

WPŁYW ZASILANIA SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM PALIWAMI WĘGLOWODOROWYMI I ROŚLINNYMI NA STOPIEŃ ZADYMIENIA SPALIN

Ryszard Lipski, Stanisław Orliński

Prywatna Wyższa Szkoła Ochrony Środowiska w Radomiu, Politechnika Radomska

Streszczenie. W artykule przedstawiono zagadnienia dotyczące pomiaru stopnia zadymienia spalin silnika o ZS typu AD3.152 z wtryskiem bezpośrednim, zasilanego paliwami węglowodorowymi oraz porównawczo roślinnymi. Pomiary wykonano dymomierzem AVL-465 w systemie automatycznym metodą przyspieszeń prędkości obrotowej silnika, po doprowadzeniu silnika do stanu równowagi cieplnej. Wyniki badań wykorzystano w celu określenia wpływu zasilania wybranymi paliwami na stopień zadymienia spalin, co wiąże się z oceną stanu technicznego komory spalania i aparatury wtryskowej, które mają duży wpływ na ekologiczny stan środowiska naturalnego.

Słowa kluczowe: silniki spalinowe, paliwa ekologiczne, środowisko

WSTĘP

Pomiary zadymienia spalin (stopień zadymienia) i współczynnika gęstości optycznej, pomimo że nie odzwierciedlają emisji cząstek stałych (PM), lecz jedynie są wskaźnikiem zawartości w spalinach sadzy, znalazły szerokie zastosowanie głównie ze względu na prostotę wykonania pomiarów i samych przyrządów pomiarowych. Zasada działania bardziej znanych i rozpowszechnionych dymomierzy oparta jest na metodzie optycznej i filtracyjnej [Merkisz 2005].

Pomimo nieściśłych zależności pomiędzy ilością sadzy w spalinach a zawartością PM, metoda znalazła szerokie zastosowanie. Do najbardziej znanych przyrządów tego typu należą dymomierze Schweitzera (USA), Hartridge'a (W. Brytania), Volvo (Szwecja) [Merkisz 2005]. Zależności pomiędzy stężeniem sadzy i współczynnikiem absorpcji a dymieniem określa się przez zaczernienie (SAE) oraz według Boscha DB i Hartridge'a DH [Merkisz 2000].

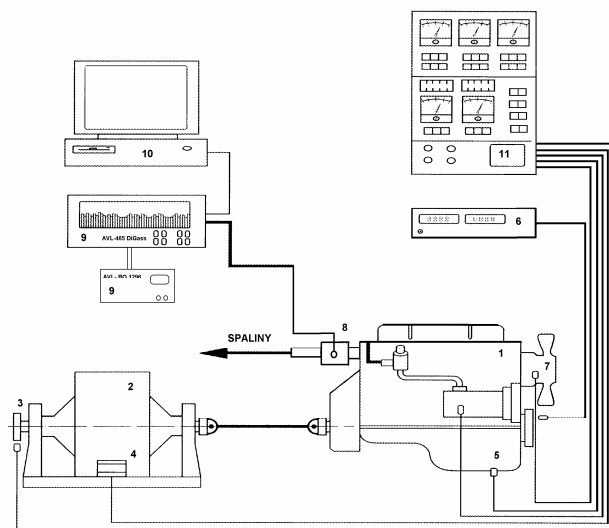
Badania stopnia zadymienia spalin wykonano dymomierzem AVL-465. Pomiary pozwalają określić jak stan techniczny przestrzeni nadłokowej i aparatury wtryskowej silnika zasilanego paliwami o różnych parametrach fizykochemicznych wpływa na poziom stopnia zadymienia spalin. Określa się go poprzez wartość maksymalną współczynnika absorpcji światła $K \text{ (m}^{-1}\text{)}$ wyznaczoną w czasie rozpędzania silnika od prędkości biegu jałowego do maksymalnej prędkości obrotowej.

CEL BADAŃ

Celem badań jest ocena wpływu zasilania silnika AD3.152 trzema ekologicznymi paliwami węglowodorowymi: Ekodiesel Plus-50B, Ekodiesel Plus-50F ONM-Standard 50 (olej napędowy miejski), oraz porównawczo paliwami roślinnymi Biodiesel D-FAME, OR (olej rzepakowy), OS (olej sojowy) i OŚL (olej słonecznikowy) na stopień zadymienia spalin. Badania wykonano wg. ustawy [Dz.U. Nr 116/94 poz. 557 z dnia 18 października 2002 r.] w sprawie warunków technicznych i badań pojazdów metodą swobodnych przyspieszeń silnika.

