ISSN 1733-8670

ZESZYTY NAUKOWE NR 5(77)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE

OBSŁUGIWANIE MASZYN I URZĄDZEŃ OKRĘTOWYCH
O M i U O 2 0 0 5

Antoni Wiewióra

Stanowisko badawcze procesów odolejania mieszanin oleistych

Słowa kluczowe: stanowisko badawcze, mieszaniny oleiste, procesy separacji

W referacie przedstawiono założenia przyjęte podczas projektowania stanowiska do badań procesów odolejania mieszanin oleistych. Stanowisko umożliwia nie tylko badanie procesów odolejania z użyciem różnych metod separacji, lecz także przeprowadzenie badań opracowanego urządzenia separującego według programu podanego przez IMO[1] w Rezolucji MEPC.60(33)[2] oraz najnowszej rezolucji MEPC.107(49)[3].

Oily Water Separation Process Research Stand

Key words: research stand, oily water mixtures, separation processes

The paper presents assumptions taken into consideration while designing a test stand for research work. The specific test stand described in the paper will serve for investigations of de-oiling processes carried out by various separation appliances. The test stand will also allow testing of a separation unit in accordance with the MEPC.60(33) Resolution and the latest MEPC.107(49) Resolution.

[1] IMO – International Maritime Organization
[2] MEPC.60(33) – Guidelines and Specification for Pollution Prevention Equipment for Machinery Space Bilges of Ships.
[3] Resolution MEPC.107(49) Revised Guidelines and Specifications for Pollution Prevention Equipment for Machinery Space Bilges of Ships.

Wstęp

Wiadomo, że wszystkie rodzaje zanieczyszczeń emitowanych przez statki są szkodliwe dla środowiska morskiego, ale szczególnie niebezpieczne są zanieczyszczenia olejami[1]. Zaowocowało to przyjęciem Konwencji MARPOL 1973/78 [1]. Dokument ten znacznie podwyższył wymagania stawiane urządzeniom odolejającym. W Rezolucjach MEPC.60(33) oraz najnowszej MEPC.107 (49) określone zostały szczegółowe zasady testowania urządzeń odolejających.

Z uwagi na systematyczne wprowadzanie do napędu statków paliw pozostałościowych o wysokiej gęstości i lepkości, obserwuje się wzrost problemów z pracą odolejaczy okrętowych. Zmusza to armatorów do poszukiwania nowych rozwiązań tych urządzeń, które byłyby w stanie sprostać stawianym wymaganiom. W związku z tym w Instytucie Technicznej Eksploatacji Siłowni Okrętowych rozpoczęto w 1998 r. prace nad zbudowaniem stanowiska umożliwiającego kompleksowe badania procesów odolejania mieszanin oleistych.

Budowane stanowisko laboratoryjne do badań procesu odolejania jest przeznaczone do analizy procesu separacji mieszanin z wykorzystaniem urządzeń w skali modelowej, półtechnicznej oraz technicznej. Będzie ono służyć do opracowania optymalnej metody odolejania wód, uwzględniając właściwości fizykochemiczne fazy ciągłej i rozproszonej. Na stanowisku można będzie prowadzić badania z różnymi typami odolejaczy.

1. Charakterystyka mieszanin oleistych z przedziału siłowni okrętowej

Gęstość produktów ropopochodnych (paliw okrętowych i olejów smarowych) używanych na statkach, a tym samym gęstość produktów ropopochodnych, które tworzą mieszaniny wodno-olejowe w warunkach eksploatacji jednostek pływających, może zmieniać się w granicach: 840 – 1010 kg /m^3 w temperaturze 15°C [1], zaś lepkość może zmieniać się od około 5 – 500 cSt czyli (0,000005 – 0,0005 m^2/s) w odniesieniu do temperatury 50°C.

