ISSN 0209-2069

ZESZYTY NAUKOWE NR 1(73)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE

EXPLO-SHIP 2004

Przemysław Rajewski

Badanie możliwości komponowania mieszanin odpadów powirówkowych i paliw pozostałościowych jako paliwa kotłowego

Słowa kluczowe: paliwa pozostałościowe, oczyszczanie paliw, odpady powirówkowe

Omówiono badania lepkości, wartości opałowej paliw pozostałościowych, odpadów powirówkowych powstających w procesie oczyszczania takich paliw i mieszanin odpadów i paliw, przygotowanych dla zbadania możliwości użycia tego rodzaju komponentów do spalania ich w okrętowych kotłach pomocniczych.

Examinations of the Possibilities of Centrifugal Sludge and Residual Fuel Combination as Ship Boiler Fuel

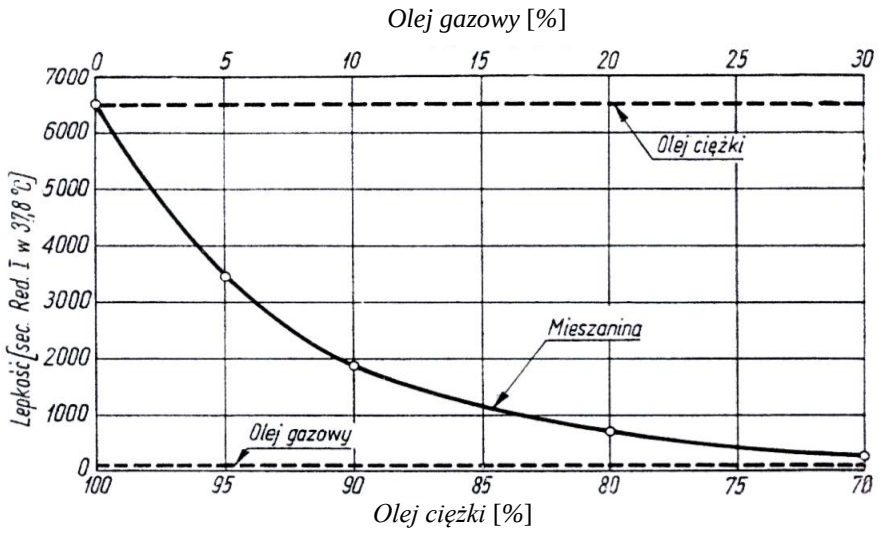
Key words: residual fuel, fuel treatment, centrifugal sludge

The paper contains the results of research on viscosity, calorific value of the residual fuel, centrifugal sludge, centrifugal sludge and residual fuel mixtures, in view of possible use of such mixtures as ship boiler fuel.

Wstęp

Skład chemiczny i własności fizyczne paliw bunkrowanych na statki nie są w pełni znormalizowane i zależą od rodzaju i źródła ropy naftowej oraz sposobu jej przeróbki. Brak konkretnych uzgodnień standaryzujących paliwa ciężkie powoduje, że producenci paliw często rozcieńczają najgorsze paliwa o lepkości 600 – 700 mm^2/s w 50°C do lepkości 380 a nawet do 180 mm^2/s w 50°C [1].

Gęstość tych paliw dochodzi do wartości 0,99 t/m^3, a lepkość paliw stosowanych w eksploatacji osiąga wartości 600 mm^2/s w 50°C. Paliwa te są komponowane jako pozostałości po destylacji zachowawczej ropy naftowej, pozostałości pokrakingowe lub ich mieszaniny. Jeżeli lepkość tych produktów jest zbyt duża, zmniejsza się ją przez dodanie paliw o mniejszej lepkości – najczęściej oleju gazowego. Wpływ ilości oleju gazowego, dodawanego do oleju ciężkiego w celu zmniejszenia lepkości mieszaniny obu tych paliw, ilustruje poniższy wykres (rys. 1).



