

Metodyka wyznaczania i przykładowe wartości średniej ważonej emisji toksycznych składników spalin w zależności od sposobu przygotowania odpadów ropopochodnych do spalania w kotłach okrętowych

Methodology of determining and exemplifying values of the weighted average of the emission of toxic components of exhaust depending on of the method of the preparation of petroleum waste to burning in ship's boilers

Marcin Szczepanek

Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Mechaniczny, Instytut Technicznej Eksploatacji Siłowni Okrętowych 70-500 Szczecin, ul. Wały Chrobrego 1-2

Słowa kluczowe: pomocniczy kocioł opalany, odpady ropopochodne, przygotowanie do spalania, emisja spalin

Abstrakt

Artykuł przedstawia metodykę i wybrane wyniki wyznaczania średniej ważonej emisji toksycznych składników spalin w zależności od sposobu przygotowania do spalania odpadów ropopochodnych o różnych właściwościach fizykochemicznych. Odpady spalane są po przygotowaniu poprzez: sedimentację grawitacyjną, pompę rodrabniająco-homogenizującą, homogenizator statyczny konstrukcji WSM Szczecin oraz szeregowo połączenie tych dwóch urządzeń. Zaproponowana metodyka pozwala na jednoznaczne określenie najkorzystniejszego sposobu przygotowania odpadów ropopochodnych do spalania w okrętowych kotłach opalanych.

Key words: heated ship boiler, petroleum based residues, treatment methods before burning exhaust emission

Abstract

The article is presenting methodology and exemplifying effects of assigning the weighted average to the emission of toxic components of exhaust gases of the method of the preparation of petroleum based residues about various physical and chemical properties to burning. Waste is being burned after the preparation by: gravitational sedimentation, a homogenizing shredder-pump, a static homogeniser constructed at the Maritime University of Szczecin and serial connection of these two devices. Proposed methodology is tolerating on explicitly specification of the most profitable method of the preparation of petroleum waste to burning waste in auxiliary fired boilers.

Wstęp

Wzrost zapotrzebowania na energię (elektryczną, cieplną i inne) narzuca konieczność spalania coraz większych ilości surowców energetycznych, co związane jest ze zwiększeniem emisji spalin i zawartych w nich substancji toksycznych. Ilość i rodzaj zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery podczas procesu spalania zależy przede wszystkim

od rodzaju i stanu spalanego paliwa, warunków spalania i wydajności urządzeń, jak również od skuteczności urządzeń oczyszczających emitowane spaliny przed ich wprowadzeniem do atmosfery. Podstawą oceny jakości spalania paliwa są najczęściej wyniki przeprowadzonej analizy składu powstających spalin, która obejmuje wyznaczenie zawartości głównych składników: CO₂, N₂, CO, NO_x, SO_x [1, 2]. Zawartość substancji szkodliwych

emitowanych do środowiska wraz ze spalinami stanowi kryterium oceny poziomu technologii spalania oraz stopnia zagrożenia dla środowiska.

W związku z efektem cieplarnianym i szeroko rozumianą ochroną środowiska należy zwrócić większą uwagę zarówno na jakość spalin emitowanych do atmosfery, jak i na ich ilość.

Coraz częściej słyszy się jednak opinie, iż nie ma żadnych przekonujących dowodów, by przemysłowe emisje CO₂ mogły powodować katastrofalną zmianę klimatu. Pojawiła się też teza o globalnym oziębieniu klimatu i stwierdzenie, że ocieplenie jest teorią lansowaną przez finansistów mających dochody z handlu limitami emisji CO₂ [3].

Spalanie odpadów ropopochodnych w okrętowych kotłach pomocniczych

Odpowiednie przygotowanie mieszanki paliwa z powietrzem, skład paliwa, jego pochodzenie oraz warunki spalania w komorze paleniskowej mają wpływ na jakość spalania, a co za tym idzie na jakość i skład spalin wydostających się do atmosfery. W kotłach spalających odpady ropopochodne jednym ze sposobów na ograniczenie zawartości tych związków jest właściwe przygotowanie paliwa przed podaniem go do palnika [4].

