

## INFLUENCE OF RUNNING SHIP DIESEL ENGINES ON MIXTURES OF FUEL OIL AND RAPE OIL METHYL ESTERS, TO DIESEL WORKING PROCESS AND EXHAUST GAS KONTENT.

**Kazimierz Witkowski**

*Akademia Morska w Gdyni, Katedra Siłowni Okrętowych  
ul. Morska 83, 81-225 GDYNIA  
tel. (058) 69 01 332  
e-mail: wika@am.gdynia.pl*

### **Abstract**

*The paper presents introduction to the research on possible supplying ship diesel engines with mixtures of diesel oils and vegetable oils or their esters with accounting for ecological aspects – exhaust gas purity. Characteristics of vegetable oils and their esters are compared with those diesel oils. Consequences of their application to diesel engines, mainly for their working process and exhaust gas content, are indicated. Also, influence of combusting mixtures of diesel oil and vegetable oils or their esters, are discussed in the same context.*

*The paper present results of experimental tests were carried out on a ship diesel engine supplied with marine diesel oil and the oil and rape oil methyl esters mixed in different proportions. Was paid to influence of combustion of the mixtures of diesel oil and rape oil methyl esters on working parameters of the engine, including noxious components capacity. As a result of research stated that a little greater viscosity used in research mixtures of diesel oil and RME relative to the diesel oil did have not the negative influence on parameters work of the injection system.*

**Keywords:** tests, combustion, alternative fuel, fuel oils, rape oil methyl esters, exhaust gas content.

## WPLYW ZASILANIA OKRĘTOWYCH SILNIKÓW WYSOKOPRĘŻNYCH MIESZANINAMI OLEJU NAPĘDOWEGO I ESTRÓW OLEJU RZEPAKOWEGO NA PARAMETRY PRACY SILNIKA I SKŁAD SPALIN.

### **Streszczenie**

*Artykuł stanowi wprowadzenie do tematyki badawczej dotyczącej możliwości zasilania okrętowych silników o zaplonie samoczynnym mieszaninami oleju napędowego i roślinnego lub oleju napędowego i estrów oleju roślinnego, z uwzględnieniem aspektów ekologicznych – czystości spalin. Omówiono właściwości olejów roślinnych i ich estrów, porównując je z właściwościami oleju napędowego. Wskazano na pewne konsekwencje ich stosowania do zasilania silników wysokoprężnych, uwzględniając przewidywany wpływ na przebieg procesu roboczego i skład spalin. W tym samym kontekście omówiono również wpływ spalania mieszaniny oleju napędowego i oleju roślinnego lub estrów oleju roślinnego.*

*W artykule przedstawiono wyniki badań własnych przeprowadzonych na okrętowym silniku wysokoprężnym, zasilanym olejem napędowym, a także mieszaninami oleju napędowego i estrów oleju rzepakowego, o różnym składzie procentowym. Badano wpływ spalania mieszanin oleju napędowego z estrami oleju rzepakowego na parametry pracy silnika oraz skład spalin, w tym zawartość składników szkodliwych. W rezultacie badań stwierdzono, że nieco większa lepkość zastosowanych w badaniach mieszanin ON i RME w stosunku do oleju napędowego nie ma negatywnego wpływu na parametry pracy układu wtryskowego.*

**Słowa kluczowe:** badania, spalanie, paliwa alternatywne, oleje napędowe, estry oleju rzepakowego, skład spalin

### **1. Wstęp**

Obecnie okrętowe silniki wysokoprężne napędu głównego statków morskich powszechnie zasilane są paliwami ciężkimi (pozostałościowymi). Odnosi się to także bardzo często do silników

pomocniczych, szczególnie agregatów prądotwórczych elektrowni okrętowej.

Na wielu statkach jednak nadal agregaty prądotwórcze zasilane są olejami napędowymi (ON). Również na jednostkach małych, w tym kutrach rybackich, jednostkach portowych, statkach żeglugi przybrzeżnej najczęściej silniki okrętowe zasilane są olejami napędowymi.

