

Tadeusz SIUTA

PRAKTYCZNE MOŻLIWOŚCI UZYSKANIA WYSOKIEJ KLASY CZYSTOŚCI PALIWA W UKŁADZIE ZASILANIA SILNIKA WYSOKOPRĘŻNEGO

Streszczenie. W referacie nakreślono metodykę postępowania w dojściu do systemowego rozwiązania procesu filtrowania paliwa celem uzyskania stosunkowo wysokiej jego czystości w układzie zasilania silnika wysokoprężnego. Postępowanie to rozpoczęto teoretyczną analizą możliwości zrealizowania ww. zamierzenia w wyniku zastosowania trzystopniowego filtra papierowego, a zakończono przedstawieniem praktycznych rezultatów działania opracowanego szklano - włókninowego filtra pojedynczego, zapewniającego te same efekty filtrowania.

PRACTICAL POSSIBILITIES OF OBTAINING THE HIGH PURITY FUEL IN THE FEED SYSTEM OF A DIESEL ENGINE

Summary. The methodology of finding the systemic solution for the fuel filtration process leading to a relatively high purity of the fuel in the feed system of a Diesel engine has been outlined in the presentation. The first step was the theoretical analysis of the possibility of gaining the purpose using a three stage paper filter, the final one - the presentation of the work of a specially designed single filter, of the same filtration effectiveness. The latter effect was achieved by using new porous materials for filtration barriers.

1. WSTĘP

Trwałość i niezawodność pracy silnika wysokoprężnego oraz jego wpływ na emisję do atmosfery toksycznych składników spalin w istotnym stopniu są zależne od funkcjonowania jego aparatury wtryskowej, której zadaniem jest doprowadzenie paliwa do poszczególnych komór spalania w ściśle określonych warunkach i w odpowiedniej postaci. Prawidłowe działanie tej aparatury jest przede wszystkim uzależnione od pracy jej par precyzyjnych,

do których zalicza się: sekcje i zawory tłoczące, jako podstawowe podzespoły pompy wtryskowej oraz rozpylacze – podzespoły wtryskiwaczy.

Ze względu na stosunkowo małe luzy średnicowe wymienionych par precyzyjnych, wynoszące odpowiednio : $1,5 \div 2,5$ [μm] dla sekcji tłoczących, $3,5 \div 6,5$ [μm] dla rozpylaczy oraz $6 \div 10$ [μm] dla zaworów tłoczących [1], wymagane jest zapewnienie w układzie zasilania silnika paliwa o możliwie wysokiej czystości, tj. pozbawionego w jak największym stopniu wszelkich cząstek stałych, powodujących ścierne zużycie powierzchni współpracujących ze sobą elementów wymienionych par precyzyjnych.

Ponieważ olej napędowy, jako paliwo dla silnika wysokoprężnego, znajdujący się w zbiorniku paliwa eksploatowanego pojazdu jest zawsze mniej lub bardziej zanieczyszczony, dlatego też zachodzi bezwzględna konieczność jego filtrowania w silniku. Na przegrody filtracyjne stosowano dotychczas wiele różnych materiałów porowatych, cechujących się określoną skutecznością usuwania z paliwa jego stałych zanieczyszczeń [6].

O istotnym wpływie rodzaju zastosowanej przegrody filtracyjnej na trwałość precyzyjnych par aparatury wtryskowej można sądzić na podstawie wyników odpowiednich badań. Wyniki jednych z nich, wykonanych przed wielu laty w odniesieniu do trwałości sekcji tłoczących C. A. V. zestawiono poniżej [2,6].

Material przegrody filtracyjnej	Porównawczy okres pracy sekcji tłoczącej
Brak filtru	1
Tkanina bawełniana	1,3
Filt techniczny	1,8
Papier	3,5
Papier specjalny	8,5

Na podstawie analizy zestawionych danych można ocenić, iż do najsukuteczniejszych w usuwaniu zanieczyszczeń z paliwa należą filtry z przegrodami papierowymi, gdyż zapewniają stosunkowo najdłuższy okres pracy badanej pary precyzyjnej.

