

Małgorzata PAWLAK

Akademia Morska w Gdyni
Wydział Nawigacyjny, Katedra Eksploatacji Statku
al. Jana Pawła II 3, 81-345 Gdynia
e-mail: malgopawlak@tlen.pl

PROBLEMATYKA MODELOWANIA EMISJI I DYSPERSJI SZKODLIWYCH SKŁADNIKÓW SPALIN MORSKICH SILNIKÓW OKRĘTOWYCH

Streszczenie:

W artykule przedstawiono problematykę modelowania emisji związków szkodliwych zawartych w spalinach morskich silników okrętowych oraz rozprzestrzeniania się tych związków w atmosferze. Istnieje wiele modeli opisujących te zjawiska w różnych skalach przestrzennych, jednakże częsty problem stanowi niemożność pozyskania potrzebnych danych wejściowych, konieczność stosowania dużych uproszczeń oraz nieuwzględnianie wszystkich zmiennych, które mają bezpośredni lub pośredni wpływ na opisywane zjawiska. Istnieje potrzeba ujednoczenia metod wyznaczania wskaźników emisji związków szkodliwych i ich rozprzestrzeniania się w powietrzu. W tym artykule przedstawiono próbę opracowania metodyki modelowania emisji i dyspersji szkodliwych składników spalin statków morskich, uwzględniającej przemiany fotochemiczne badanych związków chemicznych.

Słowa kluczowe: emisja, dyspersja, modelowanie, spaliny

WPROWADZENIE

Tematem wielu publikacji naukowych na całym świecie jest problematyka wpływu emisji związków szkodliwych obecnych w spalinach statków na jakość powietrza atmosferycznego, zarówno w ujęciu globalnym (np. [2], [3], [4], [5], [9]), regionalnym (np. [6], [10], [11], [19]), jak również lokalnym, np. w rejonach dużych portów morskich (np. [7], [13], [17]).

Szacuje się, że prawie 70 % światowej emisji związków szkodliwych ze statków morskich następuje w obrębie 400 km od lądu, z czego część dociera do obszarów lądowych. Silniki spalinowe o zapłonie samoczynnym przyczyniają się do zwiększenia emisji SO_x w wielu obszarach przybrzeżnych od ponad 5 % do około 30 % [2].

Wyniki badań nad wpływem emisji zanieczyszczeń w spalinach statków na zdrowie człowieka, pozwalają stwierdzić, że każdego roku około 60 000 ludzi na całym świecie umiera przedwcześnie z powodu chorób układu oddechowego spowodowanych zanieczyszczeniem powietrza przez spaliny statków [4]. Najwyższą śmiertelnością, głównie na skutek niewydolności serca i płuc, odznaczają się akweny cechujące się dużym natężeniem ruchu statków, w szczególności rejonu Kanału La Manche, wschodnie wybrzeże Stanów Zjednoczonych Ameryki oraz południowozachodnia Azja.

Morze Bałtyckie jest akwenem o natężonym ruchu statków, głównie odbywających krótkie podróże morskie. Stanowi ono tzw. obszar specjalny, na którym obowiązują zaostrzone przepisy dotyczące dopuszczalnych poziomów zawartości siarki w paliwie, dopuszczalnych poziomów emisji tlenków siarki oraz tlenków azotu w spalinach statków (Załącznik VI do Konwencji MARPOL 73/78).

Większość istniejących metod szacowania emisji związków szkodliwych w spalinach statków oparta jest na uproszczonych danych wejściowych (np. [4], [5], [8], [9]) oraz na uśrednianiu wartości takich parametrów jak: liczba i wymiary statków, długość drogi przebytej pomiędzy portami, moc silnika, rodzaj i ilość zużytego paliwa. Istnieją bazy danych emisji związków szkodliwych w spalinach statków odbywających podróże morskie w różnych rejonach świata (np. [9], [18]), jednakże wykorzystanie tych danych do szacowania emisji w skali regionalnej, np. w rejonie Morza Bałtyckiego prowadzi do znacznego niedoszacowania wskaźników emisji, głównie z powodu zbyt niskiego uszczegółowienia charakterystyk ruchu statków (np. [18]).