Dla scharakteryzowania całego tak szerokiego zakresu zmian gęstości i lepkości produktów ropopochodnych („oleju") przyjęto do dalszych rozważań kilka charakterystycznych produktów o następujących gęstościach: 840, 920, 940, 960, 980, 1000, 1010 kg/dm^3 w t = 15°C. Gęstość oleju zmienia się wraz z temperaturą według zależności:

[1] „Olej" oznacza ropę naftową w każdej postaci, włączając w to surową ropę naftową, paliwo olejowe, szlam, odpadki olejowe oraz produkty rafinowane, bez ograniczania uniwersalności powyższej definicji. Szczegółowy wykaz substancji znajduje się w uzupełnieniu do Załącznika I Konwencji MARPOL.

$$\rho_0(t) = \rho_0(t_0) - \alpha(t - t_0) \tag{1}$$

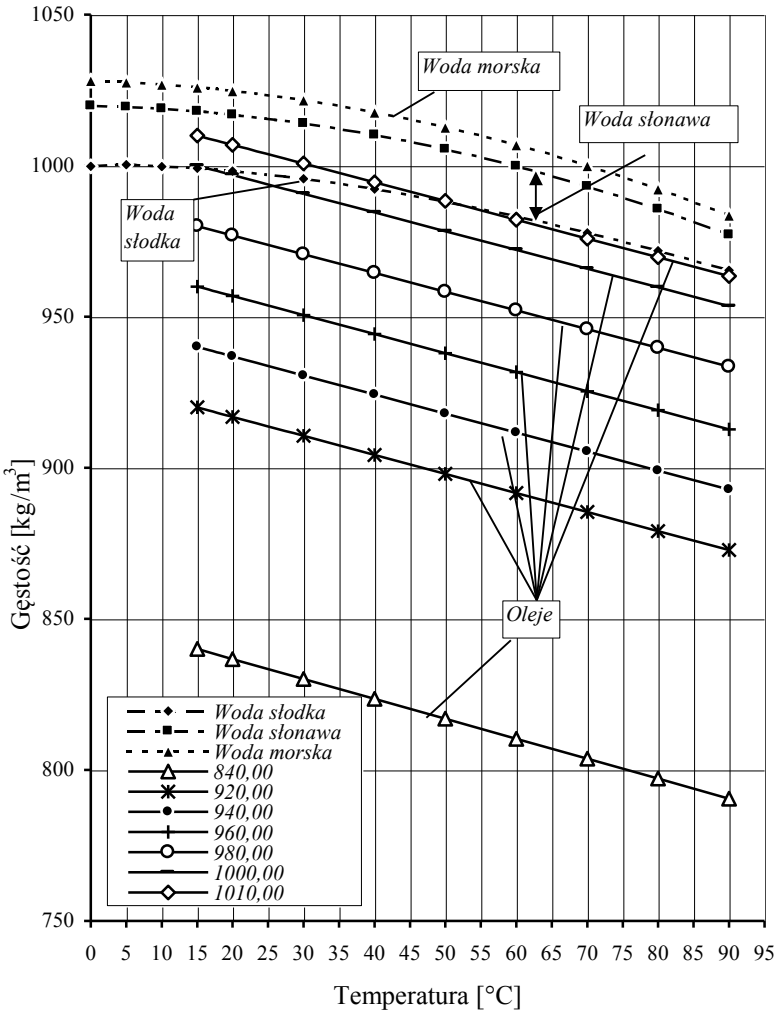
gdzie:

$\rho_0(t)$ – gęstość oleju w temperaturze t,

$\rho_0(t_0)$ – gęstość oleju w temperaturze t_0,

α – współczynnik korekcyjny zależny od gęstości oleju.

Na rysunku 1 przedstawiono zmianę gęstości w funkcji temperatury dla wody słodkiej, wody morskiej, słonawej oraz kilku wybranych rodzajów oleju.



Rys. 1. Zmiany gęstości wody i różnych rodzajów paliw w funkcji temperatury
Fig. 1. The variation of water and oil density as a function of temperature

Analizując rysunek 1 zauważymy, że zmiana gęstości w funkcji temperatury ma dla oleju inny charakter niż dla wody. Zatem zmiana temperatury powoduje zmianę różnicy gęstości między fazą ciągłą – wodą oraz fazą rozproszoną – olejem, jednakże tempo tego wzrostu jest różne dla różnych zakresów temperatury. Największa różnica gęstości fazy ciągłej i rozproszonej występuje w zakresie temperatur 50 – 70°C i ten zakres należy wykorzystać w procesach odolejania.