Ciągły wzrost zapotrzebowania na ON, wzrost cen, rosnące wymagania ekologiczne, powodują, że zwraca się uwagę na paliwa alternatywne, nazywane również zastępczymi lub niekonwencjonalnymi. Dodatkową przyczyną rosnącego zainteresowania tymi paliwami jest rosnące prawdopodobieństwo spadku wydobycia surowca do ich produkcji - ropy naftowej, z powodów zarówno politycznych jak i ze względu na istotne zmniejszanie się jej zasobów na świecie. Obecnie również coraz silniej podnosi się problem zagrożeń dla środowiska naturalnego, które towarzyszy wydobyciu, transportowi i przeróbce ropy naftowej, a później spalaniu paliw ropopochodnych.

Za paliwa silnikowe niekonwencjonalne można uważać wszystkie media energetyczne (źródła energii) inne niż ropopochodne. W pozycji [1] dokonano próby usystematyzowania grupy paliw niekonwencjonalnych. Jak wynika z przedstawionego podziału, istnieje szeroka gama możliwości zasilania silników wysokoprężnych, paliwami gazowymi i ciekłymi, ale w obecnej praktyce eksploatacyjnej, w tym szczególnie silników okrętowych, większość z tych paliw nie jest stosowana. W programie badań własnych uwzględniono tylko zasilanie okrętowego silnika wysokoprężnego mieszaniną oleju napędowego (ON) i estru oleju roślinnego – rzepakowego (RME).

## 2. Zastosowanie olejów roślinnych do zasilania silników wysokoprężnych

Już Rudolf Diesel stosował do spalania w silnikach olej roślinny – arachidowy. Później również dokonywano takich prób, w tym intensywnie ze względów ekonomicznych w okresie światowego kryzysu paliwowego w latach siedemdziesiątych XX wieku, a obecnie głównie ze względu na ochronę środowiska.

W północnej strefie klimatu umiarkowanego najczęściej bierze się pod uwagę olej rzepakowy, lniany i kukurydziany. W innych strefach klimatycznych może to być olej sojowy, słonecznikowy, palmowy, bawełniany, sezamowy arachidowy czy kokosowy.

Oleje roślinne są estrami gliceryny i kwasów tłuszczowych zawierających w cząsteczce od 14 do 22 atomów węgla [5]. W tabeli 1 [1] zestawiono porównawczo własności ON i wybranych olejów roślinnych.

Tabela 1. Porównanie własności olejów napędowych, olejów roślinnych i estrów metylowych wyższych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (RME)

Table 1. Comparison of some properties of diesel oils, vegetable oils and methyl ester of higher fatty acids of rape oil (RME)

Parametr	Jednostki	Oleje Napędowe	Oleje roślinne		Estry RME
			rzepakowy	Palmowy	
Gęstość- temp.15°C	kg/m <sup>3</sup>	820 ÷ 860	920	899	860 ÷ 900
Lepkość kinematyczna w temp.:	mm <sup>2</sup> /s				
- 40°C		1,5 ÷ 4,5	30,0 ÷ 43,0	39,3	4,3 ÷ 6,3
- 100°C		0,75	8,0 ÷ 8,4	8,4	~ 1,8
Liczba cetanowa		45 ÷ 55	~ 51	~ 51	49 ÷ 56
Wartość opałowa	MJ/kg	42 ÷ 45	37,1 ÷ 37,5	37,3	37 ÷ 39
Temp. płynięcia	°C	<-15	-6	38	-5 ÷ -8
Stosunek C/H/O	% masy	86/14/0	77/12/11	77/12/11	-
Zawartość siarki	mg/kg	<350	1	<1	10 ÷ 25