Ilość odpadów ropopochodnych powstających w wyniku eksploatacji siłowni okrętowych wynosi 0,3 do 3,5% w stosunku do ilości zużytego paliwa [5]. Wraz z tendencją do stosowania na statkach paliw pozostałościowych, zawierających duże ilości zanieczyszczeń pochodzenia organicznego i nieorganicznego, wzrasta ilość odpadów ropopochodnych podczas procesu oczyszczania paliw na statkach. Według szacunkowych danych Det Norske Veritas Petroleum Services (DNVPS) ilość paliwa zużywanego przez flotę światową wynosi ok. 190 milionów ton rocznie [6], co daje od 570 do 6 650 tys. ton odpadów ropopochodnych, powstających tylko z procesów przygotowania i eksploatacji paliw na statkach. Biorąc pod uwagę rosnące znaczenie przewozów morskich, należy stwierdzić, iż ilość tych odpadów będzie rosła.

Możliwość spalania odpadów ropopochodnych w pomocniczych kotłach opalanych jest aktualnie jedną z najbardziej ekonomicznych i ekologicznych metod, pojawiającą się w opracowaniach analizujących metody zagospodarowania odpadów ropopochodnych pochodzących ze statków [7].

Badania eksperymentalne

Badania przeprowadzane były na obiekcie eksperymentalnym podczas pracy kotła opalanego płomieniówkowo-płomienicowego typu PA-21,

pozostającego w ciągłej eksploatacji. Miały na celu stwierdzenie wpływu przygotowania odpadów ropopochodnych o różnorodnych właściwościach fizykochemicznych na ilości związków toksycznych powstających w wyniku ich spalania w opalanych kotłach okrętowych. Do przygotowania odpadów ropopochodnych do spalania wykorzystano: sedymentację grawitacyjną przebiegającą w podgrzewanych zbiornikach paliwa, homogenizator statyczny konstrukcji WSM Szczecin i pompę rozdrabniająco-homogenizującą typu 133/2 W.O firmy Aalborg.

Badania kotła opalanego przeprowadzono w celu wyznaczenia jego wydajności parowej i określenia emisji wybranych związków toksycznych (CO₂, CO, NO_x) wchodzących w skład spalin dla wybranych wydajności kotła.

Badania prowadzono podczas normalnej eksploatacji kotła. Pomiarów wielkości emisji związków zawartych w spalinach dokonano za pomocą przenośnego, komputerowego analizatora spalin typu IMR 3000P. Wykorzystano 4 sposoby przygotowania dla każdego z 4 odpadów ropopochodnych o różnych właściwościach fizykochemicznych poznanych podczas badań eksperymentalnych. Sposoby przygotowania paliwa wyglądały następująco:

- sposób A – kocioł zasilany paliwem oczyszczonym wyłącznie poprzez sedymentację grawitacyjną,
- sposób B – paliwo zasilające kocioł poddane homogenizacji poprzez pompę rozdrabniająco-homogenizującą,
- sposób C – zasilanie kotła paliwem poddanym homogenizacji w homogenizatorze statycznym,
- sposób D – kocioł zasilany paliwem poddanym homogenizacji poprzez pompę rozdrabniająco-homogenizującą i homogenizator statyczny pracujące w układzie szeregowym.

Wyniki badań

Pomiary emisji CO₂, CO i NO_x w spalinach powstających przy spalaniu odpadów ropopochodnych oznaczonych jako paliwa 1, 2, 3 i 4 przeprowadzone były w seriach po 35 pomiarów przy zmiennych względnych obciążeniach kotła \bar{D} porównywalnych dla każdego paliwa.

W tabeli 1 przedstawiono wybrane uśrednione wyniki pomiarów wartości CO₂, w przeliczeniu na 3% zawartości tlenu w gazach wylotowych.

Badania rozkładu obciążeń kotła

W odniesieniu do kotłów pomocniczych opalanych, ze względu na trudności pomiarowe i brak

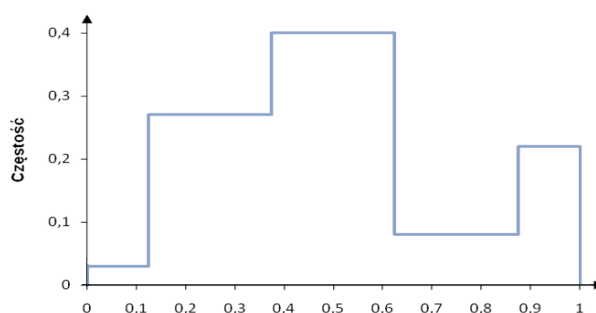
Tabela 1. Zestawienie przykładowych wyników pomiarów składu spalin dla Pal 3, obciążenia $\bar{D} = 0,5$ i sposobu przygotowania D
 Table 1. Comparison of exemplifying effects of measurements of the composition of exhaust for Fuel 3, boiler load $\bar{D} = 0.5$ and of method of the D