2. Założenia przyjęte podczas projektowania stanowiska

Projektując stanowisko badawcze przyjęto założenie, że będzie ono służyć nie tylko do prowadzenia badań naukowych procesów odolejania mieszanin wody i oleju powstających w warunkach eksploatacji statków, ale pozwoli na prowadzenie badań prototypu odolejacza okrętowego według procedur zalecanych przez Komitet Ochrony Środowiska Morskiego (MEPC) organizacji IMO. W takiej sytuacji stanowisko badawcze musi spełniać określone wymagania, które są zawarte w stosownych aktach międzynarodowych jak również aktach krajowych.

Do aktów międzynarodowych, które należy uwzględnić należą:

1) International Convention for the Prevention of Pollution from Ships – MARPOL,
2) Resolution MEPC.60(33),
3) Resolution MEPC.107(49).

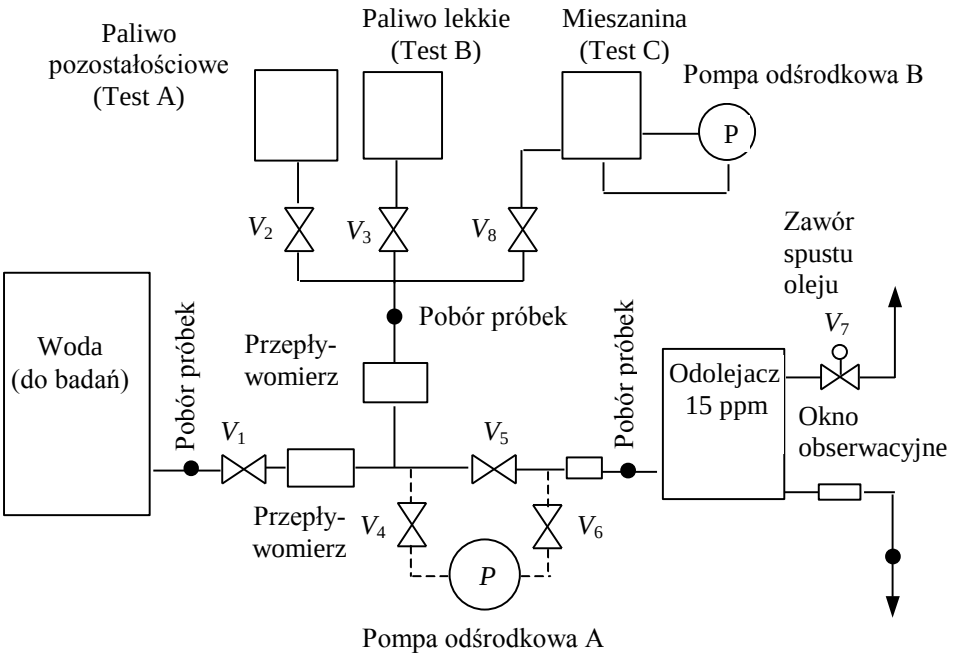
3. Wymagania według Rezolucji MEPC. 107(49)

Najnowsza rezolucja MEPC.107(49), która obowiązuje od 1.01.2005 r., precyzuje nowe wymagania dotyczące aranżacji stanowiska do prowadzenia testów odolejaczy okrętowych. Schemat stanowiska pokazano na rysunku 2. Uniwersalne stanowisko badawcze powinno zapewnić możliwość badania odolejaczy zarówno wyposażonych we własną pompę, jak i nie posiadających pomp.

Chcąc prowadzić testy odolejaczy, akceptowane przez IMO oraz towarzystwa klasyfikacyjne, należy wyposażyć stanowisko w odpowiednią liczbę zbiorników o odpowiedniej wielkości. Do najważniejszych czynników warunkujących rozwiązanie stanowiska należą:

- wielkość testowanych odolejaczy;
- program testu (przewidywane stężenia, czasy niezbędne do testowania przy określonym stężeniu);

– ilość rodzajów mediów użytych do badań;
– wymagana temperatura.