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA STANOWISKA BADAWCZEGO
ORAZ WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE BADANYCH PALIW

Do realizacji badań wykorzystano typowe stanowisko hamowniane na bazie silnika o ZS typu AD3.152 z wtryskiem bezpośrednim [BN-74/1340-12 i PN-88/S-02005]. Schemat blokowy stanowiska hamownianego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska badawczego: 1 – silnik AD3.152, 2 – hamulec HWZ-2, 3 – czujnik prędkości obrotowej, 4 – przetwornik momentu obrotowego, 5 – czujnik temperatury oleju, 6 – urządzenie do kąta wyprzedzenia wtrysku CDT-100, 7 – czujnik temperatury cieczy chłodzącej, 8 – sonda pomiaru temperatury spalin CC-MF, 9 – system diagnostyczny AVL-465 z przystawką do pomiaru zadymienia spalin AVL BO 1296, 10 – Komputer IBM PC do analizy i wizualizacji wyników badań, 11 – szafa sterownicza [Dok. techn..... 2005]

Fig. 1. Flow diagram of the research post: 1 – the AD3.152 engine, 2 – the HWZ-2 brake, 3 – sensor of the rotation speed, 4 – converter of the torque, 5 – the sensor of the temperature of oil, 6 – appliance to the angle overtaking CDT-100 injection, 7 – chilling the sensor of the temperature of liquid, 8 – probe of the measurement of the temperature of the CC-MF exhaust fumes, 9 – diagnostic AVL-465 system with the attachment to the measurement of smoking out the AVL BO 1296 exhaust fumes, 10 – IBM PC Computer for an analysis and visualization of research findings, 11 – steering case

Dokładność mierzonych parametrów [Dok. techn..... 2005]:

- temperatury (czujnik rezystancyjny PT-100) 5 K,
- pomiar zadymienia spalin $K \text{ (m}^{-1}\text{)}$ 1%,
- pomiar zadymienia spalin $B \text{ (%)}$ 1%.

Badano silnik o przebiegu eksploatacyjnym 4500 motogodzin (mth). Podstawowe parametry fizykochemiczne badanych paliw przedstawiono w tabeli 1 [Parametry bio-diesla... 2006, PKN ORLEN S.A... 2006].

Tabela 1. Porównanie niektórych właściwości fizykochemicznych badanych paliw
Table 1. Selected physicochemical properties of fuel

Nazwa parametru	Paliwa węglowodorowe			Paliwa roślinne			
	Ekodiesel Plus-50B	Ekodiesel Plus-50-F	ONM S-50	FAME	OR 100%	OS 100%	OSŁ 100%
Gęstość g/cm^3	0,848	0,836	0,817	0,882	0,914	0,916	0,917
Lepkość kinematyczna $\sim 40^\circ\text{C}$, mm^2/s	3,0	2,79	1,83	3,5	34,56	31,98	31,54
Liczba cetanowa LC	51,8	51,2	51,7	51,3	49	50	50
Temperatura zapłonu, $^\circ\text{C}$	66	65	67	120	200	200-250	200-250
Wartość opałowa W , MJ/kg	43	43,83	43,2	36,7	37,1	36-39	36-38
Napięcie pow. 10^{-2} , N/m	3,47	3,71	3,64	3,52	3,38	3,28	3,22
Skład frakcyjny 95 v/v $^\circ\text{C}$	349	345	338	340	360	363	365

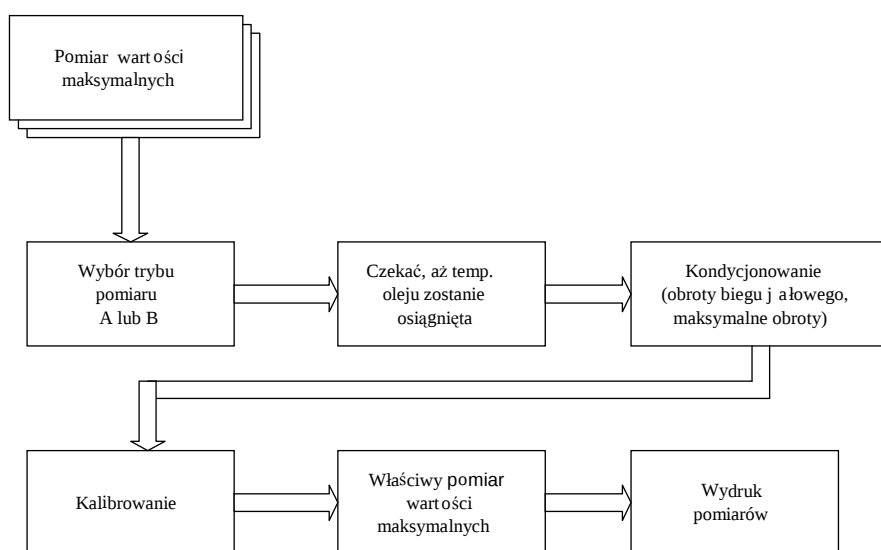
Badania wykonano wg ustawy w sprawie warunków technicznych i badań pojazdów. Dopuszczany poziom zadymienia wyrażany współczynnikiem $k \text{ (m}^{-1}\text{)}$ pochłaniania światła dla silników wolnoobrotowych wynosi $k = 2,5 \text{ m}^{-1}$, co równe jest $D = 66\%$ i dla silników doładowanych $k = 3,5 \text{ m}^{-1}$, co równe jest $D = 72\%$ [Dz.U. Nr 116/94 poz. 557 ...2002]. W nowoczesnych silnikach o zapłonie samoczynnym samochodów osobowych i dostawczych zadymienie spalin zawiera się w granicach: 20...30% B lub $K = 0,5...0,85 \text{ m}^{-1}$.