Względne obciążenie kotła \bar{D}	Temp. gazów [°C]	Zawartość CO ₂ [%]	Zawartość CO [mg/Nm ³]	Zawartość NO _x [mg/Nm ³]	Współ. nadmiaru powietrza λ [-]	Zawartość O ₂ [%]
0,5	294	7,2	195	1184	2,10	10,5
0,5	294	6,8	197	1189	2,09	10,5
0,5	295	6,9	201	1192	2,07	10,6
0,5	296	6,5	195	1194	2,09	10,9
0,5	295	7,0	192	1190	2,05	11,0
0,5	294	7,5	194	1184	2,10	11,0
0,5	296	7,4	199	1187	2,12	11,3
0,5	297	7,1	201	1189	2,12	10,9
0,5	298	7,0	194	1192	2,11	10,9
0,5	296	6,8	194	1191	2,14	11,0
0,5	295	7,2	196	1195	2,15	11,3
0,5	295	7,5	198	1184	2,13	11,4
0,5	296	7,8	201	1186	2,15	11,2
0,5	298	7,7	200	1192	2,13	11,1
0,5	299	7,2	202	1194	2,12	10,9
0,5	300	7,3	197	1198	2,13	10,8
0,5	301	7,9	198	1188	2,15	11,0
0,5	301	7,4	198	1187	2,14	11,3
0,5	302	7,1	205	1196	2,13	11,3
0,5	298	7,2	204	1194	2,14	11,2
0,5	300	6,8	202	1192	2,15	11,0

odpowiednich informacji w dzienniku maszynowym, istnieje ograniczona liczba danych dotyczących obciążeń eksploatacyjnych [8]. W celu uzyskania danych umożliwiających określenie histogramu rozkładu rzeczywistych obciążeń kotła PA-21 wykorzystano zapisy dokonywane przez załogę jednostki pływającej, w przeciągu jednego roku. Przyjęcie wymienionego okresu zapewnia uwzględnienie wszystkich zmian pogodowych i stosunkowo dużą liczbę analizowanych danych. Obciążenia względne kotła określono na podstawie pomiaru ilości wody zasilającej. Uzyskane wyniki przedstawiono w formie histogramu rozkładu tego obciążenia. Szerokość przedziałów obciążeń kotła przyjęto w taki sposób, że wartości obciążeń, przy których określano wielkości emisji związków toksycznych ($\bar{D} = 0,1; 0,25; 0,5; 0,75$ i $\sim 1,0$) umiejscowione są w środku przedziału (za wyjątkiem przedziału pierwszego i ostatniego).

Otrzymany histogram rozkładu względnego obciążenia kotła płomieniówkowo-płomienicowego typu PA-21 pokazuje rysunek 1.

Dwumodalny charakter histogramu związany jest z dużym zróżnicowaniem częstości i ilości dostarczania odpadów ropopochodnych na jednostkę oraz zapotrzebowania na parę grzewczą, co wynika np. z warunków pogodowych (spadek temperatury powietrza) lub wielkości i ilości zbiorników statku, na który podawana jest para służąca do



Rys. 1. Histogram rozkładu względnych obciążeń kotła PA-21 podczas eksploatacji w okresie jednego roku

Fig. 1. Histogram of distribution of relative boiler loads of the PA-21 during operating within a period of one year

czyszczenia oraz odbierane są odpady. Zerowa wydajność kotła wynika z okresowego, corocznego wyłączania kotła z eksploatacji, związanego z koniecznością czyszczenia strony ogniowej oraz uzupełnianiem szamotowej obmurówki.

Metodyka wyznaczania średniej ważonej emisji toksycznych składników spalin w zależności od sposobu przygotowania odpadów ropopochodnych do spalania