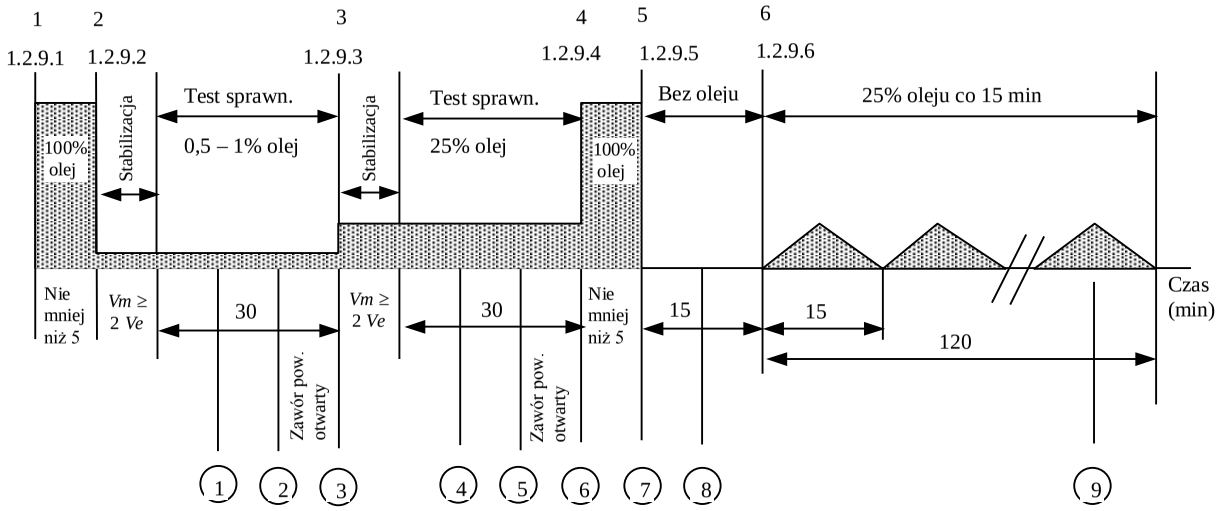


Rys. 2. Schemat aranżacji stanowiska według Rezolucji MEPC. 107(49)
Fig. 2. Diagrammatic arrangement of test facilities according to MEPC. 107(49)

3.1. Procedura testowania odolejaczy według Rezolucji IMO MEPC.107(49)

Na rysunku 3 pokazano, w formie graficznej, sposób prowadzenia testu odolejacza okrętowego. W tabeli 1 zamieszczono zestawienie ilości oleju potrzebnego do przeprowadzenia testu separatora o wydajności nominalnej 0,5 m^3/h zgodnie z najnowszą rezolucją MEPC.107(49)

Test A



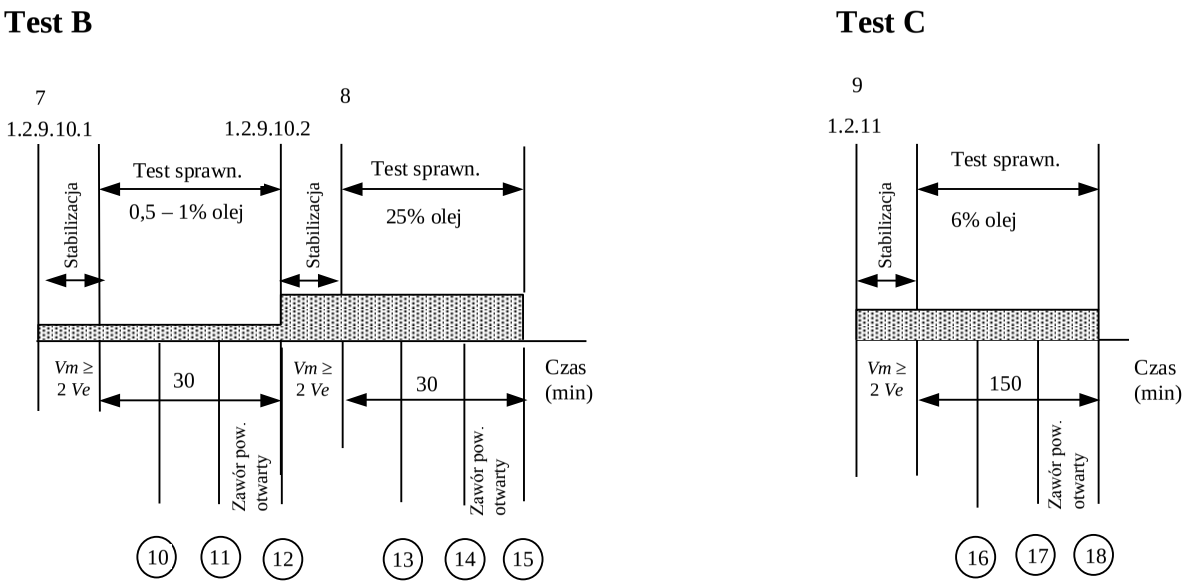
Ve – objętość separatora
Vm – ilość mieszaniny olej/woda

