

*Prof.dr hab.inż. Janusz Kotowicz  
Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Politechnika Śląska Ul. Konarskiego 18,  
44-100 Gliwice  
e-mail: [janusz.kotowicz@polsl.pl](mailto:janusz.kotowicz@polsl.pl)*

*Adres domowy:  
ul. Sikorskiego 21  
44-120 Pyskowice*

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

**mgr inż. Krzysztofa Kołwzana**

**pt. „Model eksploatacji okrętowych pomocniczych kotłów opalanych  
z uwzględnieniem wymagań ochrony środowiska morskiego”**

### **A. WPROWADZENIE**

Ograniczenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery pochodzącej z antropogenicznej działalności człowieka jest najważniejszym wyzwaniem przed jaki staje ludzkość XXI wieku. Wszystkie sektory przemysłowe prawie od dwóch dekad podejmują trudy, najpierw określania emisji zanieczyszczeń a następnie ich znacznego ograniczenia. Dotyczy to również przewozów morskich, które są bardzo ważną częścią światowego transportu. Udział przewozów towarów drogą morską w całkowitej masie przewożonych towarów od wielu lat dynamicznie rośnie. Całkowita emisja substancji szkodliwych jak: SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO i pyły (PM) wytwarzanych przez statki w trakcie żeglugi jest znacząca i ciągle rośnie. Źródłem tej emisji jest spalane paliwo w silnikach (głównych i pomocniczych) oraz kotłach. Zagadnienia ograniczenia emisji z silników są dość dobrze przedstawiane i dyskutowane w literaturze przedmiotu. Tematyka ograniczenia emisji przez okrętowe pomocnicze kotły opalane jest dotychczas w literaturze niewystarczająco przedstawiona. Udział procentowy emisji zanieczyszczeń z tych kotłów w całkowitej emisji ze statku wynosi od kilku np. dla NO<sub>x</sub> i CO<sub>2</sub> do prawie 20% w przypadku SO<sub>x</sub>. Emisje te wynikają zarówno ze spalanego paliwa jak i sposobu eksploatacji kotła. Uwzględniając wszystkie powyższe

uwagi tematykę pracy doktorskiej mgr inż. K. Kołwzana można uznać za ważną z poznawczego i utylitarne go charakteru prac naukowo-badawczych.

## **B. ZAKRES ROZPRAWY**

Praca doktorska mgr inż. Krzysztofa Kołwzana zawiera łącznie 192 strony, na które składa się 7 numerowanych rozdziałów merytorycznych, streszczenie w języku polskim i angielskim, literatura oraz 5 załączników (łącznie 27 stron).

Rozdział 1-szy, obszerny 27-stronicowy zawiera istniejący stan wiedzy w zakresie problematyki eksploatacji kotłów parowych na statkach morskich. Główną uwagę skupiono na kotłach opalanych, zarówno technicznych jak i ekologicznych konsekwencjach spalania w nich paliwa. Wnikliwie przeanalizowano metody eksploatacji okrętowych pomocniczych kotłów opalanych. Stwierdzono, że spośród dotychczas stosowanych żadne nie spełniały wymagań wynikających w Załączniku VI Konwencji MARPOL. W związku z tym, Autor zaproponował (rys 1.7) nowy model dynamicznej strategii eksploatacji kotłów opalanych.

Rozdział 2-gi zatytułowany jest „Utrzymanie okrętowych pomocniczych kotłów opalanych w świetle obowiązujących aktów normatywnych i przepisów”. W szczególności wyczerpująco omówiono tutaj:

- a) rolę towarzystw klasyfikacyjnych w utrzymaniu bezpieczeństwa morskiego i wymagań ochrony środowiska morskiego przez okrętowe pomocnicze kotły opalane,
- b) bezpieczeństwo eksploatacji w/w kotłów w świetle obowiązujących przepisów i wymagań,
- c) zapobieganie zanieczyszczeniu powietrza przez w/w kotły
- d) efektywność energetyczną statków z uwzględnieniem badanych w pracy kotłów.

W rozdziale 3-cim Autor przedstawił problem badawczy. Sformułował tutaj: cel główny, cel poznawczy, i cel utylitarne oraz przedstawił zakres pracy. Celem głównym rozprawy było opracowanie modelu bezpiecznej eksploatacji badanych kotłów w opartej na wiarygodnej ocenie stanu technicznego z równoczesnym spełnieniem

aktualnych wymagań ochrony środowiska morskiego oraz dążenie do możliwie największej efektywności energetycznej statku.