Rys. 1. Lepkość mieszanin oleju ciężkiego (6500 sec. Red. I w 37,8°C) i oleju gazowego [2]
Fig. 1. Viscosity of the heavy fuelmixtures (6500 sec. Red. I at 37.8°C) and gas oil

Dla zmniejszenia lepkości oleju ciężkiego o połowę wystarcza zaledwie kilkuprocentowy dodatek oleju gazowego. Uzyskane w ten sposób mieszaniny mają tendencję do rozwarstwiania się [6]. Stabilność takich mieszanin jest tym większa, im mniejszy jest dodatek czystego destylatu. Ponieważ oleje ciężkie stanowią w istocie zawsze pozostałości z przeróbki ropy, paliwa te są silnie zanieczyszczone takimi samymi składnikami jak surowa ropa naftowa. Z tego

względu zarówno właściwości fizykochemiczne, jak i zawartość zanieczyszczeń paliw ciężkich zmieniają się w bardzo szerokich granicach, zależnie od pochodzenia surowca wyjściowego oraz sposobu jego przeróbki. Różnice własności fizykochemicznych paliw mają odzwierciedlenie we własnościach odpadów powstających w procesie oczyszczania paliw w wirówkach [6].

Kontynuując prace prowadzone w ITESO Akademii Morskiej w Szczecinie, których celem było określenie możliwości rozpylania i spalania odpadów powirówkowych z paliw pozostałościowych, wykonano badania odpadów odrzuconych z paliwa IFO 380 w wirówce FOPx 609, pracującej w instalacji Alcap, mające na celu określenie:

- gęstości odpadów,
- lepkości odpadów,
- wartości opałowej odpadów,
- możliwości zmiany lepkości przez rozcieńczanie odpadów paliwem IFO380 do wartości, umożliwiającej ich rozpylenie i spalenie w kotłach okrętowych.

Oznaczanie gęstości paliwa

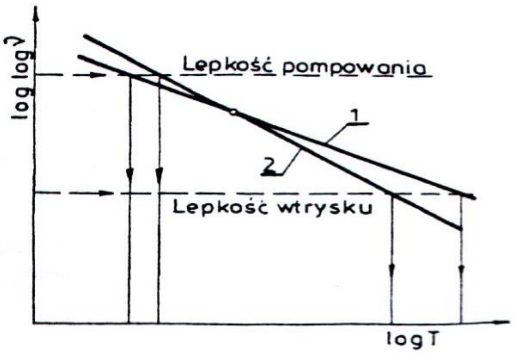
Dokładne oznaczenia gęstości badanych paliw i odpadów z procesu wirowania uzyskano za pomocą piknometru. Metoda ta polega na pomiarze stosunku masy badanego produktu do masy wody o tej samej objętości i tej samej temperaturze. Do oznaczenia użyto piknometru wykonanego ze szkła borokrzemowego, którego współczynnik rozszerzalności cieplnej wynosi $\alpha = 14 \cdot 10^{-6}$ uzyskując wynik:

Próbka odpadów nr 1	Próbka odpadów nr 2
$\rho_{c\ \text{rzeczywiste}} = 0{,}996$ [g/cm^3],	$\rho_{c\ \text{rzeczywiste}} = 1{,}009$ [g/cm^3].

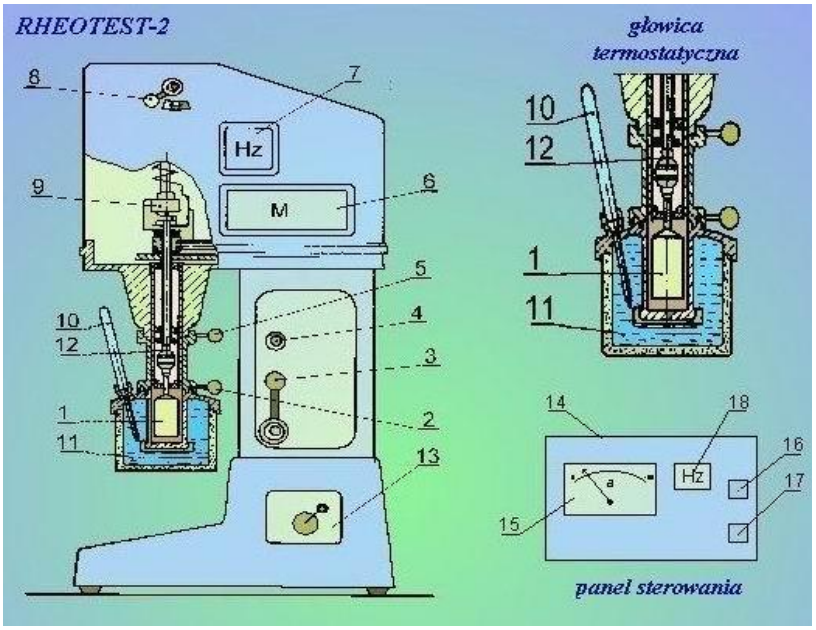
Pomiary lepkości odpadów powirówkowych i ich mieszanin z paliwem

