica cylindra x skok tłoka [mm]	69,6 x 82
stopień sprężania	18
maksymalna moc (przy 4000 obr/min) [kW]	55
maksymalny moment (przy 2000 obr/min) [Nm]	180

Badany silnik pracował na stanowisku hamownianym, w którym do zmiany obciążenia używano elektrowrowego hamulca W150 z elektronicznym układem sterującym firmy SCHENCK. Zadymienie spalin mierzono dymomierzem AVL 415S Smoke Meter, a natężenie przepływu przedmuchiwanych spalin za pomocą przepływomierza z przesłoną spiętrzącą AVL Blow-By Meter 4040-A02. Do pomiaru masy oleju w próbach olejowych wykorzystano specjalistyczną wagę Bizerba S.p.A. Milano. Pomiarzy wykonano na hamowni silnikowej w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji „Bosmal” w Bielsku-Białej.

Aby określić wpływ poziomu oleju w misce olejowej na parametry pracy silnika, należało najpierw ustalić odpowiednie poziomy oleju. Wymagało to specjalnego przygotowania silnika i stanowiska do badań. Silnik wyposażono w miskę olejową ze szklanym oknem, przez które można obserwować poziomy oleju w silniku. Z kolei stanowisko badawcze musiało umożliwiać przechyłanie silnika zarówno wzdłuż osi poprzecznej, jak i wzdłużnej, maksymalnie do 45° w kierunku każdej z nich.

W pierwszej kolejności należało wyznaczyć minimalny poziom oleju w misce, to znaczy taki, który zapewnia nieprzerwane zasysanie oleju przez smok dla pochylenia silnika o 45° w każdym kierunku. Do uzyskania wymaganego poziomu do silnika wiano 2,3 litra oleju. Następnie należało wyznaczyć poziom absolutnego minimum dla silnika nieprzechylonego. Był to poziom równy najniższemu punktowi smoka pompy oleju. Ustalono, że dla tego położenia w silniku znajduje się 1,8 litra oleju.

Kolejnym krokiem było wyznaczenie maksymalnego poziomu oleju. Przyjęto, że określi go objętość miski olejowej, gdy najniżej położone punkty wału korbowego zetkną się

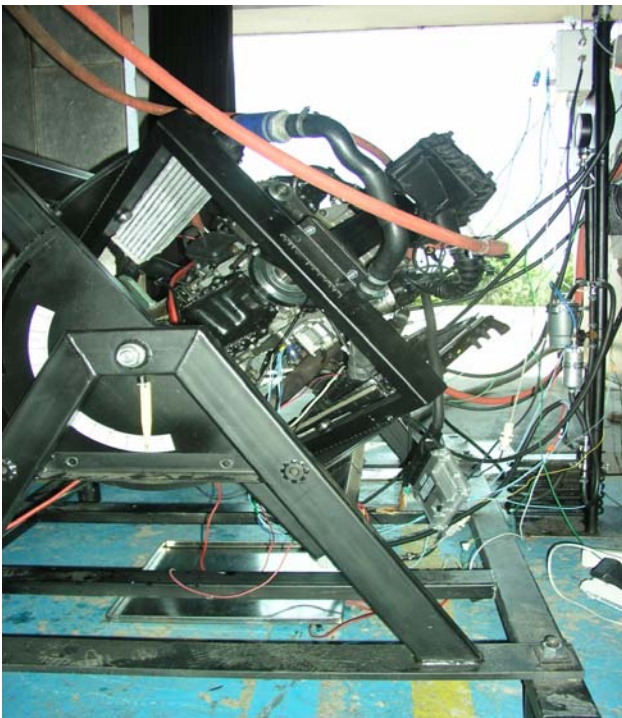
z powierzchnią oleju. Tak wyznaczona objętość wyniosła 4,2 litra oleju. Następnym etapem było wyznaczenie poziomu absolutnego maksimum, który określono, jako 20 mm powyżej stanu maksymalnego. Oznacza to, że przeciwcieżary wału korbowego oraz stopy korbowodów zanurzały się w oleju na głębokość 20 mm. Wtedy w silniku znajdowało się 5,2 litra oleju. Ostatnim etapem było ustalenie poziomu średniego, między poziomem minimalnym (2,3 l), a maksymalnym (4,2 l), czyli 3,25 litra oleju.