Jak wynika z danych zawartych w tabeli 1 część parametrów olejów roślinnych, ich estrów i olejów napędowych ma zbliżone wartości. Wyraźna różnica odnosi się do gęstości, lepkości kinematycznej i temperatury płynięcia. Oczywiście w warunkach polskiego rynku istotne jest przede wszystkim porównanie ON i oleju rzepakowego (OR) oraz ON i RME. Gęstość i lepkość OR jest wyraźnie większa, co może utrudniać zasilanie silników wysokoprężnych, ale pozytywnymi ich cechami jest praktycznie brak zawartości siarki oraz zdolność do biodegradacji. Oleje rzepakowe mają inny skład chemiczny (pierwiastkowy) niż ON, a co za tym idzie mają mniejszą wartość opałową. Wyniki badań [2, 3, 4, 9, 10,] stosowania OR do zasilania silników wysokoprężnych wykazują gorsze napełnianie cylindrów, gorsze rozpylanie, większe długości strug wtryskiwanego oleju, co ma związek z dużą ich lepkością i gęstością. Silniki zasilane olejem rzepakowym pracują z niższą sprawnością ogólną na co wpływa głównie mniejsza wartość opałowa w porównaniu z ON, ale także pogorszenie procesu rozpylania i w konsekwencji wydłużenie spalania. Nie ma jednoznacznych wyników badań dotyczących toksyczności spalin, bowiem oprócz bezpośredniego związku składu spalin z własnościami oleju rzepakowego, badacze podkreślali również bardzo istotny wpływ geometrii komory spalania i warunków pracy silnika. Większość uzyskiwanych danych wskazuje jednak na pewną poprawę czystości spalin, w stosunku do ich składu, gdy silnik jest zasilany olejem napędowym. Niepokojące są natomiast zjawiska towarzyszące zasilaniu olejem rzepakowym silników z wtryskiem bezpośrednim, do których zaliczyć należy:

- częste zatykanie otworów rozpylacza,
- duża skłonność do powstawania nagarów na denkach tłoków, w rowkach pierścieniowych, na zaworach i gniazdach zaworowych,
- trudności rozruchu silników w niskich temperaturach otoczenia,
- zacieranie par precyzyjnych pomp wtryskowych.

Powyższe powody skłaniają do twierdzenia, że nie należy powszechnie stosować OR do zasilania silników o zapłonie samoczynnym z wtryskiem bezpośrednim. Dużo lepsze efekty można natomiast uzyskać stosując oleje modyfikowane chemicznie. Wówczas mówi się o estrach olejów roślinnych – estrach metylowych wyższych kwasów tłuszczowych FAME. W Polsce oraz wielu krajach europejskich do produkcji estrów stosuje się zazwyczaj olej rzepakowy i alkohol metylowy, a otrzymane estry metylowe wyższych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego określa się mianem RME (Rape-seed Oil Methyl Ester) lub skrótem EMKOR.

Wobec istotnych trudności samodzielnego stosowania olejów roślinnych oraz ograniczeń w stosowaniu estrów do zasilania silników wysokoprężnych, alternatywą jest zastosowanie mieszanin olejów napędowych i olejów roślinnych lub olejów napędowych i estrów olejów roślinnych.

### **3. Mieszaniny olejów napędowych i olejów roślinnych lub ich estrów**

Ostateczne własności mieszaniny zależą od wartości parametrów obu mieszanych olejów oraz od wzajemnego ich stosunku w mieszaninie. Bardzo ważnym oczekiwaniem jest zmniejszenie gęstości i lepkości mieszaniny w stosunku do wartości charakterystycznych dla danego oleju roślinnego lub estru. Już niewielkie ilości ON dodane do OR powodują zauważalne zmiany własności mieszaniny. Według danych zawartych w [1, 10] dodanie 20% oleju napędowego do oleju rzepakowego spowodowało spadek lepkości o około 30%, a także zmniejszenie okresu opóźnienia samozapłonu. Poprawiają się własności rozruchowe silnika. W powszechnych zastosowaniach eksploatacyjnych najczęściej mówi się o niewielkiej ilości oleju rzepakowego lub jego estru (RME) dodawanych do ON (np.: od 5% do 20 %). Badania pojazdów mechanicznych [10] zasilanych mieszaniną 20% OR i 80% ON nie wykazywały żadnych negatywnych skutków.