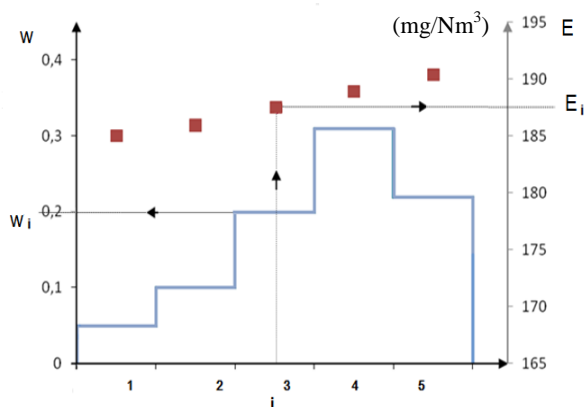
W celu uzyskania średniej ważonej emisji poszczególnych toksycznych składników spalin, w zależności od zastosowanych w badaniach sposobów przygotowania odpadów ropopochodnych do spalania, wykorzystano metodę superpozycji [8]. Polega ona na określeniu średniej ważonej emisji danego składnika, jako sumy E_s iloczynów wartości tej emisji dla poszczególnych obciążeń kotła (rys. 2) i częstości przedziałowych tych obciążeń:

$$E_s = \sum_{i=1}^5 E_i W_i \quad (1)$$

gdzie:

- E_s – średnia ważona emisji,
- E_i – zawartość składnika spalin,
- w_i – częstość obciążenia kotła,
- i – obciążenie względne kotła.

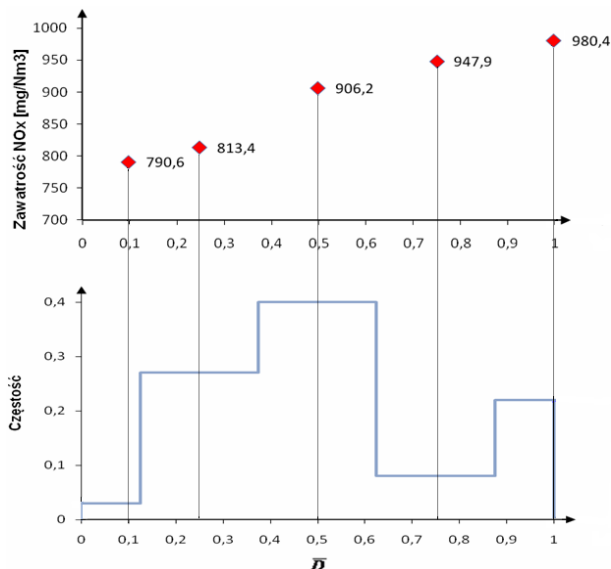
Przykładowy schemat obliczeń metodą superpozycji przedstawia rysunek 3.



Rys. 2. Schemat obliczenia metodą superpozycji
Fig. 2. Calculating by the schema method of the superposition

Przykładowy histogram służący do obliczenia średniej ważonej emisji wybranego toksycznego składnika spalin za pomocą metody superpozycji, w zależności od sposobu przygotowania odpadów ropopochodnych do spalania przedstawia rysunek 3. Zbiorcze dane uzyskane za pomocą metody superpozycji zawiera tabela 2.

Dane zawarte w tabeli 2 zostały przedstawione graficznie na rysunkach 4 i 5.



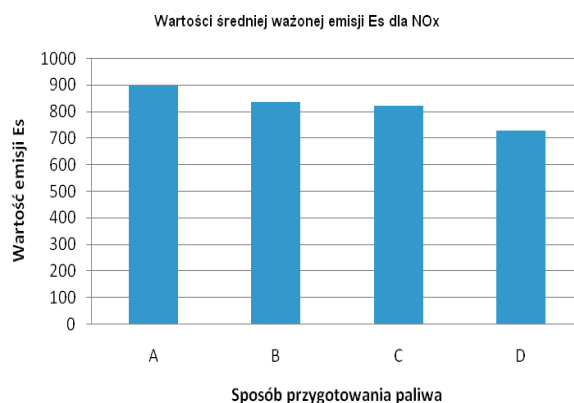
Rys. 3. Histogram rocznego rozkładu obciążeń kotła PA-21 ze zmianami średniej zawartości NO_x dla paliw 1, 2, 3 i 4 przygotowanych sposobem A

Fig. 3. Histogram of year-long distribution of boiler loads of the PA-21 with changes of average NO_x contents for fuel 1, 2, 3 and 4 prepared with method A

Tabela 2. Wartości średniej ważonej emisji przebadanych toksycznych składników spalin w zależności od sposobu przygotowania odpadów ropopochodnych