Paliwa pozostałościowe należą do grupy płynów nienewtonowskich, mających własności struktur koagulacyjnych, charakteryzujące się tym, że przy małych naprężeniach stycznych nie obserwuje się początkowo płynięcia, gdyż lepkość jest nieskończenie duża. Charakterystyki lepkościowe paliw pozostałościowych, określane dla takiej samej lepkości w temperaturze odniesienia, różnią się między sobą w zależności od technologii ich komponowania. Paliwa pozostałościowe, stanowiące pozostałości po destylacji zachowawczej ropy naftowej, zmieszane z czystymi paliwami destylowanymi wykazują mniejszą

zmienność lepkości ze zmianą temperatury aniżeli pozostałości pokrakingowe zmieszane z destylatami pokrakingowymi.



Rys. 2. Charakterystyki lepkościowe paliw pozostałościowych [2]: *1* – mieszanina pozostałości podestylacyjnych z czystym paliwem destylowanym, *2* – mieszanina pozostałości pokrakingowych z destylatem pokrakingowym
Fig. 2. Viscosity charasteristics of the residual fuel

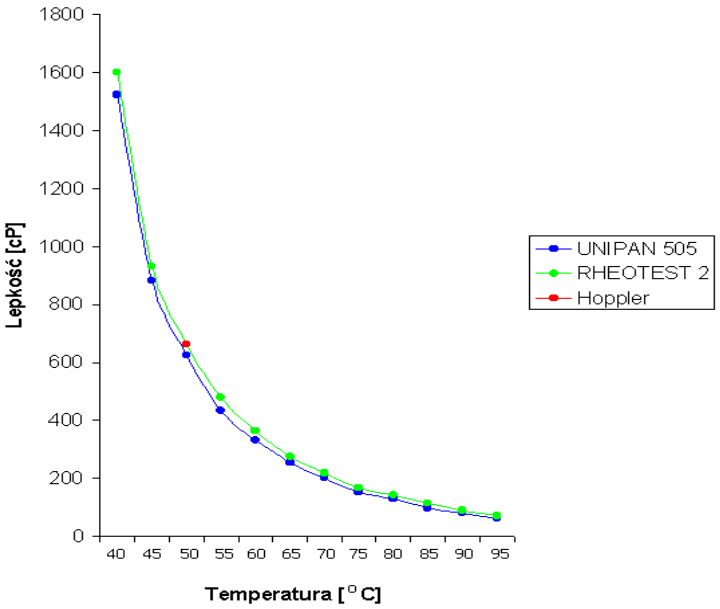


Rys. 3. Lepkościomierz rotacyjny RHEOTEST2
Fig. 3. Rotary viscosimeter RHEOTEST2

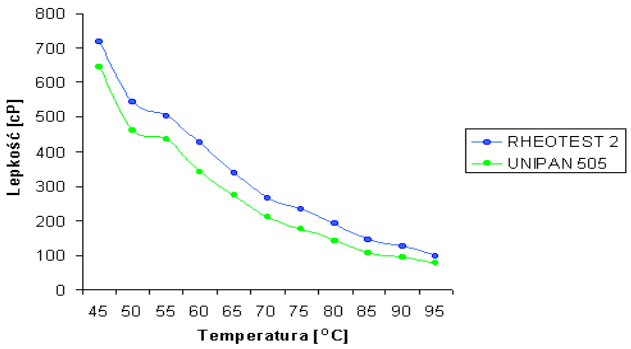
Większość wiskozymetrów stosowanych do oznaczania lepkości płynów newtonowskich jest nieprzydatna do określania własności reologicznych płynów nienewtonowskich ze względu na tzw. pomiar jednopunktowy. Jeden punkt na krzywej płynięcia nie określa własności reologicznych płynu nienewtonowskiego. Dla płynu nienewtonowskiego