Uznając problematykę oczyszczania oleju napędowego w silniku wysokoprężnym za jedną z najbardziej istotnych w dziedzinie motoryzacji, przeprowadzono odpowiednie badania symulacyjne i stanowiskowe, mające na celu wyznaczenie kierunków poprawy jakości filtrowania paliwa w silniku [4,5].

2. TEORETYCZNE MOŻLIWOŚCI UZYSKANIA WYSOKIEJ KLASY CZYSTOŚCI PALIWA W SILNIKU WYSOKOPRĘŻNYM W WYNIKU ZASTOSOWANIA TRZYSTOPNIOWEGO FILTRU PAPIEROWEGO

Dotychczas największym uznaniem w silnikach wysokoprężnych pojazdów kołowych, szczególnie użytkowanych w trudnych warunkach, cechujących się stosunkowo dużym zapyleniem otaczającego powietrza atmosferycznego, cieszyły się standardowe, dwustopniowe filtry paliwa filcowo – papierowe, bądź włókninowo – papierowe [4]. Filc techniczny lub włókninę wykorzystywano w pierwszym członie filtra (patrząc w kierunku przepływu cieczy ze zbiornika paliwa do pompy wtryskowej) do zgrubnego oczyszczania paliwa, natomiast papier – w drugim członie filtra, do dokładnego oczyszczania cieczy.

Przetłoczone przez taki filtr nadmiernie zanieczyszczone paliwo pozostaje nadal cieczą pozaklasową według 12-stopniowej klasy czystości cieczy, określonej normą NAS 1638 (National Aerospace Standard – USA) [4].

Należy tutaj wskazać, że do oceny jakości oczyszczania cieczy służą tzw. wskaźniki sprawności filtrowania, określane zależnością [6]:

$$\eta(d_z) = \frac{n_1(d_z) - n_2(d_z)}{n_1(d_z)} \quad (1)$$

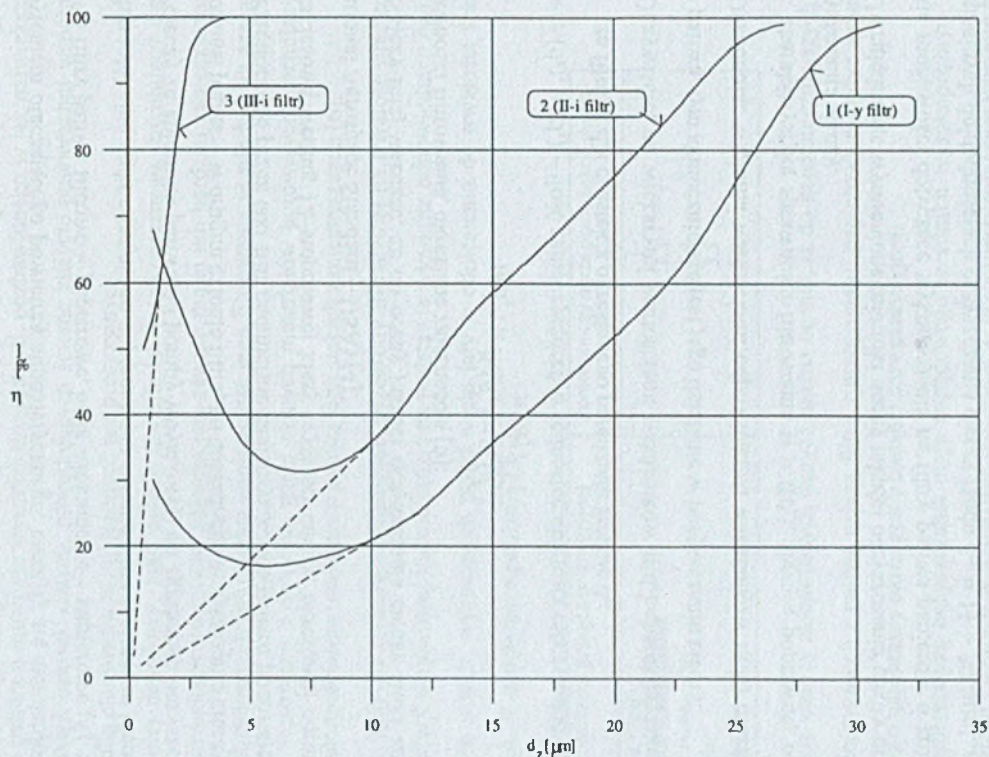
gdzie: $n_1(d_z)$, $n_2(d_z)$ – ilość zanieczyszczeń w jednostce objętości cieczy odpowiednio przed i za filtrem dla cząstek z określonego przedziału średnic d_z .