Próbkę nr (9) pobrać pod koniec testu 1.2.9.6 załącznika do Rezolucji

Nr próbki

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Dolot									
Odlot									

Rys. 3a. Procedura testu odolejacza część I – Test A (Paliwo pozostałościowe)
Fig. 3a. Test procedure – Test Fluid A (Marine residual fuel)



	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Dolot									
Odlot									

1 – 9 etapy próby

(1) – (18) Punkty poboru próbek

Rys. 3b. Procedura testu odolejacza – Test B (Olej napędowy), oraz Test C – Emulsja
Fig. 3b. Test procedure - Test Fluid B (Diesel oil), Test Fluid C (Emulsion)

Tabela 1

Obliczenia ilości „oleju” dla testów A,B,C wg MEPC.107(49) dla odolejacza 0,5 m^3/h
Calculation of ingredients of Test Fluid A, B, C acc. MEPC.107(49) for 0.5 m^3/h Separator

Próba	Opis przebiegu próby		Czas trwania	Ilość oleju dla odolejacza 500 l/h
	Punkt testu	Cel	[min]	[l]
TEST A	1.2.9.1 (100% oleju)	Przygotowanie próby	5	50.00
	1.2.9.2 (0,5 – 1,0% oleju)	Stabilizacja Próba	15 30	1,27 2,55
	1.2.9.3 (25% oleju)	Stabilizacja Próba	15 30	31,9 63,75
	1.2.9.4	Próba zaworu spustu oleju	5	42,50
	1.2.9.5	Próba z czystą wodą	15	0,00
	1.9.9.6 (cykliczna zmiana 0 – 25 – 0% co 15 min). Przyjęto średnio 15%	Ciągła automatyczna praca	120	153,00
	Razem paliwo pozostałościowe			344,97 (500 l)
TEST B	1.2.10.1 (0,5 – 1,0% oleju)	Stabilizacja Próba	15 30	1,27 2,55
	1.2.10.2 (25%)	Stabilizacja Próba	15 30	31,9 63,75
	Razem paliwo lekkie			99,47 (150 l)
TEST C[1]	1.2.11.1	Stabilizacja	15	
	1.2.11.2	Próba	150	
	Skład mieszaniny podano poniżej			108,0 (l)

3.2. Obliczenie ilości składników mieszaniny do TESTU „C” dla separatora o wydajności 0,5 m^3/h

Rezolucja MEPC.107(49) określa także sposób przygotowania emulsji dla testu C. Skład 1 kg mieszaniny „C” przedstawia się następująco:

- 947,8 g słodkiej wody,
- 25,0 g paliwa „A” (pozostałościowego),

[1] Test C wymaga przygotowania mieszaniny złożonej z wody, paliwa „A”, paliwa „B”, środka powierzchniowe czynnego oraz sproszkowanego tlenku żelaza Fe_3O_4.

- 25,0 g paliwa „B” (oleju napędowego),
- 0,5 g środka powierzchniowo czynnego (sodium salt of dodecylbenzene sulfonic acid) w postaci proszku,
- 1,7g tlenku żelaza (Fe_3O_4) o granulacji 90% cząstek mniejszych niż 10 μm, pozostałe o wielkości do 100 μm.

Zgodnie z p. 1.2.11.1 Rezolucji czas stabilizacji musi być równy czasowi przepływu cieczy o objętości równej co najmniej 2 objętościom separatora (około 50 l), co przy wydajności 500 l/h (8,5 l/min) wynosi około 12 min, przyjęto 15 min.

Zgodnie z p. 1.2.11.2 czas próby wynosi 150 min.