Przy modelowaniu jakości powietrza konieczne jest zastosowanie mniej lub bardziej złożonego systemu modelowania, w skład którego powinny wejść następujące moduły: moduł emisji zanieczyszczeń, moduł dyspersji zanieczyszczeń w atmosferze (czyli ich transportu, dyfuzji i przemian chemicznych w atmosferze, z uwzględnieniem procesów wymywania w chmurach oraz suchej i mokrej depozycji), moduł meteorologiczny (powiązany z systemem przetwarzania, analizy i asymilacji danych meteorologicznych), oraz moduł emisji, a więc rozkładu stężeń w określonym obszarze przestrzeni atmosferycznej.

Emisja substancji zawartych w spalinach silników okrętowych zależy głównie od wielkości i rodzaju silnika, liczby silników poszczególnych rodzajów zainstalowanych na jednostce pływającej (silników głównych i pomocniczych), wielkości opisujących stan pracy silnika: momentu obrotowego, prędkości obrotowej, stanu cieplnego silnika, stanu technicznego silnika (parametrów układu wymiany ładunku, stanu układu, stanu technicznego i poprawności regulacji aparatury wtryskowej), zastosowanych rozwiązań ekologicznych silników (np. silniki typu „flex” z rozbudowanym, komputerowym układem sterowania wtryskiem paliwa oraz pracą układu wymiany ładunku, zastosowanie układów oczyszczania spalin, np. selektywnej redukcji katalitycznej SCR), a także struktury jednostek pływających (wielkości i przeznaczenia jednostek pływających), właściwości ekonomicznych jednostek pływających ze względu na eksploatacyjne zużycie paliwa, stanu technicznego jednostek pływających uwzględniającego rozwiązania techniczne oraz stan kadłuba i zużycie elementów układów napędowych, jak również od właściwości paliw (m.in. rodzaju paliwa, składu i zawartości zanieczyszczeń).

W modelowaniu emisji i dyspersji zanieczyszczeń emitowanych przez silniki okrętowe, należy określić parametry i charakterystykę drogi statku. Statki poruszają się z reguły po ściśle wytyczonych szlakach żeglugowych. W celu uzyskania szczegółowych danych dotyczących danej jednostki pływającej, pomocne może być wykorzystanie do tego celu Systemu Automatycznej Identyfikacji Statku (AIS), czyli morskiego systemu identyfikacji statków transmitującego na paśmie VHF takie informacje o statku, jak: sygnał wywoławczy statku MMSI, numer IMO, nazwa i typ statku, wielkość, zanurzenie, pozycja w czasie rzeczywistym, kurs, prędkość, port wypłynięcia i port przeznaczenia, rodzaj transportowanego ładunku, informacje o niebezpieczeństwach i innych parametrach nawigacyjnych. Ten statkowy system nadawczy, działający jak transponder, jest zdolny do przesyłania i obsługi ponad 4500 raportów na minutę i odświeżania danych nawet co 2 sekundy. Dostępność tych szczegółowych danych pozwala na szybką identyfikację statku i jego podstawowych parametrów, co stanowi narzędzie pomocne przy wyznaczaniu charakterystyk drogi statku, a następnie przy modelowaniu emisji zanieczyszczeń zawartych w spalinach, a w dalszej kolejności ich dyspersji. A zatem, można stwierdzić, że system AIS doskonale nadaje do badania natężenia ruchu statków w skali regionalnej, np. dla obszaru Morza Bałtyckiego. Inne systemy pozyskiwania danych, np. AMVER (ang. *Automated Mutual-Assistance Vessel Rescue system*) czy ICOADS (ang. *International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set*) [9], które mogą być stosowane do oceny natężenia ruchu statków oraz szacowania emisji związków szkodliwych w ich spalinach w skali globalnej, nie