pożądane jest wyznaczenie krzywej płynięcia w możliwie szerokim zakresie szybkości ścinania, tj. w zakresie narzuconym przez wymagania praktyczne. Konstrukcja przyrządów pozwalająca oznaczać własności reologiczne płynów nienewtonowskich, musi zapewniać pomiary wielopunktowe. Przyrządy takie noszą nazwę „reometrów".

Przyjmując wyniki pomiarów lepkości odpadów wykonane lepkościomierzem rotacyjnym RHEOTES 2 jako wzorcowe, przeprowadzono badania porównawcze wskazań lepkościomierza ultradźwiękowego Unipan 505, umożliwiającego znacznie szybszy i ciągły pomiar. Uzyskane wyniki obrazują rysunki 4 i 5.

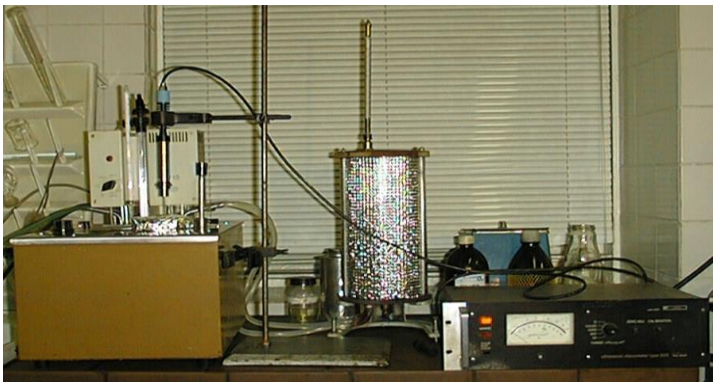
Niewielkie różnice pomiarów wykonanych w szerokim zakresie temperatur wiskozymetrem rotacyjnym i ultradźwiękowym spowodowała, iż pomiary lepkości odpadów i mieszanin paliwa z odpadami z procesu wirowania paliwa wykonano za pomocą wiskozymetru ultradźwiękowego typu 505 Unipan, umożliwiającego szybki pomiar, z wystarczającą dokładnością.



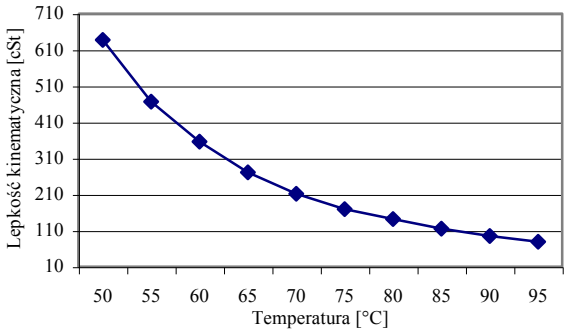
Rys. 4. Zależność lepkości od temperatury dla próbki nr 1
Fig. 4.Viscosity and temperature relationship for sample no. 1



Rys. 5. Zależność lepkości od temperatury dla próbki nr 2
Fig. 5. Viscosity and temperature relationship for sample no. 2



Rys. 6. Stanowisko do pomiaru lepkości wiskozymetrem ultradźwiękowym typu 505, firmy Unipan
Fig. 6. Viscosity measurement test bed with ultrasonic viscosimeter Unipan Type 505