W odniesieniu do wysokoprężnych silników okrętowych, postanowiono przeprowadzić badania z mieszaninami ON-RME początkowo nie przekraczając 20% estru oleju rzepakowego w mieszaninie.

Podstawowe własności oleju napędowego i RME (EMKOR) oraz przygotowanych do badań eksperymentalnych ich mieszanin zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Podstawowe parametry ON, RME i ich mieszanin użytych w badaniach własnych  
Table 2. The basic properties of the MDO and RME and their mixtures selected for the experimental tests

OLEJE	Gęstość kg/m <sup>3</sup>	Lepkość °E				Lepkość cSt (mm <sup>2</sup> /s)			
		20°C	50°C	70°C	80°C	20°C	50°C	70°C	80°C
		Olej napędowy (ON)	831	1,31	1,11	1,04	1,01	4,2	2,1
Ester oleju rzepakowego RME	883	1,79	1,29	1,13	1,12	9,3	4,0	2,3	2,2
95% ON + 5% RME	833	1,38	1,15	1,08	1,01	4,7	2,5	1,8	1,1
90% ON + 10% RME	836	1,38	1,14	1,06	1,03	4,9	2,4	1,6	1,3
80% ON + 20% RME	840	1,37	1,08	1,02	1,01	4,8	1,8	1,2	1,1

Mieszaniny przygotowane do badań własnych (5%, 10% i 20% RME w ON) nie wymagają zastosowania na silniku zmian konstrukcyjnych i regulacyjnych.

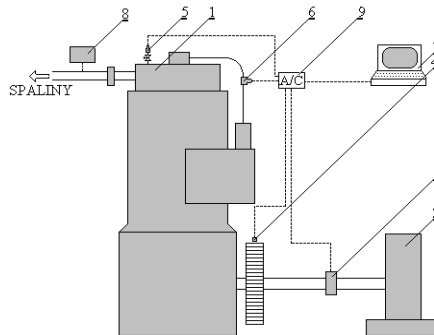
## 4. Badania laboratoryjne

### 4.1. Obiekt badań

Obiektem badań był dwusuwowy, wodzikowy, jednocylindrowy, doładowany silnik wysokoprężny przepłukiwany wzdłużnie. Jest on elementem stanowiska laboratoryjnego, które umożliwia obciążanie silnika, w szerokim zakresie, zarówno momentem obrotowym jak i prędkością obrotową. Podczas pracy silnika można rejestrować najważniejsze parametry, w tym w oparciu o indykator elektroniczny parametry indykowane. Wykorzystanie analizatora spalin pozwala na badanie ich składu. Schemat stanowiska pokazano na rysunku 1.

W celu przeprowadzenia badań, do zasilania silnika, przygotowano olej napędowy oraz jego mieszaniny z estrami oleju rzepakowego, w następującej proporcji:

- 5% estru oleju rzepakowego w oleju napędowym,
- 10% estru oleju rzepakowego w oleju napędowym,
- 20% estru oleju rzepakowego w oleju napędowym.



Rys. 1. Szkic stanowiska badawczego: 1 - silnik L-22, 2 - hamulec wodny, 3 - torsjometr, 4 - czujnik znacznika położenia wału korbowego i pomiaru prędkości obrotowej, 5 - przetwornik ciśnienia spalania, 6 - przetwornik ciśnienia wtrysku, 7 - komputer, 8 - analizator spalin, 9 - przetwornik analogowo-cyfrowy

Fig. 1. Test stand block diagram: 1 - L-22 diesel engine, 2 - water brake, 3 - torsionmeter, 4 - gauge for crankshaft position marking and rotational speed measuring, 5 - combustion pressure transducer, 6 - injection pressure transducer, 7 - computer, 8 - exhaust gas analyzer, 9 - analog/digital converter

olej napędowy miał gęstość  $831 \text{ kg/m}^3$ , a użyty w badaniach ester oleju rzepakowego  $883 \text{ kg/m}^3$ . W efekcie mieszania oleju napędowego z estrem oleju rzepakowego otrzymano biopaliwo o gęstościach:  $833 \text{ kg/m}^3$  (95% ON i 5% RME),  $836 \text{ kg/m}^3$  (90% ON i 10% RME) i  $840 \text{ kg/m}^3$  (80% ON i 20% RME). Szczegółowe własności oleju napędowego i wymienionych mieszanin podano w tabeli 2.