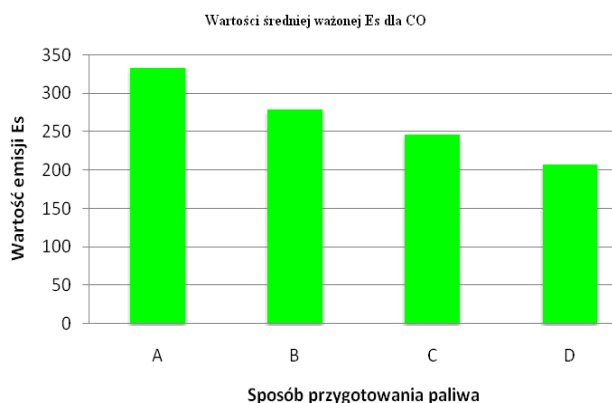
Table 2. Values of the weighted average of the emission of tested toxic components of exhaust depending on of the method of the preparation of petroleum waste

Sposób przygotowania	Emisja NO _x [mg/Nm ³]	Wartość emisji E _s		
		CO [mg/Nm ³]	CO ₂ [%]	
A	897,33	333,19	7,012	
B	835,46	278,79	7,074	
C	819,27	245,60	7,135	
D	728,79	207,25	7,157	



Rys. 4. Graficzne przedstawienie wartości średniej ważonej emisji dla NO_x

Fig. 4. Graphical presenting of the value to the weighted average of the emission for NO_x



Rys. 5. Graficzne przedstawienie wartości średniej ważonej emisji dla CO

Fig. 5. Graphical presenting of the value to the weighted average of the emission for CO

Z danych zawartych w tabeli 2 wynika, iż sposobem przygotowania odpadów ropopochodnych do spalania, dającym największą redukcję emisji badanych związków toksycznych, jest sposób D (połączenie szeregowo pompy rozdrabniająco-homogenizującej i homogenizatora statycznego). Zastosowanie sposobu D daje ponad 18% redukcję zawartości NO_x w spalinach w porównaniu ze sposobem A. W przypadku CO redukcja ta sięga 38%, natomiast w CO_2 – tylko nieco ponad 2%.

Podsumowanie

Zaproponowany sposób określania średnich ważonych emisji poszczególnych składników spalin (jako sumy iloczynów wartości tej emisji dla poszczególnych obciążeń kotła i częstości przedziałowych tych obciążeń), wykorzystuje metodę superpozycji rozkładu zawartości danego składnika w zależności od obciążenia kotła i rozkładu rzeczywistych obciążeń eksploatacyjnych kotła na obiekcie eksperymentalnym.

Na podstawie danych uzyskanych podczas badań eksperymentalnych wykazano, że zastosowanie sedymentacji grawitacyjnej wraz z szeregowym połączeniem pompy rozdrabniająco-homogenizującej i homogenizatora statycznego, jako sposobu przygotowania odpadów ropopochodnych do spalania, wpływa na zmniejszenie emisji związków

toksycznych emitowanych podczas ich spalania. Otrzymane wyniki łącznej wartości emisji wykazały, iż najniższą zawartość każdego ze składników otrzymuje się przez zastosowanie szeregowego połączenia wszystkich wymienionych sposobów (sposób D) przygotowania odpadów ropopochodnych do spalania. Sposób ten pozwala na redukcję zawartości:

- CO_2 (rzędu 1,5–2%),
- CO (rzędu 20–38%),
- NO_x (rzędu 15–18%),

w stosunku do wykorzystania tylko sedymentacji grawitacyjnej (sposobu A). Określa to jednoznacznie zalecany załódze obiektu eksperymentalnego sposób przygotowania odpadów ropopochodnych do spalania.

Bibliografia

1. KONIECZKA P., NAMIEŚNIK J.: Ocena i kontrola jakości wyników pomiarów analitycznych. WNT, Warszawa 2007.
2. PEREPECZKO A.: Okrętowe kotły parowe. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1979.
3. JAWORSKI Z.: Idzie Zimno! Polityka, 12 kwietnia 2008, nr 15.
4. Air pollution from ships. A briefing document by EEB, T&E, Seas At Risk, and the Swedish NGO Secretariat on Acid Rain. Updated 2004.
5. WIEWIÓRA A.: Ochrona środowiska morskiego w eksploatacji statków. Notatki z wykładu dla studiów dziennych i zaocznych oraz kursów SDKO w WSM Szczecin, Szczecin 2001.
6. Annuals report DNVPS 2003, 2004, 2005.
7. IMO: Protocol of 1997 to the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL 73/78). Annex VI Regulations for the Prevention of Air Pollutions from Ships. London 26.09.1997.
8. BALCERSKI A.: Modele probalistyczne w teorii projektowania i eksploatacji spalinowych siłowni okrętowych. Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk 2007.

Recenzent:
prof. dr hab. inż. Andrzej Balcerski
Politechnika Gdańska