Badany silnik umieszczono na specjalnie skonstruowanej ramie (rys. 1, 2), umożliwiającej przechyły silnika względem osi X i Y. Rama umożliwiła wykonanie następujących testów:

- przechylenia silnika w osi X od 0° do 45° i od 0° do -45°, (co symulowało odpowiednio zjazd i podjazd pojazdu pod strome wzniesienie),
- przechylenia w osi Y od 0° do 45° i od 0° do -45°, (co symulowało przechył pojazdu odpowiednio w lewo i prawo),
- jednocześnie przechylenia w osiach X i Y od 0° do 45° i od 0° do -45°, (zjazd i podjazd z przechylem w lewo oraz zjazd i podjazd z przechylem w prawo).

Wszystkie powyższe położenia były sprawdzane dla następujących przypadków:

- temperatura oleju 30°C (test na zimno), poziom oleju maksymalny (4,2 l),
- temperatura oleju 130°C (test na gorąco), poziom oleju maksymalny (4,2 l),
- zwiększone ciśnienie w skrzyni korbowej dla temperatury oleju 130°C, poziom oleju maksymalny (4,2 l),
- zwiększony poziom oleju do maksymalnego + 1 litr (5,2 l) i temperatury oleju 130°C.



Rys. 1 Silnik na specjalnym stanowisku badawczym przechylony w osi X o kąt +45° i w osi Y o kąt +35°.

W trakcie tych prób odpowietrzenie skrzyni korbowej poprowadzone było przez zbiornik o przezroczystych ściankach, który zatrzymywał przedmuchiwany olej.

Aby wyznaczyć wartości kątów przechyłu silnika, dla których występuje tendencja do przedmuchiwania oleju, ustalono pewien tok postępowania. Pomiary rozpoczynano od ustawienia silnika w jednej ze skrajnych pozycji (45° lub -45° dla każdej osi). Następnie w przypadku pozytywnego wyniku próby (brak przedmuchiwanego oleju w zbiorniku) pomiar zapisywano w tabeli jako prawidłowy i ustawiano silnik w kolejnym, charakterystycznym punkcie. Jeżeli wynik był negatywny (olej został przedmuchiwany przez separator), szukano następnego punktu, dla którego wynik był pozytywny. Dokonywano tego poprzez przechylenie silnika względem danej osi. Postępując w ten sposób utworzono mapę kątów, na których silnik pracuje prawidłowo, bez przedmuchiwania oleju do zbiornika oraz tych, dla których praca silnika jest niedopuszczalna z powodu występowania przedmuchu oleju przez separator. Efektem było zmniejszenie liczby koniecznych do wykonania pomiarów, przy uzyskaniu w pełni miarodajnych wyników.



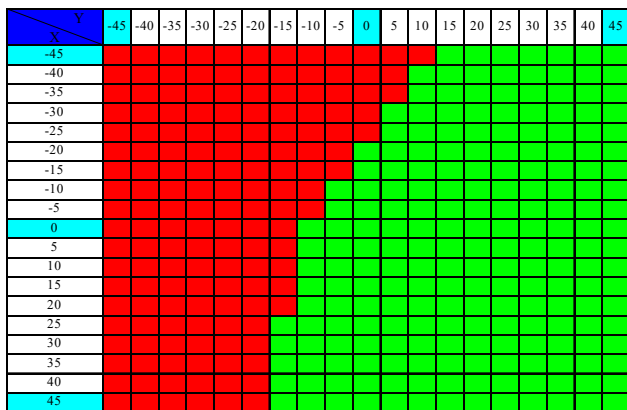
Rys. 2. Silnik na specjalnym stanowisku badawczym przechylony w osi X o kąt -35°.

