

Bogdan Żółtowski*

OLEJE SILNIKOWE W ŚRODOWISKU

Streszczenie. Przedstawiono wybrane aspekty zagrożeń zanieczyszczenia środowiska olejami silnikowymi. Czas efektywnej pracy oleju i innych materiałów smarnych może zdecydowanie ograniczyć szkodliwe oddziaływanie na środowisko. Stosowanie różnych gatunków olejów, rozregulowania i uszkodzenia silników to tylko niektóre elementy intensyfikujące emisję szkodliwych składników. Wzrost zastosowania olejów o niskiej lepkości, jak i modyfikatorów tarcia wiąże się ze zmniejszeniem zużycia paliwa i zmniejszeniem emisji CO₂.

Słowa kluczowe: oleje silnikowe, środowisko naturalne, ekologia, emisja spalin

WSTĘP

W celu ograniczenia niekorzystnego wpływu silników spalinowych na środowisko naturalne, podejmuje się działania zmierzające do oceny zagrożeń zarówno ze strony całego pojazdu, jak i jego materiałów eksploatacyjnych, do których zalicza się silnikowe oleje smarowe. Zagadnienia ekologii każdego produktu, także olejów smarowych, powinny dotyczyć całego cyklu ich „życia”: począwszy od produkcji, poprzez fazę eksploatacji, aż do kasacji. Faza pierwsza i ostatnia, czyli produkcja i utylizacja, powinny być ściśle związane ze sobą problemem recyklingu, który wysuwa się na czoło zagadnień badawczych w wielu działach przemysłu, w tym także rafineryjnym.

TOKSYCZNOŚĆ OLEJÓW SILNIKOWYCH

Silnikowe oleje smarowe zanieczyszczają środowisko w czasie ich produkcji oraz praktycznie na wszystkich etapach ich stosowania: w czasie transportu do użytkowników, długiego magazynowania, podczas pracy w silniku, a także przy zbiórce i utylizacji po zakończeniu okresu eksploatacji. W każdym z wymienionych etapów stopień wpływu olejów na środowisko jest różny i zależy od trzech głównych czynników: składu chemicznego oleju, warunków pracy (temperatury roboczej) w silniku spalinowym i sposobu obchodzenia się z olejami. Decydujący jest oczywiście skład chemiczny oleju, który

* Prof. dr hab. Bogdan Żółtowski, Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów Akademii Techniczno - Rolniczej w Bydgoszczy

charakteryzuje potencjalny wpływ na środowisko, a także determinuje najbardziej ekologiczny i ekonomicznie uzasadniony sposób utylizacji przepracowanego oleju. Warunki pracy oleju silnikowego [1] określają jego zużycie ilościowe i jakościowe (zwłaszcza temperatura pracy wpływa na intensywność przemian fizykochemicznych, np. utleniania).

Stopień toksyczności olejów jest różny i zależy od struktury komponentów, przy czym na ogół stanowią one zagrożenie dla gleby i wody. Według stopnia zagrożenia dla wód naturalnych oleje dzieli się umownie na klasy (im wyższa klasa, tym większe zagrożenie): 0 – roślinne i mineralne wysoko oczyszczone, 1 – bazowe, 2 – handlowe, 3 – przepracowane.

Szkodliwymi dla człowieka składnikami pierwotnymi olejów są węglowodory aromatyczne i nienasycone oraz związki heteroorganiczne (zawierające siarkę, azot i tlen).