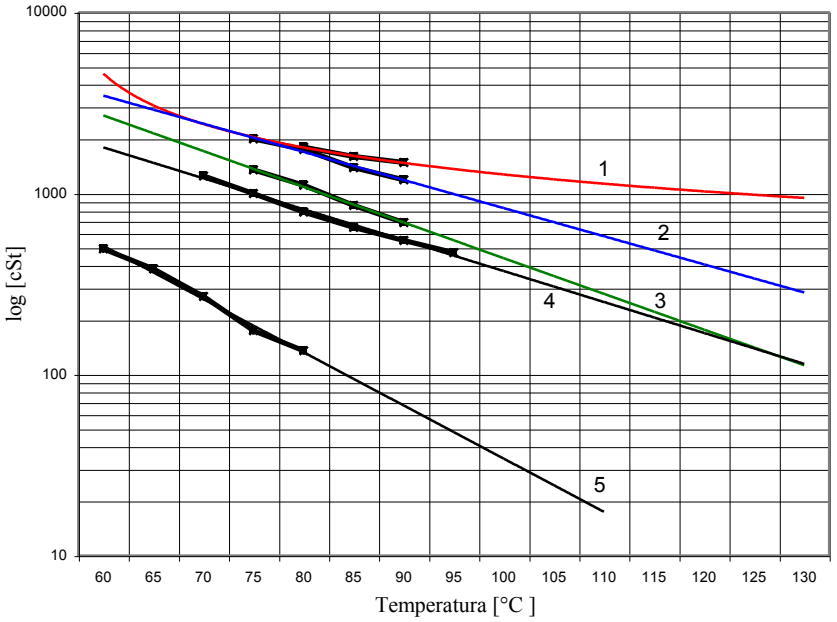
Rys. 7. Wpływ temperatury na zmianę lepkości badanego paliwa
Fig. 7. Temperature influence on examined fuel viscosity

Wyliczona wartość współczynnika nachylenia charakterystyki lepkościowej β = 2,969.

Oznaczanie lepkości mieszaniny paliwa z odpadami z procesu wirowania paliwa

Zmiany lepkości mieszanin odpadów powirówkowych z paliwa z paliwem IFO380 w funkcji temperatury, dla różnych udziałów paliwa w mieszaninie przedstawiono na rysunku 8, gdzie poszczególne linie oznaczają mieszaniny zawierające:

linia nr 1 – 400 ml odpadów i 80 ml paliwa,
linia nr 2 – 400 ml odpadów i 160 ml paliwa,
linia nr 3 – 400 ml odpadów i 300 ml paliwa,
linia nr 4 – 400 ml odpadów i 400 ml paliwa,
linia nr 5 – 80 ml odpadów i 400 ml paliwa.



Rys. 8. Wpływ temperatury na zmianę lepkości mieszanin paliwa i odpadów powirówkowych
Fig. 8. Temperature influence on the change in viscosity of mixed fuel and centrifugal sludge

Oznaczanie wartości opałowej

Ciepło spalania i wartość opałową próbek paliwa, jak i odpadów pochodzących z procesu wirowania tych paliw, wyznaczono w laboratorium TPC Akademii Morskiej w Szczecinie za pomocą automatycznego kalorymetru typu KL-10.

Mając wyliczone ciepło spalania, wartość opałową badanych paliw obliczono ze wzoru [3]:

$$Q_i^a = Q_S^a - 24{,}42(8{,}94 \cdot H - W)$$

Tablela 1

Wartość opałowa badanych paliw
Calorific value of examined residual fuels

Rodzaj paliwa	Obliczona zawartość wodoru w paliwie [%]	Obliczona wartość opałowa paliwa [J/g]
Próbka nr 1	6,125	37693
Próbka nr 2	6,061	37649
Próbka nr 3	5,628	37357
Próbka nr 4	5,795	37470

Tablica 2

Wartość opałowa badanych odpadów oraz mieszanin paliwa i odpadów
Calorific value of the centrifugal sludge, centrifugal sludge and residual fuel mixtures

Mieszanina paliwa i odpadów	Obliczona zawartość wodoru w paliwie [%]	Obliczona wartość opałowa mieszaniny [J/g]
400 ml odpadów		13 230
400 ml odpadów i 300 ml paliwa [próbka nr1]	8,848	23 716
400 ml odpadów i 400 ml paliwa [próbka nr 2]	7,244	25 473