2. Wyniki pomiarów

Na rysunku 3 przedstawiono przykład graficznej ilustracji wyników próby pracy przechylonego silnika. Kolorem zielonym zaznaczono wartości kątów przechyłu, przy których nie stwierdzono przedmuchów, kolorem czerwonym kąty, przy których następowało przedmuchiwanie oleju przez separator, a kolorem niebieskim wartości charakterystyczne kątów, od których każdorazowo rozpoczynano pomiary. W rozważanym przypadku w silniku znajdowało się 5,2 l oleju o temperaturze 130°C. Jest to najbardziej niekorzystny ze wszystkich rozważanych przypadków, ponieważ nawet przy poziomym ustawieniu silnika wał korbowy zanurzony jest w oleju na głębokość 20 mm. Można zauważyć znaczące ograniczenie możliwości przechylania silnika (czerwone pola). Dotyczy to przechyłu na stronę koła zamachowego, gdzie w skrajnym przypadku dochodzi o przedmuchu oleju przez separator dla pochylenia -45° względem osi X i 15° względem osi Y.

Niezależnie od pomiarów mających na celu określenie warunków wystąpienia przedmuchów przez separator,

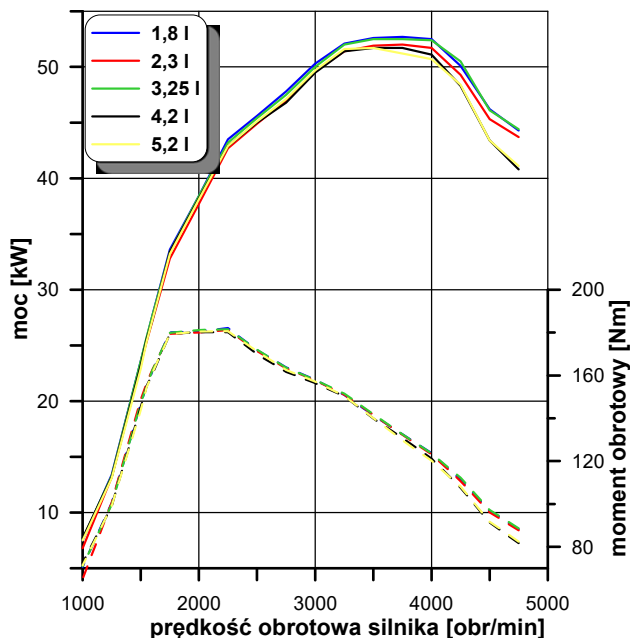
proawdzono pomiary wybranych parametrów pracy silnika oraz innych wielkości istotnych przy pracy silnika z przechyłami. Dla różnych prędkości obrotowych i obciążeń mierzono: zadyminie spalin, podciśnienie w skrzyni korbowej, przedmuchy spalin do skrzyni korbowej, temperatury oleju w różnych punktach układu smarowania, ciśnienie oleju, temperaturę cieczy chłodzącej, moment obrotowy, moc silnika oraz godzinowe i jednostkowe zużycie paliwa.



Rys. 3. Wyniki prób przechylania silnika dla maksymalnego poziomu oleju (5,2 l) oraz temperatury 130°C.

Wybrane przebiegi mierzonych wielkości przedstawiono na rys. 4÷7.

Na rys. 4 przedstawiono przebiegi mocy (linie ciągłe) i momentu obrotowego (linie przerywane) silnika dla pięciu badanych poziomów oleju.