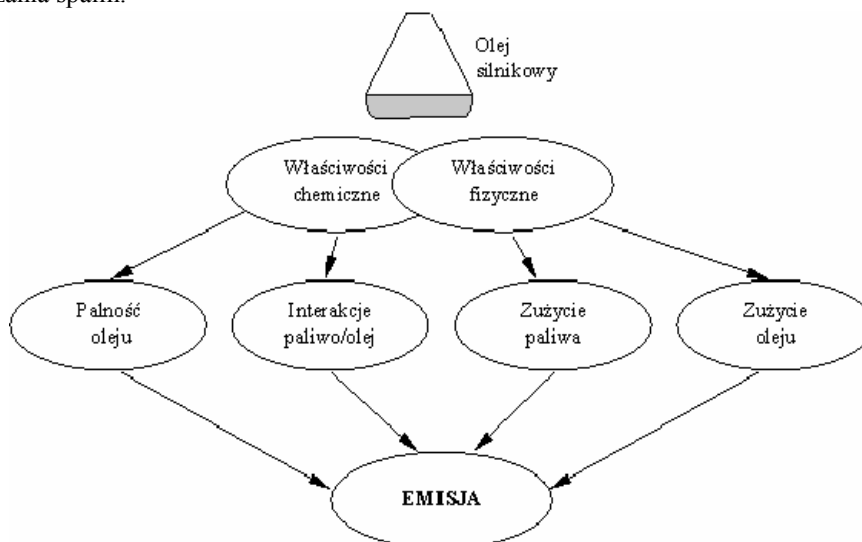
Oleje mineralne otrzymuje się w procesach selektywnej rafinacji rozpuszczalnikami (np. fenolem, furolem) lub/i w procesach wodorowych (hydrokraking, hydorafinacja), dzięki którym usuwane są znaczne ilości niepożądanych składników, również tych szkodliwych dla zdrowia człowieka. W przemyśle rafinacyjnym miarą zawartości w olejach wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (PAH) jest stopień ich ekstrakcji dwu-metylo-sulfotlenkiem (DMSO). Przyjęto, że produkty naftowe powyżej 3% ekstraktu są niebezpieczne dla człowieka. Niebezpieczne dla środowiska naturalnego są także niektóre dodatki wchodzące w skład pakietu dodatków uszlachetniających, zawierające m.in. związki takich pierwiastków jak chlor, siarka, fosfor. W wielu krajach wyeliminowano lub ograniczono zawartości dodatków o dużej szkodliwości dla zdrowia, zawierających chlor, bar i ołów.

W czasie pracy silnika olej smarowy zapewnia wchłanianie i usuwanie produktów powstających ze spalania paliwa i ze zużywania się części silnika. Te zanieczyszczenia w znacznej mierze utrzymywane są w oleju, który zawiera, oprócz wymienionych już wcześniej niebezpiecznych składników pierwotnych, dodatkowe, np. cynk, miedź, nikiel, chrom itp. Pewna część oleju ulega spalaniu w silniku, odparowaniu oraz wyciekom. W silnikach dwusuwowych, o smarowaniu mieszkankowym, cały olej wprowadzony do silnika ulega spalaniu.

WPŁYW OLEJU SILNIKOWEGO NA JAKOŚĆ EMISJI SPALIN

Jakość, skład i właściwości fizykochemiczne oleju silnikowego są ważnymi czynnikami eksploatacyjnymi silnika, które w dużym stopniu mogą wpływać na skład i poziom emisji toksycznych składników formowanych w procesie roboczym silnika. Oddziaływanie oleju na wspomniane wskaźniki jest zjawiskiem złożonym i nie do końca poznanym. Na rys.1 przedstawiono niektóre możliwości wpływu oleju na emisję [1, 2]. Zastąpienie w silniku ZS klasycznego oleju mineralnego SAE 15W/40 w pełni syntetycznym olejem SAE 5W/40 umożliwia znaczne obniżenie emisji CO i PM oraz zadyymienia spalin, przy niewielkim wzroście emisji NO₂. Wskazuje się również na silne powiązanie wpływu oleju na emisję z gatunkiem stosowanego paliwa. Niska emisja produktów niepełnego spalania w obecności oleju syntetycznego spowodowana jest jego lepszą palnością niż bazy mineralnej. Dodatkowo dzięki niższej lepkości oleju 5W/40, mniejsze są straty mechaniczne, a więc przy tej samej mocy silnik pracuje z wyższym AFR. W związku z niską lepkością i lotnością oleju syntetycznego mniejsze jest również