W rozdziale 4 przedstawiono analizę matematyczną sygnałów kryterialnych modelu strategii eksploatacji kotłów. Zbudowano model matematyczny kryterium bezpieczeństwa technicznego kotła oparty o parametry cieplno-przepływowe (punkt 4.2). Dla sygnału emisji szkodliwych stworzono model kryterium bezpieczeństwa ekologicznego kotła (punkt 4.3). W punkcie 4.4 pokazano model matematyczny kryterium efektywności energetycznej dla statku i badanego kotła.

Wyniki badań eksperymentalnych zebrano w rozdziale 5. W pierwszym kroku wybrano obiekt badań, kocioł płomieniówkowy (6t pary/h, 0;9 MPa para nasycona) typu PARAT Mod. B-3 zainstalowany na statku pasażersko-samochodowym i 3 kontenerowce. Badania na statku pasażersko-samochodowym przeprowadzono w 2008 i 2009 roku na trasie Świnoujście-Ystad-Świnoujście. Łącznie wykonano 4 sesje pomiarowe, 24 serii pomiarowych składających się w sumie z 278 obserwacji. W pierwszym rzędzie wyznaczono przebiegi parametrów cieplno-przepływowych (ciśnienie pary-P, temperatura spalin –t, współczynnika nadmiaru powietrza  $\lambda$ ), następnie parametry sygnału szkodliwych produktów spalania (CO, NOx, SO<sub>2</sub>) wiążąc je z uprzednio wyznaczonymi (p, t,  $\lambda$ ). Badania parametrów eksploatacyjnej efektywności energetycznej wykonano dla wspomnianego statku pasażersko-samochodowego jak i 3-ch kontenerowców. Przedstawione dane dotyczą lat 2008 i 2009 jak i 2018. Pokazano tutaj przebiegi CO<sub>2</sub> (dla różnych sesji i serii) uzupełnione o przebiegi  $\lambda$  i p i ostatecznie wyznaczono współczynnik eksploatacyjnej efektywności energetycznej EEOI statku i kotła.

W rozdziale 6 mgr inż. Krzysztof Kołwzan przedstawił walidację modelu eksploatacji okrętowego pomocniczego kotła opalanego. Przedstawił tutaj (rys 6.2) algorytm weryfikacji modelu eksploatacji kotła oparty na pojęciu kryterium jakości modelu Q i jego skuteczności. Przyjmując, że jeśli spełniony jest warunek:

$$Q < Q_{ref}$$

to model można uznać za prawidłowy. Weryfikację tego kryterium Autor oddzielnie przeprowadził dla:

- a) Kryterium bezpieczeństwa technicznego oparte o parametry cieplno-przepływowe

- b) Kryterium bezpieczeństwa ekologicznego wykorzystujące sygnały emisji szkodliwych produktów spalania (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>)
- c) Kryterium efektywności energetycznej (EEOI) – w tym wypadku w niepełnym zakresie.

W rozdziale 6-tym bardzo ważnym jest Autorska strategia eksploatacji okrętowych pomocniczych kotłów opalanych pokazana na rysunku 6.1.

Wynik rozważań i ich rezultaty, walory opracowanego modelu eksploatacji okrętowego pomocniczego kotła opalanego, możliwości jego wdrożenia w ramach autorskiej strategii eksploatacji kotłów, możliwe do realizacji kierunki dalszych badań oraz przewidywane korzyści z zastosowania proponowanych rozwiązań przedstawiono w 7-mym rozdziale pracy.

Literatura przedmiotu pracy jest niezwykle szeroka, liczy łącznie 214 pozycji – w tym poradniki i instrukcje producentów (26); normy (14); prawa krajowe, UE i konwencje międzynarodowe (29).

Podstawowe dane dotyczące badanych kotłów, wyniki pomiarów i obliczeń, zebrane dane – Autor zawarł w załącznikach 1-5.

## **OCENA ROZPRAWY**

1. Zdaniem recenzenta tematyka pracy jest ważna i interesująca. Praca jest napisana przejrzysto i podzielona na logiczne, wynikające z układu pracy rozdziały. Wymagała od Autora dobrego opanowania zagadnień teoretycznych związanych zarówno z ochroną środowiska, energetyką jak i budową i eksploatacją maszyn (kotła i statku) oraz opracowaniem i analizą wyników.
2. Przedstawiona do recenzji rozprawa ma znaczenie użytkowe, gdyż wynika ona z zapotrzebowania środowisk związanych z gospodarką morską. Stanowi ona istotny wkład Akademii Morskiej w Szczecinie w temat ochrony środowiska morskiego przed skutkami zanieczyszczeń powstających w wyniku eksploatacji okrętowych kotłów opalanych.
3. W pracy mgr inż. Krzysztof Kołwzan opracował autorską strategię eksploatacji okrętowych pomocniczych kotłów. Oparta ona jest na 4 kryteriach:
  - a) bezpieczeństwa technicznego
  - b) bezpieczeństwa ekologicznego