Oczywiście, im większymi wartościami wskaźników $\eta(d_z)$ charakteryzuje się wybrany filtr paliwa, tym skuteczniejsze jest jego działanie w oczyszczaniu cieczy.

Dysponując wieloma wartościami odpowiednich wskaźników $\eta(d_z)$ można wyznaczyć tzw. charakterystykę sprawności filtrowania $\eta = f(d_z)$, służącą poprawnej ocenie jakości oczyszczania cieczy.

Uwzględniając wymienione mierniki oceny jakości oczyszczania cieczy oraz nasuwające się możliwości dotyczące wykorzystania na filtry paliwa papierów o zróżnicowanych nominalnych dokładnościach oczyszczania cieczy rzędu $d_{zn} = 11 + 30$ [μm], a ostatnio nawet $d_{zn} = 3 + 10$ [μm] (gdzie: d_{zn} – średnica zanieczyszczeń, które w 98 % zostają zatrzymane przez wybraną przegrodę filtracyjną) [3,4], dokonano teoretycznej analizy pracy trzystopniowego filtra papierowego, w którym można byłoby wykorzystać trzy gatunki papieru filtracyjnego.

Wyniki takiej analizy przedstawiono na rys. 1 oraz w tabeli 1 [4].



Rys.1. Charakterystyki sprawności filtrowania $\eta=f(d_z)$ dla $w=\text{const}$, (w - prędkość filtrowania) 1-papier ($d_{zn}=30 \mu\text{m}$); 2-papier ($d_{zn}=26 \mu\text{m}$); 3-papier ($d_{zn}=4 \mu\text{m}$); - krzywe kreskowane dotyczą pracy filtrów w początkowym okresie ich pracy (d_{zn} - nominalna dokładność filtracji cieczy odpowiadająca średnicy d_z cząstek, które w 98% są zatrzymywane w filtrze).

Fig.1. The filtration efficiency characteristics, $\eta=f(d_z)$, for $w=\text{const}$, where w denotes the filtration rate 1-paper ($d_{zn}=30 \mu\text{m}$); 2-paper ($d_{zn}=26 \mu\text{m}$); 3-paper ($d_{zn}=4 \mu\text{m}$); dashed curves show the work of the filters in the initial stage of their operation (d_{zn} - the nominal accuracy of filtration of the liquid, corresponding to the diameter d_z , at which 98% of impurities are stopped in the filter)

Z analizy odpowiednich charakterystyk $\eta = f(d_z)$ pokazanych na rys. 1 oraz danych, zawartych w tabeli 1 wynika, że przefiltrowane w trzystopniowym filtrze paliwo o nadmiernym, pierwotnym zanieczyszczeniu charakteryzowałoby się czystością, kwalifikującą go pomiędzy siódmą a szóstą klasą czystości według wymienionej już normy NAS 1638. Zawierałoby ono bowiem 279 [szt/cm³] zanieczyszczeń o rozmiarach $5 + 100$ [μm], wobec dopuszczalnej ich ilości 195 [szt/cm³] w szóstej klasie oraz 389 [szt/cm³] w siódmej klasie czystości cieczy [7].