METODA BADAŃ

Pomiar maksymalny zadymienia spalin był wykonywany w trybie automatycznym testu B, polegającym na wymuszaniu zmiany dawki paliwa podawanej przez pompę wtryskową do cylindrów silnika. Na skutek wzrostu dawki paliwa następowało rozpędzanie od prędkości biegu jałowego do maksymalnej prędkości obrotowej w przedziale od 800–2100 obr/min. Pomiar zadymienia przeprowadzony był 5-krotnie dla każdego paliwa. Wyniki badań są przedstawione w postaci wartości uśrednionych. Schemat blo-

kowy systemu pomiarowego zadymienia spalin pokazano na rys. 2 [Instr. obsługi.....2007].

Urządzenie AVL-465 wykonuje automatycznie pięć pomiarów zadymienia spalin. Jeżeli cykle pomiarowe występujące kolejno po sobie mają dużą rozbieżność prędkości biegu jałowego i czasu trwania maksymalnych obrotów, to nie są rejestrowane przez urządzenie AVL-465. Badania należy przeprowadzać aż do momentu uzyskania informacji pokazanej na monitorze urządzenia, że pomiar został zakończony, a wyniki badań są wartościami uśrednionymi [Instr. obsługi.....2007].



Rys. 2. Schemat blokowy pomiaru zadymienia spalin [Instr. obsługi.....2007]

Fig. 2. Flow diagram of the measurement of exhaust fumes smokiness

Przed wykonaniem pomiaru zadymienia spalin systemem diagnostycznym AVL-465 należy spełnić następujące warunki [Instr. obsługi.....2007]:

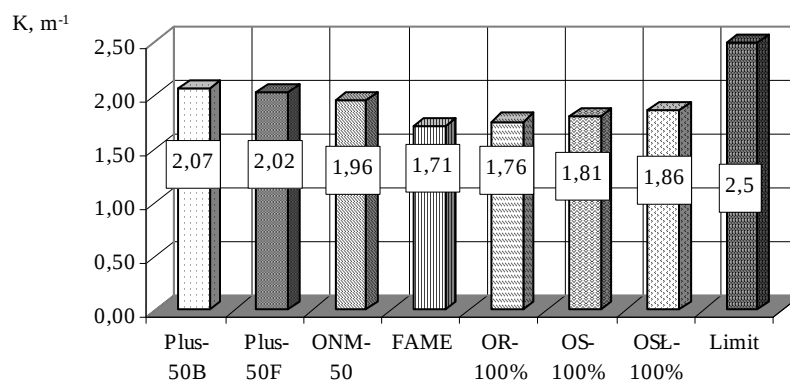
- wykonać rozłączenie silnika i hamulca wodnego na stanowisku badawczym,
- sprawdzić dawkowanie lub wykonać regulację dawek paliwa pompy wtryskowej na stole probierczym SPP-1 w celu wykonania charakterystyki dawkowania,
- sprawdzić szczelność lub ewentualnie wyregulować ciśnienia robocze wtryskiwaczy na stanowisku PRW-3,
- sprawdzić ciśnienie sprężania i wykonać pomiar szczelności przestrzeni nadłokowej urządzeniem SPCS-50 i PSC-2M,
- sprawdzić lub ewentualnie wyregulować luzy zaworowe,
- sprawdzić kąt dynamicznego początku tłoczenia paliwa wg danych fabrycznych urządzeniem AVL-873 lub CDT-100,
- doprowadzić silnik do stanu równowagi cieplnej,
- określić dwie prędkości, tj. prędkość biegu jałowego i maksymalną prędkość obrotową.