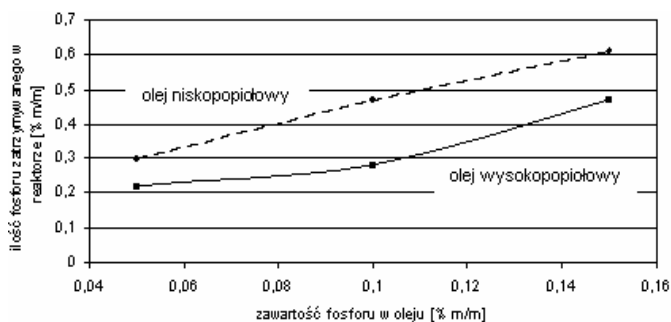
jego zużycie. Wpływ oleju silnikowego na emisję toksycznych składników spalin zachodzi również na drodze oddziaływania na sprawność katalitycznych układów oczyszczania spalin.



Rys.1. Mechanizm wpływu oleju silnikowego na emisję toksycznych składników spalin [3].

Fig. 1. The mechanism of engine oil's influence on toxic fumes contents emission.

Parametrem, który nabiera ostatnio największego znaczenia w tym aspekcie jest zawartość fosforu. Związki fosforu (przede wszystkim dial-kilo-ditio-fosforan cynku – ZDTP) są bardzo skutecznymi dodatkami przeciwwzużyciowymi, jednak powodują odkładanie fosforu na powierzchni katalizatora (rys. 2) i jego „zatrucie”.

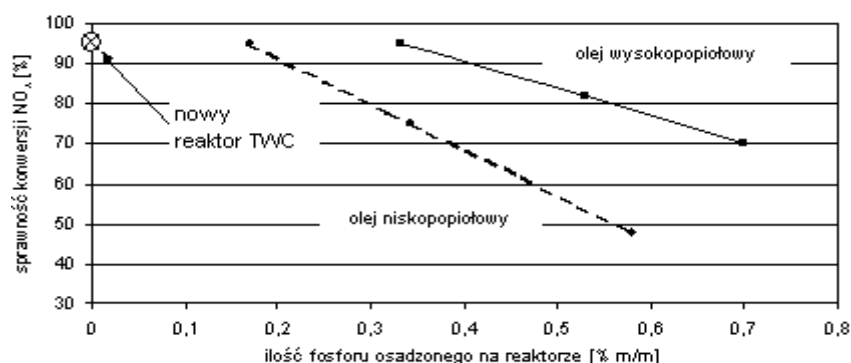


Rys. 2. Zawartość fosforu w oleju silnikowym i reaktorze katalitycznym [4]

Fig. 2. Phosphorus content in engine oil and catalytic reactor

Na rys. 3 przedstawiono sprawność konwersji NO_2 w trójfunkcyjnym reaktorze katalitycznym TWC po okresie eksploatacji określonej przebiegiem 160 tys. km, w zależności od zawartości fosforu w stosowanym oleju silnikowym. Zwraca uwagę liniowe

zmniejszenie się sprawności konwersji NO_2 ze wzrostem stężenia fosforu. Proces ten cechuje się większą intensywnością w przypadku olejów niskopopiołowych.