Należy jednak zwrócić uwagę na niedoskonałość takiego rozwiązania:

- trzystopniowy filtr papierowy cechuje się stosunkowo niską sprawnością filtrowania dla cząstek z przedziału wymiarowego $d_z = 0,20 + 8$ [μm] w początkowym okresie jego pracy, co można zauważyć na rys. 1 (linie kreskowane). Okres taki sięga $10 + 15$ [%] całkowitego czasu użytecznej pracy filtru ;
- filtr trzystopniowy nie znalazł dotychczas szerszego zastosowania w silnikach pojazdów kołowych ze względu na stosunkowo znaczne wymiary gabarytowe, a także porównawczo znaczne koszty produkcji i koszty obsługi technicznych, związanych z wymianą jego poszczególnych elementów filtracyjnych ;
- o żywotności filtru trzystopniowego – pomimo takiego doboru poszczególnych przegród filtracyjnych, aby zanieczyszczały się w miarę równomiernie – decyduje jednak ostatecznie jego trzeci stopień, o najwyższej dokładności oczyszczania cieczy d_{zn} (najmniejsza wartość liczbowa tego wskaźnika). Stwarza to możliwości skróconego w odniesieniu do zakładanego okresu pracy tego filtru.

W związku z tymi niedoskonałościami rozważanego zastosowania trzystopniowego filtru papierowego należało podjąć prace badawcze nad alternatywnym rozwiązaniem procesu filtrowania oleju napędowego w silniku wysokoprężnym, które zapewniłoby pożądaną, wysoką klasę jego czystości.

3. WYNIKI BADAŃ NAD ZASTOSOWANIEM SZKLANYCH WŁÓKNIN DO OCZYSZCZANIA PALIWA W SILNIKU WYSOKOPRĘŻNYM

Na podstawie analizy rozwiązań konstrukcyjnych filtrów paliwa oraz materiałów porowatych stosowanych do oczyszczania różnych cieczy w układach hydraulicznych maszyn podjęto badania nad wykorzystaniem szklanych włóknin w procesie filtrowania paliwa w

silniku wysokoprężnym. Przyjęto przy tym założenie zbudowania filtra pojedynczego, zapewniającego jakość oczyszczania cieczy równorzędną do uzyskanej poprzednio w obliczeniach symulacyjnych trzystopniowego filtra papierowego. Konstrukcję samego elementu (wkładu) filtracyjnego oparto na znanym powszechnie rozwiązaniu układu gwiaździstego [6] oraz gabarytowo dopasowano do wykorzystania w miejsce dotychczasowych elementów filtracyjnych papierowych.

Wyniki badań jakości oczyszczania paliwa prototypowego filtra szklano – włókninowego obok wyników badań porównawczych stosowanych obecnie dokładnych filtrów papierowych produkcji krajowej i zagranicznej przedstawiono w tabeli 2 [5]. Badania te zrealizowano na w pełni zautomatyzowanym stanowisku badawczym SINGLE PASS, prototypowym w skali kraju.

Należy dodać, że podane w tabeli 2 wskaźniki przedziałowych sprawności filtrowania : η_2 , η_5 , η_{10} , η_{15} , η_{25} odnoszą się odpowiednio do następujących przedziałów wymiarowych zanieczyszczeń : $2 [\mu\text{m}] < d_z \leq 5 [\mu\text{m}]$, $5 [\mu\text{m}] < d_z \leq 10 [\mu\text{m}]$, $10 [\mu\text{m}] < d_z \leq 15 [\mu\text{m}]$, $15 [\mu\text{m}] < d_z \leq 25 [\mu\text{m}]$, $25 [\mu\text{m}] < d_z \leq 50 [\mu\text{m}]$.

Z analizy danych, zawartych w tej tabeli wynika jednoznacznie, iż prototypowy filtr szklano – włókninowy wyróżnia się porównawczo wysoką jakością oczyszczania cieczy.

Przy uwzględnieniu średnich wartości wskaźników przedziałowych sprawności oczyszczania cieczy w filtrze prototypowym szklano – włókninowym (według tabeli 2) zebrano w tabeli 3 obliczeniowe wyniki efektów oczyszczania paliwa o stężeniu i składzie granulometrycznym cząstek, podanym w tabeli 1.