## 4.2. Program badań

Mimo licznych badań dotyczących tej problematyki, prowadzonych również w Polsce, podkreśla się, że uzyskane wyniki są często sprzeczne. Badania prowadzono w bardzo różnych warunkach. Dotyczyły to zarówno dużego zróżnicowania typów silników wysokoprężnych jak i warunków ich obciążenia. Podkreśla się więc potrzebę prowadzenia badań przy stałej prędkości obrotowej. Jednocześnie brak jest konkretnych doniesień na temat zastosowania w zasilaniu silników okrętowych paliw alternatywnych, w tym mieszanin oleju napędowego i estrów olejów roślinnych. Dlatego też, postanowiono przeprowadzić badania laboratoryjne, których plan uwzględnia powyższe przesłanki.

Badania przeprowadzono w szerokim zakresie obciążeń silnika tj. od 25 do 80 % obciążenia znamionowego (25, 40, 50, 60, 70, 80 %  $M_o/M_n$ ) i stałej prędkości obrotowej wynoszącej 220 obr./min. Dla tej prędkości obrotowej i kolejno zadawanych obciążeń realizowano pomiary parametrów pracy silnika i składu spalin podczas spalania przez silnik oleju napędowego (ON) oraz mieszanin 95% ON+5% RME, 90% ON+10% RME i 80% ON+20% RME.

Uzyskane wyniki badań podczas zasilania silnika olejem napędowym, stanowią punkt odniesienia do określenia wpływu spalania mieszanin ON i RME na parametry pracy silnika oraz skład spalin.

## 4.3. Wyniki badań i ich analiza

Wyniki badań zestawiono w tabeli 3, a zmiany wartości wybranych parametrów pracy silnika i składników spalin, dla różnych obciążeń i rodzajów zastosowanych w badaniach paliw przy danej, stałej prędkości obrotowej pokazano w postaci wykresów na rysunkach od 2 do 5.

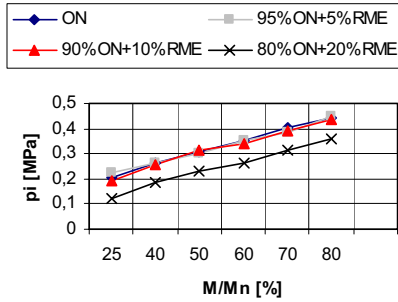
Analiza wyników badań wskazuje na zauważalny wpływ spalania mieszanin oleju napędowego z estrami oleju rzepakowego (RME) na parametry pracy silnika i skład spalin, w odniesieniu do ich wartości, uzyskanych podczas spalania oleju napędowego (ON).

W całym zakresie zadawanych obciążeń i ustalonej prędkości obrotowej silnika (220 obr./min) – rysunek 2, widoczny jest niewielki spadek średniego ciśnienia indykowanego ( $p_i$ ). Dla mieszanin do 10% RME w oleju napędowym spadek ten wynosi średnio 3%, ale jest znacząco większy (średnio nawet o ponad 25%) dla mieszaniny 20% RME i 80% ON.

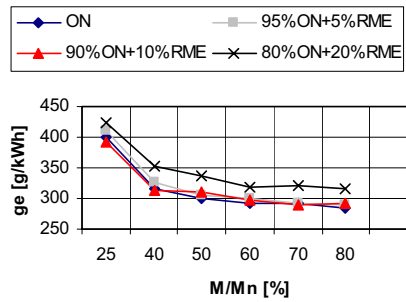
W konsekwencji tego, zauważalny jest wzrost jednostkowego zużycia paliwa  $g_e$  (rysunek 3), szczególnie wyraźny gdy silnik był zasilany mieszaniną 20% RME i 80% ON. Wówczas  $g_e$  wzrosło średnio o 8%.