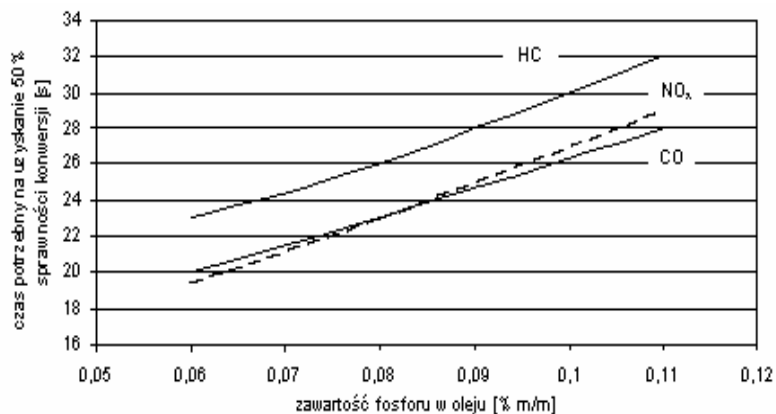
Rys. 3. Sprawność konwersji NO_2 w reaktorze TWC w funkcji ilości osadzonego fosforu [4]

Fig. 3. Efficiency of the conversion of NO_2 in TWC reactor in the function of the precipitated phosphorus

W ostatnim czasie wiele uwagi poświęca się ograniczeniu emisji w fazie rozruchu i nagrzewania silnika. Należy zwrócić uwagę, że wraz ze wzrostem zawartości fosforu w oleju rośnie czas, jaki upływa od rozruchu do podjęcia pracy reaktora TWC z wysoką sprawnością (rys.4), co prowadzi do wzrostu emisji w okresie nagrzewania silnika.

Całkowite wyeliminowanie związków fosforu z olejów silnikowych jest przedsięwzięciem bardzo trudnym, ponieważ ZDTP jest podstawowym dodatkiem przeciwzużyciowym, dla którego brak aktualnie równorzędnego substytutu. Negatywne oddziaływanie fosforu można obniżyć:

- stosując dodatki olejowe (oparte na związkach wapnia), które w znacznym stopniu zapobiegają odkładaniu fosforu w reaktorze katalitycznym,
- przez obniżenie zawartości ZDTP, kosztem pogorszenia właściwości przeciwzużyciowych oleju,
- przez zmniejszenie zużycia oleju przez silnik.



Rys. 4. Czas potrzebny na podjęcie przez reaktor TWC konwersji CO, HC i NO_x z 50-procentową sprawnością w funkcji zawartości fosforu w oleju silnikowym [5]

Fig. 4. Time needed for the starting by the reactor TWC of the conversion CO, HC and NO_x with 50% efficiency in the function of phosphorus content in engine oil

Wynika stąd, że pogodzenie wysokiej trwałości silnika z niską emisją toksycznych składników spalin (również w warunkach nagrzewania zimnego silnika) wymaga opracowania efektywnych, bezfosforowych przeciwwzruszyciowych dodatków olejowych.

Toksyczność spalin podnoszą różnorodne dodatki do olejów przeznaczone do stosowania przez użytkowników pojazdów, np. Nulon, Slick, Moton itp. Większość tych dodatków oparta jest na PTFE (teflon). Cząstki teflonu przedostają się wraz z olejem do komory spalania, tworząc bardzo toksyczne produkty (np. fosgen), które są emitowane do otoczenia wraz z gazami spalinowymi.

Emisja toksycznych składników spalin jest ściśle powiązana ze zużyciem oleju przez silnik. W publikacjach [6, 7] opisano związki przyczynowo-skutkowe pomiędzy intensywnością zużycia ilościowego oleju a poziomem emisji związków toksycznych; dotyczy to przede wszystkim węglowodorów (w tym i PAH) oraz cząstek stałych. Należy przy tym pamiętać, że zużycie oleju stanowi tylko 0,5–0,1% zużycia paliwa, a więc 16–18 -procentowy wzrost emisji PM jest znaczący jak na dwukrotne zwiększenie zużycia oleju.

Wzrost zużycia oleju silnikowego jest związany z wieloma procesami zachodzącymi wewnątrz cylindra i ich skutkami, do których należą [8]:

- zgarnianie oleju przez pakiet pierścieni do komory spalania,
- zwiększenie grubości warstwy oleju pozostającego na gładzi cylindra po przejściu tłoka i podniesienie średniej temperatury tej warstwy,
- procesy absorpcji i desorpcji par paliwa i oleju,
- adsorbowanie przez sadzę (lub inne cząstki) par oleju,
- zwiększenie ilości odparowanego oleju w wyniku kawitacji.