Z analizy danych, zawartych w tabeli 3 wynika, że oczyszczony olej napędowy w filtrze szklano – włókninowym charakteryzuje się czystością, kwalifikującą go pomiędzy siódmą a szóstą klasą czystości według normy NAS 1638. Zawiera bowiem $275 [\text{szt}/\text{cm}^3]$ zanieczyszczeń o rozmiarach $5 \div 100 [\mu\text{m}]$, wobec dopuszczalnej ich ilości $195 [\text{szt}/\text{cm}^3]$ w szóstej klasie oraz $389 [\text{szt}/\text{cm}^3]$ w siódmej klasie czystości cieczy.

Należy nadmienić, że żywotność filtra szklano–włókninowego jest podobna do dokładnych, pojedynczych filtrów papierowych o znacznie niższej jakości oczyszczania paliwa, podanej w tabeli 2. Filtr szklano – włókninowy poddano w Wytwórni Filtrów „PZL – Sędziszów” także innym badaniom, związanym z jego działaniem oraz odbiorom technicznym, zgodnie z obowiązującymi normami dla filtrów paliwa. Stwierdzono, iż prototypowy filtr szklano–włókninowy spełnia wszystkie wymagania obowiązujących norm.

Tabela 1

Obliczeniowe efekty oczyszczania paliwa przez trzystopniowy filtr papierowy przy wykorzystaniu trzech różnych gatunków papieru

d_z (μm)	0,20 +2,15	2,15 + 4,30	4,30 + 6,45	6,45 + 8,60	8,60 + 10,75	10,75 + 12,90	12,90 + 15,05	15,05 + 17,20	17,20 + 19,35	19,35 + 21,50	21,50 + 23,65	23,65 + 51,60	Razem 0,20 + 51,60
wart. liczb.			5 + 15					15 + 25				25 + 50	5 + 100
n_1	1472222	113425	67868	57314	45333	27793	18509	12102	6144	3975	2530	1807	1 829 022
η_I	0,300	0,200	0,180	0,180	0,200	0,250	0,330	0,380	0,510	0,615	0,730	0,970	–
n_{21}	1030555	90740	55652	46997	36266	20845	12401	7503	3011	1530	683	54	1 306 237
η_{II}	0,670	0,490	0,340	0,310	0,350	0,450	0,550	0,710	0,755	0,865	0,900	0,955	–
n_{22}	340083	46277	36730	32428	23573	11465	5580	2176	738	207	68	0	499325
η_{III}	0,550	0,980	0,995	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	–
n_{23}	153037	926	184	71	24	0	0	0	0	0	0	0	154242

Przedział d_z (μm)	5 + 15	15 + 25	25 + 50	50 + 100	100	Razem 5 + 100
Dla filtra trzystopniowego	279	0	0	0	0	279
Dopuszczalna ilość cząstek wg NAS 1638 klasa 6	160	29	5	1	0	195
Dopuszczalna ilość cząstek wg NAS 1638 klasa 7	320	57	10	2	0	389
Oznaczenia : n_1 – ilość cząstek w 1 cm^3 paliwa niefiltrowanego n_{21} , n_{22} , n_{23} – ilość cząstek w 1 cm^3 paliwa przefiltrowanego odpowiednio przez 1, 2 i 3 filtry z przegrodami papierowymi η_I , η_{II} , η_{III} – sprawności filtrowania dla I, II i III stopnia filtrowania						

Tabela 2

Zestawienie wyników badań filtrów paliwa metodą Single - Pass

Zestawienie przedziałowych sprawności filtrowania						
Typ filtra	Nr filtra	η_2	η_5	η_{10}	η_{15}	η_{25}
Dokładny filtr papierowy produkcji krajowej	1	0,4644	0,6751	0,8307	0,8967	1
	2	0,5166	0,6656	0,7888	0,8485	1
	3	0,5045	0,6732	0,8024	0,8613	1
	średnia	0,4951	0,6716	0,8073	0,8688	1
Dokładny filtr papierowy produkcji zagranicznej	1	0,8059	0,9283	0,9792	0,9938	1
	2	0,7909	0,9148	0,9725	0,9915	1
	3	0,7836	0,9121	0,9721	0,9946	1
	średnia	0,7934	0,9184	0,9746	0,9933	1
Prototypowy filtr szklano-włókninowy	1	0,9952	0,9984	0,9996	1	1
	2	0,9958	0,9983	0,9995	1	1
	3	0,9968	0,9988	0,9997	1	1
	średnia	0,9959	0,9985	0,9996	1	1