- c) efektywności energetycznej  
d) efektywności ekonomicznej (nie było przedmiotem badań w pracy).
4. Dla wymienionych wyżej kryteriów bezpieczeństwa technicznego, bezpieczeństwa ekologicznego i efektywności energetycznej Autor opracował modele matematyczne.
  5. Obiektem badań w pracy był typowy pomocniczy kocioł opalany w zakresie w/w 3a i 3b (o wydajności 6t pary i ciśnieniu 0,9/07 MPA), zainstalowany na statku pasażersko-samochodowym. Pomiary Autor przeprowadził tutaj w latach 2008 i 2009. W zakresie punktu 3c Autor zebrał dane i opracował wyniki dla wymienionego statku pasażersko-samochodowego z lat 2008-200 i 2018, a także dla 3-ch kontenerowców (2018r). Zebrane i opracowane dane stanowią uzupełnienie literatury przedmiotu.
  6. W pracy Autor przedstawił algorytm weryfikacji modelu eksploatacji kotła. Zaproponowane przez Autora modele matematyczne wymienione wyżej w punkcie 4) dla kryterium bezpieczeństwa technicznego i ekonomicznego zostały zwalidowane pozytywnie. Dla kryterium efektywności energetycznej pokazano metodologię weryfikacji, dane i obliczenia. 7. Z punktu 6 wynika, że opracowany przez mgr inż. K. Kołwzana model eksploatacji okrętowych pomocniczych kotłów opalanych z uwzględnieniem wymagań środowiska morskiego można polecać Armatorom do stosowania.

## D. UWAGI KRYTYCZNE I DYSKUSYJNE

### Oznaczenia:

Np. 5wg – 5-ty wiersz od góry strony

Np. 4wd – 4-ty wiersz od dołu

- Str. 21 – w tabeli 1.3 – podane udziały masowe sumują się tylko do ok. 73%.  
Czego tam brakuje?
- Str. 23 3wd – jest „Na rysunku 1.8”, powinno być „Na rysunku 1.6”.
- Str. 44, 1wd – jest: „na rysunku 2.1”, powinno być „Na rysunku 2.2).
- Str. 54, proszę o wyjaśnienie związków między równaniami (3.14) i (3.17).  
Wynika z nich, że  $m_{CO_2} \Rightarrow \max$  (??).

- Str. 65 w równaniu 4.6 powinno być  $D_{\text{pary}}(P_{\text{pw}}, t_{\text{p2}})$  a nie  $D_{\text{pary}}(P_{\text{p1}}, t_{\text{p1}})$  – konsekwentnie jak w podpisie pod wzorem 4.6.
- Str. 80 – proszę pokazać na wykresach z rys. 5.5 i 5.6 okres pracy i wyłączenia palnika i powiązać je ze współczynnikami nadmiaru powietrza. Proszę wyjaśnić czym są spowodowane różnice w wartości współczynnika nadmiaru powietrza okresie pracy palnika dla różnych sesji pomiarowych z tabeli 5.3.
- Str. 94, 6-7wg – proszę wyjaśnić stwierdzenie „Okres generowania CO o najwyższej zawartości jest relatywnie krótszy w porównaniu z CO<sub>2</sub>” (?) (na rys. 5.7 i 5.8 i innych w tym podrozdziałach j nie ma zawartości CO<sub>2</sub>).
- Na str. 102 Autor stwierdza, że różnice pomiędzy EEOI dla statku i kotła w kolejnych podróżach mogą być spowodowane np. zmiennymi warunkami hydrometeorologicznymi, stanem palnika i dmuchawy, jak i brakiem czynności obsługowych, ilością ładunku – czy były jakieś dane pozwalające to weryfikować?
- Pytanie – z porównania rys. 5.29 i 5.30 wynika, że udział kotła we współczynniku eksploatacyjnej energetycznej EEOI jest 3-5%. Jaki z tego wynika wniosek co do znaczenia tego kryterium.
- Pytanie (str. 101). W jaki sposób wyliczono średnią wartość EEOI podaną na rys. 5.29 tj. 71,57 gCO<sub>2</sub>/ (ton · Mm).
- Wniosek ostatni sformułowany na stronie 105: „najlepszą efektywnością energetyczną wykazał się w tym roku 2018 kontenerowiec określony jako A” – jest błędny. Najlepszą efektywność ma statek K. Należy rozróżnić „najlepszą efektywność” od „największej wartości wskaźnika efektywności energetycznej EEOI”. Im ten drugi jest większy tym efektywność jest gorsza.
- Proszę o wyjaśnienie stwierdzenia podanego w punkcie Analiza wyników badań (str. 106, punkt 5.5): Efektywność energetyczna statku pasażersko-samochodowego nie uległa zmianie podczas 10 lat eksploatacji (z jakich danych to wynika?).
- Str. 112 w równaniu (6.2) powinno być  $n[y_{\text{dop}} - y_{\text{ref}}]$  zamiast  $i [y_{\text{dop}} - y_{\text{ref}}]$