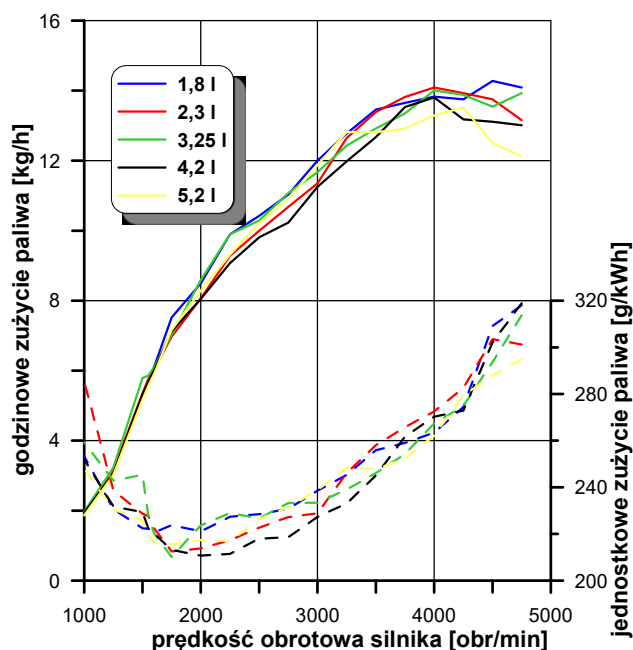


Rys. 4. Zmiany momentu obrotowego i mocy silnika dla różnych poziomów oleju.

Pomiary wykonano przy pełnym obciążeniu silnika. Istotne zmiany analizowanych parametrów zaobserwowano dla

wysokich prędkości obrotowych. Różnice 8 Nm i 3,6 kW odnoszą się do pracy silnika z minimalnym i maksymalnym poziomem oleju. Zmniejszenie wartości analizowanych wielkości wraz ze zwiększeniem ilości oleju w układzie wynika ze zwiększonych oporów ruchu układu korbowego.

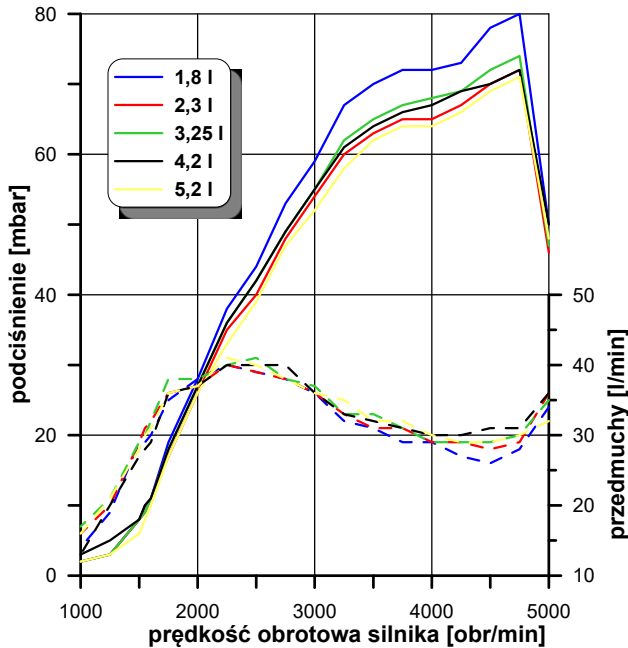
Na rys. 5 przedstawiono przebiegi godzinowego (linie ciągłe) i jednostkowego (linie przerywane) zużycia paliwa. Dla różnych poziomów oleju przebiegi różnią się praktycznie w całym rozpatrywanym zakresie prędkości obrotowych, zwłaszcza powyżej 1750 obr/min. Zwiększenie ilości oleju w układzie powoduje zmniejszenie zużycia paliwa od 5 % do 9 %. Wyjaśnienie przyczyn zjawiska jest stosunkowo trudne, ponieważ wpływ mają tutaj głównie czynniki termodynamiczne, oddziałujące bezpośrednio na elementy silnika, jak i uwzględniane przez elementy układu sterowania.