Oznaczenie wartości opałowej i ciepła spalania mieszanin paliwa i odpadów z procesu wirowania paliw nastręczało wiele trudności ze względu na wysoką zawartość wody w odpadach. Odpady ropopochodne z paliw pozostałościowych ze względu na ich porowatość i spulchnianie w bębnie wirówki, zawierają do 70% wody. Aby odpady można było spalić w bombie kalorymetrycznej, należało doprowadzić do częściowego usunięcia wody, tak aby jej zawartość nie przekraczała 20% objętościowo. Ciepło spalania badanych mieszanin paliw i odpadów wynosiła dla próbki nr 1 – 25 648 kJ/kg, a dla próbki nr 2 – 27 079 kJ/kg, odpowiednio wartość opałowa dla próbki nr 1 – 23 716 kJ/kg, a dla próbki nr 2 – 25 473 kJ/kg. Po spalaniu odpadów na ściankach tygielka pozostawały rdzawe osady, a także popioły i sadza.

Temperatura zapłonu

Wartości temperatury zapłonu mieszanin (próbek) paliw i odpadów ropopochodnych, badanej w tyglu zamkniętym metodą Martensa-Pensky'ego, przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Wartości średnie z dokonanych pomiarów temperatury zapłonu
Average values of the measured flash point

Wartości średnie temperatury zapłonu w [°C]		
Próbka nr 1	Próbka nr 2	Próbka nr 3
104	104	107

Omówienie wyników badań

Badania wykazały niecelowość użycia dodatku paliwa IFO 380 do odpadów dla zmniejszenia lepkości mieszaniny do wartości, pozwalającej na poprawne rozpylenie w palnikach opalanych kotłów okrętowych. Mocno zawodnione odpady podlegały procesowi emulgacji, co znacząco zwiększało ich lepkość i zmniejszało nachylenie charakterystyki zmian lepkości ze zmianą temperatury [4]. Korzystniejszym rozwiązaniem będzie rozcieńczanie paliwem o małej lepkości.

Duża zawartość trudnej do usunięcia wody w odpadach powirówkowych i znacząco niższa od wartości opałowej paliwa, wartość opałowa odpadów (zawierających ok. 20% wody), wynosząca 13 230 J/g powoduje, iż stabilne spalanie będzie możliwe jedynie w żagwi płomienia wytworzonego przez paliwo kotłowe [5].

Przeprowadzone badania wskazały sposób modernizacji instalacji paliwowej kotła celem umożliwienia poprawnego spalania powirówkowych odpadów pochodzących z oczyszczania paliw pozostałościowych w instalacji Alcap.

Literatura

1. Kofman D. I., Šabanin N. I., *Issledovanije processa sgoraniâtâželyh sortov topliva s dožiganijem koksovyh ostatkov sudovyh vspomogatel'nyh kotloagregatov*, Sb. Ohrana okružaûščej sredy i truda na vodnom transporte, 1988, s. 35 – 40.
2. Urbański P., *Paliwa i smary*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1997.
3. Polska Norma PN-86/C-04062, *Oznaczanie ciepła spalania i wartości opałowej w bombie kalorymetrycznej*.
4. Ivanov V. M., *Toplivnyje èmul'sii*, – M.: Izd-vo AN SSSR, 1962, 216 s.
5. Kantorovič B. V., *Voprosy teorii goreniâ potoka topliva*, Sb. Gorenije dbuhfaznyh sistem, – Izd-vo AN SSSR, 1958.
6. *Oil Sludge Treatment*. The Motor Ship, February 1994.

Wpłynęło do redakcji w lutym 2004 r.

Recenzenci

prof. dr hab. inż. Jerzy Girtler
dr hab. inż. Oleh Klyus, prof. AM

Adres Autora

dr inż., of. mech. okr. II kl. Przemysław Rajewski
Akademia Morska w Szczecinie
Instytut Technicznej Eksploatacji Siłowni Okrętowych
ul. Wały Chrobrego 1/2, 70-500 Szczecin