Nie zaobserwowano istotnych zmian wartości maksymalnego ciśnienia spalania ( $p_{max}$ ). W czasie badań rejestrowano również przebieg ciśnień w układzie wtryskowym silnika. Niezależnie od rodzaju paliwa, zmiany ciśnień są niewielkie. Między innymi nie można stwierdzić istotnego wpływu zastosowanych w badaniach paliw na zmianę maksymalnego ciśnienia wtrysku  $p_{max \text{ wtr}}$ .

Na podstawie analizy spalin można stwierdzić, że spalanie ON z dodatkiem RME powoduje spadek zawartości tlenków azotu ( $\text{NO}_x$ ), tym większy im większa jest zawartość procentowa RME w ON (rysunek 4). Niejednoznaczne są zaś zmiany zawartości tlenku węgla (CO) w spalinach., którego zawartość wyraźnie wzrasta w przypadku spalania mieszaniny 20%RME i 80%ON (rysunek 5).



Rys. 2. Zmiany wartości średniego ciśnienia indykowanego  $p_i$  w funkcji obciążenia silnika, przy zasilaniu różnymi rodzajami paliw, dla stałej prędkości obrotowej 220 obr./min  
Fig. 2. Mean indicated pressure  $p_i$  in function of engine load for different kinds of fuel at constant engine rotational speed 220 rpm

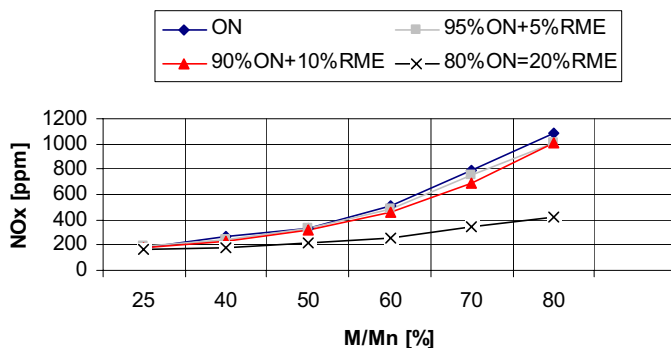


Rys. 3. Zmiany wartości jednostkowego zużycia paliwa  $g_e$  w funkcji obciążenia silnika, przy zasilaniu różnymi rodzajami paliw, dla stałej prędkości obrotowej 220 obr./min  
Fig. 3. Specific fuel consumption  $g_e$  in function of engine load for different kinds of fuel at constant engine rotational speed 220 rpm

Tabela 3. Zestawienie wyników badań – skład spalin i wybrane parametry pracy silnika, w zależności od obciążenia i rodzaju paliwa dla stałej prędkości obrotowej silnika 220 obr./min

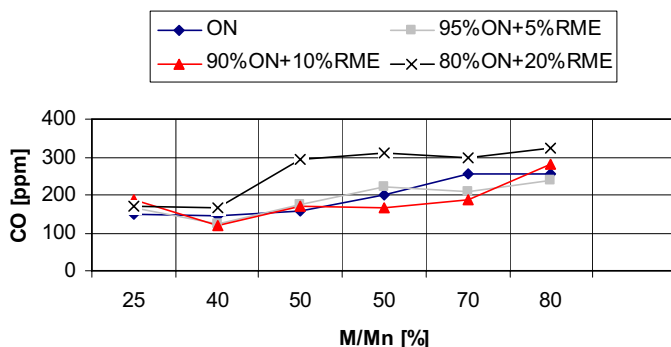
Table 3. Test results – exhaust gas content and values of selected working parameters of the engine In loading level and kind of fuel, at the constant engine speed of 220 rpm