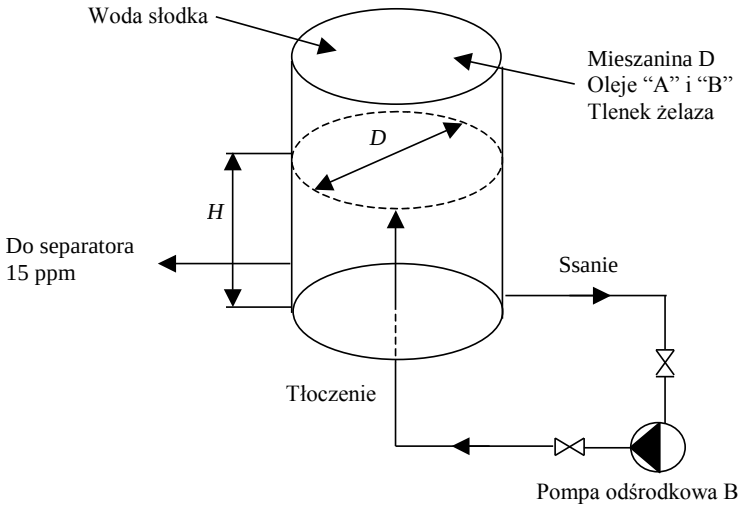
Stężenie mieszaniny w wodzie, podczas trwania próby wynosi 6%.

$$(15 + 150)\ \text{min} \times 8{,}5\ \text{l/min} \times 0{,}06\% = 84{,}2\ \text{l} = 0{,}09\ \text{m}^3.$$

Do próby należy przygotować o 20% więcej: $1{,}2 \times 0{,}09 = 0{,}108\ \text{m}^3$.

Objętość wody : (947,8 g/1000 g) = 0,9478 × 0,108 = 0,1024 m^3.
Ilość paliwa „A” : (25 g/1000 g) = 25/1000 × 0,108 × 1000 = 2,7 kg.
Ilość paliwa „B” : (25 g/1000 g) = 25/1000 × 0,108 × 1000 = 2,7 kg.
Ilość środka powierzchniowo-czynnego
: (0,5 g/1000 g) = 0,5/1000 × 0,108 × 1000 = 0,054 kg.
Ilość tlenku żelaza : (1,7 g/1000 g) = 1,7/1000 × 0,108 × 1000 = 0,184 kg.

Na rysunku 4 pokazano szkic stanowiska służącego do przygotowania emulsji.



Rys. 4. Zbiornik do testu z mieszaniną „C”
Fig. 4. Tank of Test Fluid “C”

W skład stanowiska wchodzi zbiornik o określonej pojemności oraz kształcie i proporcji wymiarów, pompy o prędkości obrotowej nie mniejszej niż 3000 obr/min i wydajności pozwalającej na przetłoczenie całej zawartości zbiornika w czasie 1 minuty. Czas przygotowania emulsji wynosi 60 min. W czasie całej próby odolejacza pompa mieszająca powinna utrzymywać wydajność równą 10% pierwotnej wydajności. Ssanie mieszaniny należy umieścić z boku, najniżej jak jest to możliwe. Tłoczenie pompy należy umieścić centrycznie w dnie zbiornika. Zastosowanie środka powierzchniowo czynnego ułatwia wytworzenie emulsji, zaś dodatek tlenku żelaza Fe_3O_4 w postaci granulatu o składzie 90% cząstek o średnicy cząstek poniżej 10 μm, a pozostałe o średnicy do 100 μm symuluje obecność tego rodzaju wtrąceń w rzeczywistych instalacjach okrętowych.

3.3. Wytwarzanie mieszanin oleistych – dozowanie oleju

Analizując poszczególne fazy procedury testowania według Rezolucji MEPC.107(49), stwierdzamy znaczne zróżnicowanie zawartości oleju w mieszaninie. Stężenie oleju zmienia się od 0,5% do 100%. Planowane badania naukowe procesów oddzielenia oleju od wody wymagają znacznego rozszerzenia tego zakresu w kierunku niższych stężeń do wartości rzędu ppm[1]. Problem ten rozwiązano używając czterech pomp, dwóch przepływomierzy oraz dwóch falowników. W skład układu dozowania oleju wchodzą dwie pompy oraz przepływomierz masowy Coriolisa firmy Endress & Hauser typu Promas 63A. Dla stężeń oleju powyżej kilku procent stosuje się pompę śrubową firmy Allweiler typu AE1EE100 o wydajności maksymalnej 2 m^3/h. Jako pompę pomocniczą, pompę współpracującą z przepływomierzem Promas 63A zastosowano pompę LPD 015 firmy IMO Pump. Przepływomierz masowy typu Promass 63A o zakresie pomiarowym 0 – 100 kg/h.