Tabela 3

Obliczeniowe efekty oczyszczania paliwa przez prototypowy filtr szklano – włókninowy

d_z [μm]	0,20 +2,15	2,15 + 4,30	4,30 ÷ 6,45	6,45 + 8,60	8,60 + 10,75	10,75 ÷ 12,90	12,90 + 15,05	15,05 + 17,20	17,20 + 19,35	19,35 + 21,50	21,50 + 23,65	23,65 + 51,60	Razem 0,20 ÷ 51,60
wart. liczb.			5 + 10		10 ÷ 15		15 ÷ 25			25 + 50			
n_1	1 472 222	113425	67868	57314	45333	27793	18509	12102	6144	3975	2530	1807	1 829 022
η	–	0,9959	0,9985		0,9996		1,000			1,000			
n_2	–	465	256		19		0			0		740	
Przedział d_z [μm]	5 + 15		15 ÷ 25		25 ÷ 50		50 + 100		100		Razem 5 ÷ 100		
Dla prototypowego filtra szklano – włókninowego	275		0		0		0		0		275		
Dopuszczalna ilość cząstek wg NAS 1638 klasa 6	160		29		5		1		0		195		
Dopuszczalna ilość cząstek wg NAS 1638 klasa 7	320		57		10		2		0		389		
Oznaczenia : n_1 – ilość cząstek w 1 cm ³ paliwa niefiltrowanego n_2 – ilość cząstek w 1 cm ³ paliwa przefiltrowanego η – sprawność filtrowania													

4. PODSUMOWANIE

Prototypowy filtr szklano-włókninowy charakteryzuje się pożądaną, wysoką jakością oczyszczania cieczy. W odniesieniu do pierwotnie nawet nadmiernie zanieczyszczonego paliwa jego zastosowanie umożliwia takie przefiltrowanie cieczy, które kwalifikuje ją do stosunkowo wysokiej klasy czystości, według normy NAS 1638. Uwzględniając jego pełną zamiennność z filtrami papierowymi można uznać, iż filtr ten spełnia oczekiwania, związane z usprawnieniem procesu filtrowania paliwa w silniku wysokoprężnym. Można więc spodziewać się w wyniku jego zastosowania podwyższonej trwałości i niezawodności pracy aparatury wtryskowej, a tym samym silnika wysokoprężnego, niezależnie od zmniejszenia przez niego w eksploatacji zawartości toksycznych składników w spalinach.

Literatura

1. Falkowski H., Krępeć T.: Obsługa i naprawa aparatury paliwowej silników wysokoprężnych. Wydanie trzecie. WKiŁ, Warszawa 1979.
2. Jemielianow L. A.: Filtracja dizjelnego topliwa. Maszgiz., Moskwa 1962.
3. Ponomariew N. N., Grigoriew M. A., Kamargin S. A., Golsztajn N. S.: Ocjenka efektiwnosti roboty filtrow dizjelnego topliwa na awtomobilie. Dwigateliestrojenije nr 3, 1983.
4. Siuta T., Sowa K.: Uwarunkowania i możliwości uzyskania wysokiej klasy czystości paliwa w układzie zasilania samochodowego silnika wysokoprężnego. KONMOT '96. Kraków 1996.
5. Siuta T., Marciniec Z., Szlachta Z.: Sprawozdanie z wykonania zadania nr 11 pt.: „Przeprowadzenie badań stanowiskowych partii prototypowych filtrów nowej generacji” harmonogramu projektu celowego pt.: „Wysokodokładny filtr wielozadaniowy dla paliw i innych cieczy w silnikach spalinowych i maszynach roboczych”. Politechnika Krakowska, Kraków 1998.
6. Zabłocki M., Siuta T.: Filtry paliwa silników wysokoprężnych. WKiŁ, Warszawa 1979.
7. Żmichorski J.: Klasy czystości cieczy technicznej. Filtry i filtracja płynów. I Ogólnokrajowa Konferencja Naukowo – Techniczna. Rzeszów 1974.