Paliwo	Obciążenie	Skład spalin					Wybrane parametry silnika				
	M/M <sub>n</sub> %	O <sub>2</sub> ppm	CO Ppm	NO <sub>x</sub> ppm	NO <sub>x</sub> mg	CO <sub>2</sub> %	p <sub>i</sub> MPa	p <sub>max</sub> MPa	α <sub>pmax</sub> °OWK	p <sub>maxwtr</sub> MPa	g <sub>e</sub> g/kWh
ON	25	18,5	150	185	254	1,8	0,207	4,32	5,0	26,6	400
	40	18,4	145	273	375	1,8	0,264	4,68	4,5	27,8	316
	50	17,7	156	338	464	2,4	0,309	4,98	6,0	28,5	299
	60	16,7	198	515	707	3,1	0,352	5,34	6,5	32,1	291
	70	14,4	257	793	1035	4,8	0,407	5,57	6,0	28,5	291
	80	12,4	257	1089	1422	6,3	0,441	5,73	5,0	28,8	285
95% ON +5 % RME	25	18,4	164	194	266	1,8	0,223	4,29	4,5	27,0	410
	40	18,2	123	244	335	2,0	0,262	4,57	5,0	29,4	326
	50	17,8	176	328	450	2,3	0,303	4,90	6,0	28,2	305
	60	16,4	221	483	663	3,3	0,355	4,87	6,3	32,1	300
	70	14,2	208	759	1042	4,9	0,386	5,39	6,0	28,4	292
	80	12,2	237	1005	1380	6,4	0,451	5,60	6,0	28,2	290
90% ON +10 % RME	25	18,4	186	178	244	1,8	0,193	4,18	5,0	26,6	392
	40	18,5	119	226	310	1,8	0,255	4,51	7,0	28,2	314
	50	17,8	170	318	436	2,3	0,314	5,22	7,0	29,1	310
	60	16,8	168	454	623	3,0	0,341	5,20	6,0	30,0	298
	70	14,9	186	689	946	4,4	0,391	5,39	6,0	28,5	290
	80	11,9	280	1009	1386	6,6	0,439	5,56	6,01	28,4	293
80% ON +20 % RME	25	19,5	171	167	229	1,0	0,119	4,46	-2,2	25,0	424
	40	19,5	164	184	252	1,0	0,186	4,95	0,2	27,4	353
	50	19,4	293	214	294	1,1	0,228	5,33	0,0	27,2	336
	60	19,2	311	253	347	1,3	0,261	5,58	0,3	27,6	319
	70	18,3	299	341	468	1,9	0,314	5,52	2,3	27,7	321
	80	17,2	324	427	586	2,7	0,358	5,89	1,5	28,2	315



Rys. 4. Zmiany zawartości tlenków azotu ( $NO_x$ ) w spalinach w funkcji obciążenia silnika, przy zasilaniu różnymi rodzajami paliw, dla stałej prędkości obrotowej 220 obr/min

Fig.4.  $NO_x$  content in exhaust gas in function of engine load for different kinds of fuel at constant engine rotational speed 220 rpm



Rys.5. Zmiany zawartości tlenku węgla (CO) w spalinach w funkcji obciążenia silnika, przy zasilaniu różnymi rodzajami paliw, dla stałej prędkości obrotowej 220 obr/min

Fig.5. CO content in exhaust gas in function of engine load for different kinds of fuel at constant engine rotational speed 220 rpm

## 5. Wnioski

1. Liczne badania w polskich i zagranicznych ośrodkach naukowych dotyczące zasilania silników wysokoprężnych olejami rzepakowymi, ich estrami oraz mieszaninami oleju napędowego i rzepakowego były prowadzone na różnych silnikach i w różnych warunkach. Stąd uzyskane wyniki często znacząco się różnią, a nawet niekiedy są sprzeczne. Trudno jest więc wyciągnąć uogólnione wnioski.
2. Brak reprezentatywnych wyników badań silników wysokoprężnych uzyskanych przy stałej prędkości obrotowej i zmiennej dawce paliwa. Brak jest również danych odnoszących się do badań silników okrętowych zasilanych olejami rzepakowymi, ich estrami lub mieszaninami oleju napędowego i rzepakowego.
3. Biorąc pod uwagę dostępne w literaturze wyniki badań należy stwierdzić, że ze względu na gorsze własności robocze oleju rzepakowego w stosunku do oleju napędowego, olej