W układzie wodnym zastosowano pompę Allweiler o wydajności 1 m^3/h i ciśnieniu tłoczenia 0,3 MPa. Pompa jest sterowana falownikiem umożliwiającym dostosowanie wydajności pompy do wydajności testowanego odolejacza. Natężenie przepływu wody jest mierzone przepływomierzem elektromagnetycznym firmy Endress & Hauser typu Promag 50 P.

4. Instalacja grzewcza

Wykorzystanie do badań paliw pozostałościowych o gęstościach bliskich 1010 kg/m^3 w temperaturze 15°C zmusza do prowadzenia badań z tymi paliwami w wyższych temperaturach. Stanowisko zostało wyposażone w system

[1] ppm – ang. parts per million (części na milion) (1 ppm = 1 mg/l).

grzewczy, w skład którego wchodzi kocioł o mocy 100 kW opalany olejem napędowym. Instalacja grzewcza pozwala na osiągnięcie temperatury rzędu 75 – 85°C zarówno dla paliwa, jak i dla wody. Dzięki temu można prowadzić badania procesów odolejania w temperaturach optymalnych dla danego procesu.

5. Planowane kierunki prac badawczych

Prace badawcze prowadzone z wykorzystaniem różnych metod separacji będą obejmować analizę wpływu na efektywność oraz czas pracy urządzeń takich czynników jak:

- temperatura mieszaniny,
- stopień zasolenia fazy ciągłej (wody),
- gęstość i lepkość fazy rozproszonej (oleju),
- stopień rozdrobnienia fazy rozproszonej (oleju),
- obecność zawiesin w fazie ciągłej i rozproszonej,
- obecność środków powierzchniowoczynnych.

Podsumowanie

Zmieniające się właściwości paliw okrętowych, tzn. systematyczny wzrost gęstości oraz lepkości paliw pozostałościowych, stosowanych do napędu jednostek pływających powodują pogorszenie warunków pracy odolejaczy. Jednym z trudniejszych do rozwiązania problemów, które pojawiły się w związku ze stosowaniem paliw pozostałościowych jest bardzo mała różnica gęstości pomiędzy olejem i wodą. W takiej sytuacji wykorzystywane powszechnie metody grawitacyjne, przynajmniej we wstępnej fazie oczyszczania, nie sprawdzają się i to stanowi poważny problem.

Pojawiła się więc pilna potrzeba przebadania wpływu stosowanych obecnie paliw pozostałościowych na osiągi odolejaczy instalowanych na statkach w okresie ostatnich 10 – 15 lat.

Prezentowane stanowisko pozwala na prowadzenie badań w tym zakresie, w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

Literatura

1. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships MARPOL 73/78.
2. Korzeniewicz Ł., *Opracowanie koncepcji budowy stanowiska do badania odolejaczy okrętowych*, Praca dyplomowa magisterska, WSM, Szczecin 2002.

3. Resolution MEPC.107(49), Adopted 18 July 2003. Revised guidelines and specifications for pollution prevention equipment for machinery space bilges of ships.
4. Wiewióra A., Listewnik J., *An Oily Water Separation Process Research Stand*, Schiffbautechnische Gesellschaft e. V. Akademia Morska Szczecin, 1.06.2004.
5. Wiewióra A., Trejchel P., *A concept of oily water separation research plant*, Ist International Congress of Seas and Oceans, Szczecin – Międzyzdroje 18 – 22.09.2001 r.

Wpłynęło do redakcji w lutym 2005 r.

Recenzenci

doc. dr inż. Vladimir Puchov
dr hab. inż. Cezary Behrendt

Adres Autora

dr inż. Antoni Wiewióra
Akademia Morska w Szczecinie
70-500 Szczecin, ul. Wały Chrobrego 1/2
e-mail: wiewiora@am.szczecin.pl