Efekt końcowym wymienionych zjawisk jest występowanie w spalinach niespalonych węglowodorów oraz części węglowodorowej cząstek stałych ($PM_{HC} \sim PM_{SOF}$), pochodzącej głównie od zużycia oleju smarującego – PM_{LUBE} (LUBE – Lubrication Effect).

Na wzrost intensywności procesów absorpcji (desorpcji) między paliwem a olejem wpływa wzrost grubości warstwy i temperatury oleju. W przypadku absorpcji par paliwa w warstwie oleju następuje spadek lepkości jej warstwy wierzchniej. W wyniku tego podczas suwu wylotu następuje porywanie drobin oleju przez zawirowania gazów spalinowych. Jest to możliwe, gdyż nad powierzchnią warstwy oleju pojawia się w wyniku desorpcji mgła olejowo-paliwowa. Jest ona źródłem niespalonych węglowodorów, które mogą ulec tylko zmianie na bardziej lub mniej rozbudowane grupy węglowodorowe, podczas gdy ich utlenianie nie może już nastąpić.

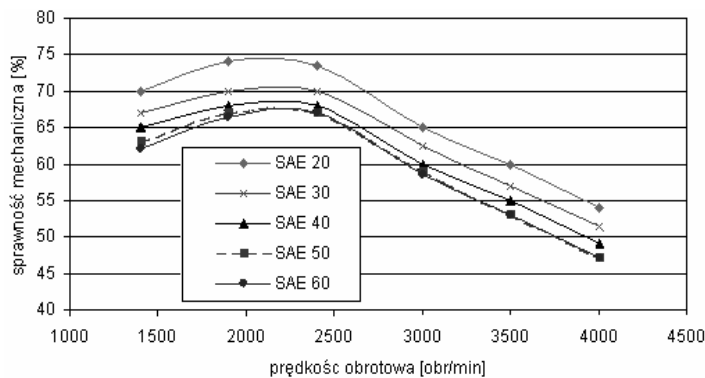
W suwie sprężania ma również miejsce absorpcja par oleju w paliwie. Ilość absorbowanego oleju zależy od grubości i temperatury warstwy oleju na gładzi cylindra. Czynniki te są ściśle związane z ilością zużywanego oleju. Grubsza warstwa powoduje podniesienie temperatury oleju, co wzmacnia parowanie, a konsekwencją tego jest wzrost absorpcji oleju w paliwie. Pary oleju uwalniane w procesie desorpcji mogą ulegać utlenianiu lub pirolizie i piroksyntezie. Utlenianiu ulega jednak bardzo mała część desorbowanych par oleju, w niewielkim stopniu obniżając emisję węglowodorów pochodzących z oleju silnikowego.

W wyniku oddziaływania wysokich temperatur gazów następuje rozpad (piroliza) lub przebudowa (piroksynthese) struktur węglowodorowych par oleju. Ma to niekorzystny wpływ na stopień szkodliwości emitowanych związków. W wyniku pirolizy i piroksyntez powstają ciężkie węglowodory zwane też PAC (Polycyclic Aromatic Compounds), do których można zaliczyć PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, WWA = wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne) i węglowodory heterocykliczne (zawierające w swej strukturze dodatkowo pojedynczy atom siarki, azotu lub tlenu). Dalsze formowanie emitowanych węglowodorów może nastąpić w układzie wylotowym. Część desorbowanych par oleju trafia w zimne strefy przestrzeni nad tłokiem. Niska temperatura gazów spalinowych i nieznaczna zawartość w nich tlenu powodują wylot nieprzebudowanych węglowodorów.