- rzepakowy raczej nie będzie zalecany jako samodzielne paliwo alternatywne do silników wysokoprężnych.
4. Należy spodziewać się powszechnego stosowania mieszanin ON – OR i ON - RME, ale istnieje jednocześnie potrzeba ustalenia dopuszczalnej zawartości oleju rzepakowego lub jego estru w mieszaninie.
  5. Celowym wydaje się również projektowanie silników wysokoprężnych specjalnie przygotowanych do spalania olejów roślinnych w tym rzepakowego.
  6. Adaptacja istniejących konstrukcji do spalania olejów roślinnych odnosząca się przede wszystkim do układu wtryskowego i komory spalania to inna możliwość powszechnego stosowania OR i RME.
  7. Biorąc pod uwagę powyższe wnioski, w badaniach własnych należy przede wszystkim skoncentrować uwagę na zasilaniu silnika okrętowego mieszaninami ON – RME o różnym składzie procentowym, a badania przeprowadzić dla stałych prędkości obrotowych silnika i zmiennej obciążenia (zmienna dawka paliwa).
  8. Zasilanie badanego silnika mieszaninami ON i RME spowodowało wyraźny spadek średniego ciśnienia indykowanego, a wzrost jednostkowego zużycia paliwa. Nie zaobserwowano natomiast istotnych zmian wartości  $p_{max}$ .
  9. Spalanie mieszanin ON i RME wskazuje na możliwość uzyskania pozytywnego skutku ekologicznego – zmniejszenie emisji tlenków azotu. Niejednoznaczne są zaś wyniki badań dotyczące zawartości w spalinach tlenku węgla, choć dla mieszaniny 20%RME i 80%ON wzrost zawartości CO należy uznać za niepokojący.
  10. Brak istotnych różnic w maksymalnych wartościach ciśnienia wtrysku paliwa należy uznać za pozytywny, mówiący o tym, że nieco większa lepkość zastosowanych w badaniach mieszanin ON i RME, stosunku do oleju napędowego, nie ma negatywnego wpływu na parametry pracy układu wtryskowego.

## Literatura

- [1] Baczewski, K., Kałdoński, T., *Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, W-wa 2004 r.
- [2] Bouche, T., Hinz, M., Hieber, D., Tschöke, H., *Einfluß verschiedener Pflanzenöl – Eigenschaften auf Verbrennung und Schadstoffbildung in einen direkteinspritzenden Dieselmotor*. MTZ, nr 3 (58), 1997.
- [3] Cisek, J., *Wpływ oleju rzepakowego i jego mieszanin z olejem napędowym na własności silnika wysokoprężnego*. Praca doktorska. Politechnika Krakowska, 1998.
- [4] Cisek, J., Szlachta, Z., *Correlation Between Autoignition Delay and Cetane Number of Rape Fuels at Varied Diesel Engine Work Conditions*. 27<sup>st</sup> International Scientific Conference on Combustion Engines KONES'2001. Jastrzębia Góra 2001.
- [5] Górski, W., Ostaszewski, W., Wiślicki, B., *Krajowe oleje roślinne surowcem dla paliw silnikowych i olejów smarowych*. Paliwa, oleje i smary w eksploatacji, nr 90/2001.
- [6] Krzyżanowski, J., Witkowski, K., *On possible lowering of the toxicity of exhaust gas from ship diesel engines by changing their control parameters*. Polish Maritime Research No 1(19) March 1999.
- [7] Krzyżanowski, J., Witkowski, K., *On effectiveness of lowering the toxicity of exhaust gas from ship diesel engines by simultaneous changing its too control parameters*. Polish Maritime Research No 1(23) March 2000.
- [8] Krzyżanowski, J., Witkowski, K., *Research on influence of some ship diesel engine malfunctions on its exhaust gas toxicity*. Polish Maritime Research No 1(19) March 2004.
- [9] Sagerer, R., *Einsatz regenerativer Brennstoffe im Motor*. MTZ, nr 11 (57), 1996.
- [10] Szlachta, Z., *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, W-wa, 2002.