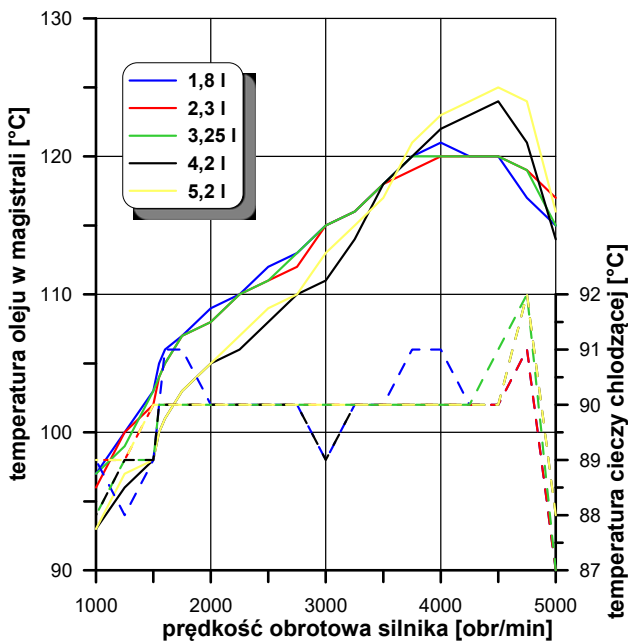
Rys. 5. Zmiany godzinowego i jednostkowego zużycia paliwa dla różnych poziomów oleju w misce olejowej.

Rys. 6 przedstawia zmiany przedmuchów (linie przerywane) i podciśnienia w skrzyni korbowej dla różnych poziomów oleju w misce olejowej, przy pełnym obciążeniu silnika. Pewne różnice wielkości przedmuchów występują powyżej 3000 obr/min i są większe dla większych ilości oleju w układzie smarowania, a mniejsze dla mniejszych ilości oleju. Większa ilość oleju skutkuje zmniejszeniem objętości skrzyni korbowej i wypychaniem spalin z tej przestrzeni. Przebiegi podciśnienia zmieniają się w zależności od trybu pracy turbosprężarki. Powyżej 4750 obr/min następuje zmniejszenie wydatku turbosprężarki, stąd zmniejszenie podciśnienia. Największe wartości występują dla najmniejszej objętości oleju w misce, a najmniejsze dla największej. Różnice podciśnienia występujące przy minimalnym i maksymalnym poziomie oleju wynoszą około 10 mbar. Podobnie jak w przypadku przedmuchów wynikają głównie ze zmian wypełnienia skrzyni korbowej olejem.

Z kolei rys. 7 przedstawia przebiegi temperatury oleju w magistrali olejowej (linie ciągłe) i temperatury cieczy chłodzącej, wykonane dla pełnego obciążenia silnika. Wahania temperatur cieczy chłodzącej są prawdopodobnie główną przyczyną zmian temperatur oleju, dla różnych objętości w misce olejowej. Wpływają również na dokładność i poprawność uzyskanych wyników.



Rys. 6. Zmiany przedmuchi do skrzyni korbowej i podciśnienia w skrzyni korbowej dla różnych poziomów oleju w misce olejowej przy pełnym obciążeniu silnika.



Rys. 7. Temperatura oleju w magistrali olejowej i temperatura cieczy chłodzącej dla różnych poziomów oleju.

Wahania temperatur są następstwem pracy regulatorów temperatury cieczy chłodzącej i nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie ich wpływu na mierzone wielkości, o czym należy pamiętać podczas analizy wyników. Daje się zauważyć inny przebieg zmian temperatury oleju dla dwóch największych, badanych objętości. Jest to spowodowane prawdopodobnie niższą temperaturą wyjściową oleju (temperaturą oleju w misce olejowej), która dla większych ilości oleju jest nieznacznie mniejsza.

Podsumowanie

Przyjęta metodyka postępowania, obejmująca przeprowadzenie kompleksowych pomiarów parametrów pracy silnika na specjalnie przygotowanym stanowisku, pozwoliła w pełni przeanalizować wpływ poziomu oleju na osiągi silnika. Na podstawie zebranych danych można określić, który z przyjętych poziomów oleju jest najbardziej optymalny i wybrać zakres, w którym powinien być utrzymywany w czasie eksploatacji.