WYNIKI BADAŃ

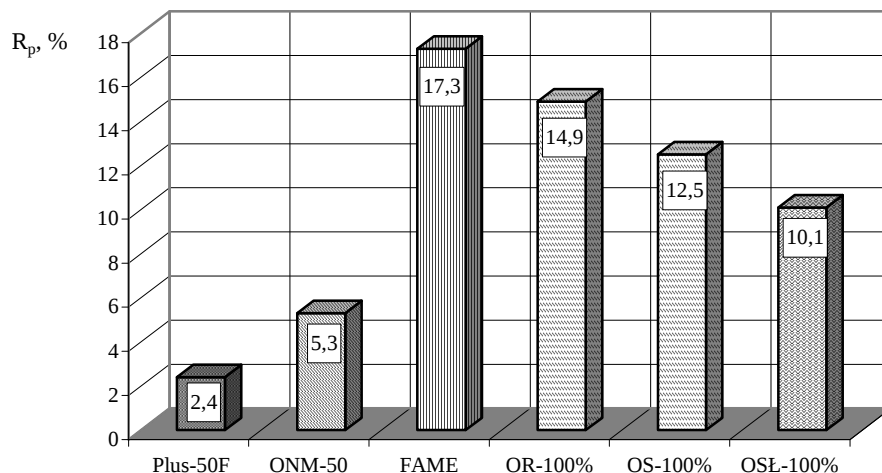
Wyniki pomiaru zadymienia spalin przedstawiono w tabeli 2. Na rysunku 3 przedstawiono uśrednione wyniki badań wskaźnika K dla każdego badanego paliwa, określając poziom zadymienia spalin przy swobodnym przyspieszaniu silnika, wyrażany współczynnikiem pochłaniania światła dla silników wolnoobrotowych o ZS. Limit wartości współczynnika gęstości optycznej spalin wynosi $k = 2,5 \text{ m}^{-1}$ [Parametry biodiesla... 2006].

Table 2. Porównanie uśrednionych wyników badań wskaźników K , B i t Table 2. Comparing averaged research findings of signs K , B and t

Rodzaj paliwa	Nr cyklu pomiarowego	Temp. oleju °C	Uśr. czas pomiaru t , s	B %	$K \text{ m}^{-1}$
Ekodiesel Plus-50B	1 – uśredniony	75	0,89	39,0	2,07
Ekodiesel Plus-50F	2 – uśredniony	75	0,88	38,1	2,02
ONM S-50	3 – uśredniony	75	0,86	37,4	1,96
FAME	3 – uśredniony	75	0,87	32,4	1,71
OR-100%	4 – uśredniony	75	0,89	33,1	1,76
OS-100%	5 – uśredniony	76	0,79	34	1,81
OSŁ-100%	6 – uśredniony	76	0,84	35,2	1,86

Rys. 3. Porównanie współczynnika K dla badanych paliwFig. 3. Comparing the K of examined fuel

Rysunek 4 przedstawia procentowe obniżenie R_p zadymienia spalin w wyniku zastąpienia standardowego oleju napędowego Ekodiesel Plus-50B paliwami węglowodorowymi reformulowanymi: Ekodiesel Plus-50F ONM-Standard 50 (olej napędowy miejski) oraz paliwami roślinnymi Biodiesel D-FAME, OR (olej rzepakowy), OS (olej sojowy) i OSŁ (olej słonecznikowy).



Rys. 4. Procentowe obniżenie współczynnika R_p paliwami węglowodorowymi oraz paliwami roślinnymi

Fig. 4. Percentage of lowering the R_p rate

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Na podkreślenie zasługuje fakt, że wartość maksymalna współczynnika pochłaniania światła dla żadnego z badanych paliw nie przekroczyła wartości dopuszczalnej ($2,5 \text{ m}^{-1}$), określonej dla badanego typu silnika. Wyniki pomiarów zadymienia spalin świadczą o prawidłowym procesie spalania. Wykazano wpływ parametrów fizykochemicznych badanych paliw alternatywnych, zarówno węglowodorowych, jak i roślinnych, na stopień zadymienia spalin.