WPŁYW OLEJU SILNIKOWEGO NA ZUŻYCIE PALIWA

Właściwości reologiczne oleju wpływają na wielkość oporów wewnętrznych silnika, a w konsekwencji na wartość jednostkowego zużycia paliwa g_e [9]. Na rys. 5 przedstawiono wpływ klasy lepkościowej oleju na sprawność mechaniczną η_m silnika ZS. Wraz z obniżaniem lepkości oleju sprawność mechaniczna silnika wzrasta (w głównej mierze na skutek zmniejszenia średniego ciśnienia tarcia), szczególnie w zakresie olejów o niższej lepkości. Zwiększenie η_m prowadzi do poprawy sprawności ogólnej silnika η_o , a więc obniżenia g_e . Stosowanie olejów o niskiej lepkości (0W/20, 5W/20) jest jednak możliwe tylko w silnikach przystosowanych do tego typu olejów. W przeciwnym wypadku dochodzi do przyspieszonego zużycia elementów silnika, szczególnie w warunkach pracy z wysoką prędkością obrotową.

Liczba pojazdów z silnikami przystosowanymi do niskolepkościowych olejów stale wzrasta, ale stosuje się również inne modyfikacje oleju, mające na celu obniżenie strat tarcia w silniku. W ostatnich latach największą popularność zyskał dodatek redukują-

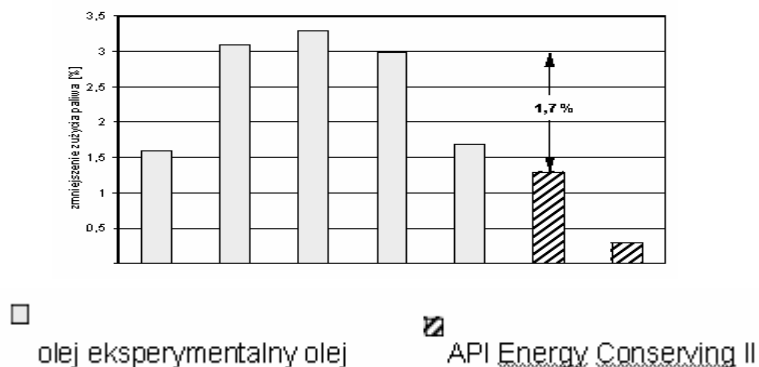


Rys. 5. Sprawność mechaniczna silnika Ricardo Hydra w zależności od klasy lepkościowej oleju smarującego [3]

Fig. 5. Mechanical efficiency of an engine Ricardo Hydra depending on the viscosity category of the grease oil

cy tarcie – ditiokarbaminian molibdenu (MoDTC). Związek ten jest najbardziej skutecznym spośród stosowanych obecnie modyfikatorów tarcia.

Dodatek MoDTC w ilości około 500 ppm umożliwia obniżenie zużycia paliwa o około 1,7% w stosunku do wartości uzyskiwanej z użyciem oleju spełniającego API Energy Conserving-II (rys. 6).



Rys.6. Obniżenie zużycia paliwa w teście FTP dzięki zastosowaniu modyfikatora tarcia MoDTC [4]

Fig. 6. Fuel consumption drop in the test FTP due to friction modifier Mo DTC

PODSUMOWANIE

Ekologiczna analiza stosowania olejów silnikowych prowadzi do następujących wniosków:

- silnikowe oleje smarowe zanieczyszczają środowisko na wszystkich etapach ich stosowania;
- stopień toksyczności jest różny i zależy od jakości, składu i właściwości fizykochemicznych oleju silnikowego;
- zastąpienie oleju mineralnego SAE 15W40 w pełni syntetycznym olejem SAE 5W40 umożliwia znaczne obniżenie emisji CO i PM, zadymienie spalin, przy niewielkim wzroście emisji NO₂;
- wpływ oleju silnikowego na emisję toksycznych składników zachodzi również na drodze oddziaływania na sprawność katalityczną układu oczyszczania spalin;
- jednym z parametrów, na który należy zwrócić uwagę są związki fosforu; są to bardzo skuteczne dodatki przeciwzużyciowe, jednak powodują odkładanie fosforu na powierzchni katalitycznej;
- całkowite wyeliminowanie związków fosforu z olejów silnikowych jest bardzo trudne, ponieważ brak równorzędnego zamiennika;
- pogodzenie wysokiej trwałości silnika z niską emisją toksycznych składników spalin wymaga opracowania bezfosforowych, przeciwzużyciowych dodatków olejowych;
- niekorzystny wpływ na toksyczność spalin mają również dodatki oparte na PTFE;
- kolejnymi związkami szkodliwymi są niespalone węglowodory oraz cząstki stałe (PM), ciężkie węglowodory (PAC) i węglowodory heterocykliczne;
- wzrost zastosowania olejów o niskiej lepkości, jak i modyfikatorów tarcia wiąże się ze zmniejszeniem zużycia paliwa i zmniejszeniem emisji CO₂.

PIŚMIENNICTWO

1. **Merkisz J.**, 1999: Ekologiczne problemy silników spalinowych, tom 1 i 2. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
2. **Manni M., Gommellini C., Sabbioni G.**: Effect of physical characteristics of lubricating oils on emissions, fuel economy and oil consumption in a light duty Diesel engine. SAE Paper 952552.
3. **Manini M., Florio S., Gommellini C.**: An investigation on the reduction of lubricating oil impact on Diesel exhaust emissions. SAE Paper 972956.
4. **Korcek S., Nakada M.**: Engine oil performance requirements and reformulation for future gasoline engines and systems. SAE Paper 961146.
5. **Culley S., McDonnell T., Ball D., Kirby C., Hawes S.**: The impact of passenger car motor oil phosphorus levels on automotive emissions control systems. SAE Paper 961898.
6. **Merkisz J.** 1989: Studium problemu zużycia oleju w czteresusuwowych silnikach spalinowych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.

7. **Merkisz J.** 1992: Studium wpływu zużycia oleju na emisję związków toksycznych w szybkoobrotowych silnikach spalinowych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
8. **Merkisz J.** 1997: Emisja cząstek stałych przez silniki spalinowe o zapłonie samoczynnym. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
9. **Sorab J., Korcek S., Bovington C.**: Friction reduction in lubricated components thought engine oil formulation. SAE Paper 982640.
10. FUCHS PETROLUB AG D-68145 Mannheim.
11. Materiały badawcze firmy FUCHS OIL – niepublikowane.
12. **Niziński S., Żółtowski B.**, 2001: Informatyczne systemy zarządzania eksploatacją obiektów technicznych. Olsztyn-Bydgoszcz, s.334.
13. **Niziński S., Żółtowski B.**, 2002: Zarządzanie eksploatacją obiektów technicznych za pomocą rachunku kosztów. Olsztyn-Bydgoszcz, s.156.
14. **Żółtowski B.**, 2002: Badania dynamiki maszyn, Bydgoszcz, s.335.
15. **Żółtowski B., Niziński S.**, 2002: Modelowanie procesów eksploatacji maszyn. Bydgoszcz-Sulejówkę, s.250.

ENGINE MOTOR OILS IN ENVIRONMENT

Summary. The chosen aspects of threats of environment in work were introduced on the part of the engine motor oil. The time of effective work the oil and different the materials can the resoluteness limit harmful the influence on dirt of environment. The usage the different species of oils, dysregulation and damage of engines this the only chosen intensifying the emission of harmful components elements. The growth of use of oils about low stickiness how and the modifiers of friction, it joins from decrease the waste of fuel and the decrease the emission CO₂.

Keywords: engine oil, environment, harmful contents

Recenzent: Prof. dr hab. Eugeniusz Krasowski