Dobór poziomu oleju należy oczywiście rozpatrywać pod kątem przeznaczenia danej jednostki napędowej. Dla silnika eksploatowanego w trudnym terenie, podczas znacznych przechyłów najbardziej korzystne będą wyższe poziomy oleju, ze względu na zanurzenie smoka w oleju nawet przy dużych przechyłach silnika.

Z kolei w silniku, który będzie pracował stacjonarnie lub będzie napędzał pojazdy, które nie podlegają znaczącym przechyłom, lepsze będą niższe poziomy oleju ze względu na mniejsze straty mocy, mniejsze zmiany temperatur oraz mniejsze straty oleju wynikające z przedmuchiwania jego par na stronę dolotową silnika.

W przypadku przyjętych do badań poziomów oleju należy jednak wykluczyć dwa najbardziej skrajne, czyli poziom 1,8 l oraz 5,2 l, gdyż oba zagrażają bezpieczeństwu pracy silnika. Pierwszy z nich ze względu na zbyt mały zapas oleju, w wyniku, czego nawet niewielkie przechyły silnika, czy zmiany poziomu wynikające z przeciążeń bocznych, mogą doprowadzić do chwilowego zassania powietrza przez smok, a co za tym idzie spowodować zmniejszenie lub chwilowy brak ciśnienia oleju. Ten poziom nie uwzględnia również zmniejszenia ilości oleju spowodowanej jego spalaniem w silniku.

Z kolei najwyższy z rozpatrywanych poziomów oleju (5,2 l) również nie powinien być stosowany, ze względu na zbyt dużą skłonność do zasysania oleju na stronę dolotową podczas przechylania rozgrzanego silnika. Ponadto, w niskich temperaturach, wał korbowy i stopy korbowodów uderzające o powierzchnię oleju mogą utrudniać rozruch.

Pozostałe analizowane poziomy oleju (2,3 l, 3,25 l i 4,2 l) zapewniają bezpieczną pracę silnika w zależności od warunków eksploatacji, przy czym najkorzystniejszy ze względu na znaczny margines bezpieczeństwa oraz parametry pracy silnika, jest przedział między 3,25 l a 4,2 l. Dla pojazdów, w których silnik nie podlega znacznym przechyłom, ilość oleju powinna być utrzymywana na poziomie 3,25 l, natomiast dla pojazdów eksploatowanych ze znacznymi przechyłami ilość oleju powinna być zbliżona do 4,2 l.

Bibliografia

1. Adamski W., Brzozowski K., Nowakowski J., Praszkiwicz T., Rzeczywista eksploatacja trakcyjna silnika a warunki przyjmowane w teście homologacyjnym. *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 2014, nr 5.
2. Kaźmierczak A.: Tarcie, zużycie i smarowanie w silnikach spalinowych. Politechnika Wroclawska. Wroclaw PW 1996.
3. Luft S.: Podstawy budowy silników. Warszawa. WKŁ, 2011.
4. Merkisz J., Pielecha I., Borowski P., Parametry eksploatacyjne silników spalinowych w pojazdach typu Range Extende. *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 2016, nr 6.
5. Merkisz J.: Zużycie oleju w szybkoobrotowych silnikach spalinowych. Politechnika Poznańska. Poznań, 1994.
6. Serdecki W.: Badania silników spalinowych. Wydaw. Politechniki Poznańskiej. Poznań 2012.

Autorzy:

Dr inż. **Andrzej Suhecki** – Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL w Bielsku-Białej

Dr hab. inż. **Tomasz Knefel** – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

Dr hab. inż. **Jacek Nowakowski** – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

The methodology for determining the level of oil in the internal combustion engine

In this article the methodology for determining the appropriate volume of oil in the sump and its influence on the operation of the engine is described. Also examined the possibility of operating the engine in the heel and transverse to the longitudinal axis of the vehicle, in order to determine the range of angles for which the oil will be sucked towards the inlet of the engine. Further, based on the obtained results, it was attempted to identify the most optimum level of the oil sump of the internal combustion engine.

Key words: internal combustion engine, engine lubrication system.