## E. UWAGI SZCZEGÓŁOWE

Str. 17, 11 wd	Dwukrotnie użyto słowo paliwa – ma być jeden raz
Str. 21, -13,14 wd	Jest: „i składu emitowanych w spalinach szkodliwych dla środowiska związków szkodliwych i gazów cieplarnianych”. Powinno być: „i składu emitowanych w spalinach szkodliwych dla środowiska związków i gazów cieplarnianych”
Str. 22, 4wg	Jest „szkodliwe składniki sygnału emisji” –powinno być „szkodliwe składniki emisji”.
Str. 22, 17wg	Jest „M1orskiej” zamiast „Morskiej”
Str. 23, 1wg	Jest „czynności obsługowych dokonywane są”, powinno być „czynności obsługowe dokonywane są”.
Str. 27	W pracy są dwie strony z tym samym tekstem
Str. 32, 9ww	Jest „a literatury”, powinno być „a z literatury”
Str. 43, 1wg	Jest dość niezręcznie „wymagania Międzynarodowej Konwencji o wymaganiach”, lepiej by było „postanowienia Międzynarodowej Konwencji o wymaganiach”
Str. 47, 7wd	Jest „nieefektywnej pracy kotłach opalanych „, powinno być „nieefektywnej pracy kotłów opalanych”
Str. 54	Równanie (3.13) jest „ $m_{pa}$ ”, powinno być „ $\dot{m}_{pa}$ ”
Str. 71, 6wd	Jest „w zależności (4.32) – powinno być „w zależności (4.28)
Str. 96, 13wd	Jest „znaduje się bazie”, powinno być „znajduje się w bazie”

## F. WNIOSEK KOŃCOWY

Rozprawa doktorska Pana *mgr inż. Krzysztofa Kołwzana* pt. „**Model eksploatacji okrętowych pomocniczych kotłów opalanych z uwzględnieniem wymagań ochrony środowiska morskiego**” zawiera sformułowanie ważnych w inżynierii mechanicznej zadań badawczych, ich rozwiązanie i dyskusję wyników.

W opinii końcowej chcę także podkreślić złożoność badanych zjawisk i związaną z tym konieczność przeprowadzenia żmudnych oraz pracochłonnych badań eksperymentalnych. Autor w ich przeprowadzeniu wykazał się bardzo dobrą wiedzą i szeroką skalą umiejętności posługiwania się złożonymi technikami pomiarowymi, jak i umiejętnościami opracowania i interpretacji wyników oraz szerokiej ich dyskusji.

Kompozycja rozprawy tworzy logicznie przemyślaną i spójną całość, potwierdzając dojrzałość Autora do prowadzenia badań naukowych.

***Uważam, że opiniowana praca mgr inż. Krzysztofa Kołwzana w pełni spełnia ustawowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim w odpowiednich przepisach i wnioskuję dopuszczenie jej do publicznej obrony.***

***Uwzględniając powyższe proponuję także wyróżnić pracę.*** Podstawą tego jest unikalność w niektórych obszarach:

- a) przedstawione w rozdziale 4 pracy modele są bardzo starannie i wnikliwie opracowane. Przedstawiony sposób ich zapisu jest na tyle uniwersalny, że może być z powodzeniem stosowany do analizy maszyn i urządzeń energetycznych,
- b) pokazanie udziału okrętowego pomocniczego kotła opalanego we wskaźniku EEOI nie przedstawianego dotychczas w literaturze przedmiotu,
- c) opracowanie Autorskiej strategii eksploatacji okrętowego pomocniczego kotła opalanego.

Gliwice, 28.04.2020

Janusz Kotowicz