Na podstawie wyników badań można stwierdzić że:

- największe zadymienie spalin stwierdzono dla paliwa Ekodiesel Plus-50B, wynosiło ono $2,07 \text{ m}^{-1}$ i było mniejsze od wartości dopuszczalnej o 17,2%,
- najmniejsze zadymienie spalin stwierdzono dla paliwa FAME (ester metylowy kwasów oleju rzepakowego), wynosiło ono $1,71 \text{ m}^{-1}$ i było mniejsze od wartości dopuszczalnej o 31,6%,
- różnica wskazań zadymienia spalin w wyniku porównania pomiędzy Ekodiesel Plus-50B a Ekodiesel Plus -50F jest mniejsza o 2,4%,
- różnica wskazań zadymienia spalin w wyniku porównania między Ekodiesel Plus-50B a ONM-Standard jest mniejsza o 5,3%,
- różnica wskazań zadymienia spalin w wyniku porównania między Ekodiesel Plus-50B a FAME jest mniejsza o 17,3%,
- różnica wskazań zadymienia spalin w wyniku porównania między Ekodiesel Plus-50B a OR jest mniejsza o 14,9%,
- różnica wskazań zadymienia spalin w wyniku porównania między Ekodiesel Plus-50B a OS jest mniejsza o 12,5%,

– różnica wskazań zadymienia spalin w wyniku porównania między Ekodiesel Plus-50B a OSŁ jest mniejsza o 10,1%.

WNIOSKI

Wyniki badań zadymienia spalin metodą swobodnych przyspieszeń silnika AD3.152 zasilanego różnymi paliwami węglowodorowymi i roślinnymi prowadzą do następujących wniosków:

1. Ze względów ekologicznych celowe jest zastosowanie przebadanych paliw alternatywnych do zasilania silników o ZS, tj. ekologicznych paliw węglowodorowych oraz paliw roślinnych, a przede wszystkim paliwa FAME.

2. Badania potwierdzają wpływ parametrów fizykochemicznych badanych paliw na proces wtrysku i spalania.

3. Badania te charakteryzują się małą pracochłonnością i kosztami.

4. Badanie te dotyczą tylko porównania poziomu zadymienia spalin bez masowego określenia zawartości sadzy w spalinach.

5. Wyniki badań świadczą o dobrym stanie technicznym badanego silnika. Przy ocenie aspektu ekonomicznego stosowania olejów roślinnych i ich estrów kluczowym zadaniem jest zmniejszenie kosztów wytwarzania i dystrybucji poprzez dotacje państwowe, aby ceny tych paliw były porównywalne do cen paliw ropopochodnych.

6. Należy również wprowadzać ekologiczne oleje napędowe nowej generacji charakteryzujące się właściwościami użytkowymi odpowiadającymi wysokim wymaganiom współczesnych silników spalinowych oraz ostrym kryteriom ekologicznym.

PIŚMIENNICTWO

Dz.U. Nr 116/94 poz. 557 z 18 października 2002 r.: Ustawa w sprawie warunków technicznych i badań pojazdów.

Dokumentacja techniczna stanowiska badawczego, IEPiM Politechnika Radomska, Radom 2005.

Instrukcje obsługi.: AVL 465, Di-Gas, AVL BO 1296, AVL LIST, GmbH, Graz-Austria, 2007.

Merkisz J. 2005: Ekologiczne problemy silników spalinowych, tom I i II. Wyd. Politechniki Poznańskiej.

Merkisz J. 2000: Zanieczyszczenie środowiska przez transport samochodowy Zesz. Nauk. Politechniki Poznańskiej.

Parametry biodiesla Rafinerii Trzebinia S.A. (Zgodne z wymaganiami jakościowymi dla FAME wg normy PN-EN 14214), 2006.

Polski Koncern Naftowy ORLEN S.A, Świadectwo jakości, Płock 2006.

Sygniewicz J. 2004: Motoryzacja a zagrożenie naturalnego środowiska Wyd. Politechniki Łódzkiej.

Sitek K. 2005: Diagnostyka samochodowa. Wyd. AUTO, Warszawa.

INFLUENCE OF POWERING A SELF-IGNITION ENGINE WITH HYDROCARBON
AND PLANT FUELS ON THE LEVEL OF EXHAUST FUMES SMOKINESS

Summary. In the article problems concerning the measurement of the level of an engine exhaust fumes smokiness were presented in ZS of the AD3.152 type with direct injection, fed with hydrocarbon fuels and, comparatively, plant ones. Measurements were made of the exhaust fumes AVL-465 using the method of precipitating the rotation speed of the engine, after leading the engine to the state of the thermal balance. Research findings were used in order to determine the usefulness of chosen fuels to reduce the smokiness of the exhaust fumes which involves an assessment of the technical state of the chamber of burning and injection apparatus which have a considerable influence on the state of the natural environment.

Key words: combustion engines, investigation, ecological fuels, environment