powinny być stosowane do takich badań prowadzonych dla mniejszej skali – lokalnej lub regionalnej, gdyż pozyskane dane są nieprecyzyjne i stanowią jedynie podstawę do szacunkowego badania charakterystyk ruchu statków oraz wyznaczania wskaźników emisji składników spalin. System Służby Kontroli Ruchu Statków VTS (ang. *Vessel Traffic System*), który jest stosowany w rejonach gdzie natężenie ruchu, skupienie dużej ilości jednostek w wąskich przejściach lub obecność niebezpieczeństw nawigacyjnych stwarza duże zagrożenie kolizji lub wejścia na mieliznę, m.in. dostarcza danych o sytuacji hydrometeorologicznej w rejonie oraz podaje informacje na temat pozycji statków, ich ruchu oraz zamierzeniach. Największą wadą tego systemu (z punktu widzenia jego wykorzystania do pozyskiwania danych wejściowych do modelowania ruchu statków i emisji związków szkodliwych w ich spalinach) jest konieczność zbierania informacji o charakterze pozycyjnym, skorelowanych z czasem, warunkami pogodowymi oraz typem statku, typem jego silnika i obciążeniem oraz konieczność uwzględnienia stanu załadowania, prędkości oraz warunków pogodowych.

Dodatkowo, zarówno przy rozpatrywaniu wskaźników emisji szkodliwych składników spalin, jak i ich dyspersji, należy uwzględniać warunki meteorologiczne otoczenia (np. temperaturę otoczenia, ciśnienie, wilgotność powietrza, opady, siłę i kierunek wiatru) i zmienne opory pływania statku (opór statku na wodzie płytkiej, opór statku podczas ruchu w kanale, opór powietrza, wpływ falowania oraz oblodzenia). W tym celu korzystne jest zintegrowanie w modelu preprocesora meteorologicznego, który zintegrowany z pozostałymi modułami systemu modelowania powinien być powiązany z systemem przetwarzania, analizy i asymilacji danych meteorologicznych.

W modelowaniu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powstających w wyniku spalania paliw żeglugowych, z istniejących i powszechnie stosowanych modeli najbardziej przydatne wydają się być matematyczne modele deterministyczne rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu ze źródeł punktowych, liniowych i powierzchniowych na obszarach pozamiejskich. Na podstawie tego kryterium, czyli rodzaju układu współrzędnych (poziomego, pionowego lub sferycznego), można wyróżnić następujące klasy modeli: gaussowskie (smugi, obłoki), eulerowskie (pudełkowe, siatkowe) i lagrangeowskie (pudełkowe, ruchu pseudocząstek).

1. PROBLEMATYKA MODELOWANIA EMISJI SZKODLIWYCH SKŁADNIKÓW SPALIN SILNIKÓW OKRĘTOWYCH I ICH DYSPERSJI

Od kilkunastu lat podejmuje się liczne próby określania emisji związków szkodliwych w spalinach statków, prowadzi się badania nad rozprzestrzenianiem się tych substancji w różnych skalach przestrzennych oraz ich wpływem na jakość powietrza oraz zdrowie ludzi zamieszkujących rejony leżące w pobliżu głównych szlaków żeglugowych i portów.

W pracy [19] przeprowadzono badania charakterystyk ruchu statków i emisji szkodliwych składników ich spalin na akwenach należących do Unii Europejskiej. Analizę oparto na danych zebranych jedynie dla kilku miesięcy jednego roku, w pracy tej praktycznie nie uwzględniono krótkich podróży morskich statków, czyli statków kursujących wielokrotnie w ciągu tego samego dnia (wahadłowo) pomiędzy tymi samymi portami, ponieważ dane wejściowe do badań zawierały jedynie jeden port wywołania na dzień dla danego statku. W pracy zastosowano wprawdzie metodę zastępczą dla promów, ale oparta ona była na szacunkowych danych dotyczących dziennej liczby wywołań statku w porcie.

W pracy [10] przedstawiono metodykę szacowania emisji z jednostek pływających w oparciu o takie kryteria, jak: miejsce występowania emisji, państwo bandery, wartości

sprzedaży paliwa, wartości zużycia paliwa, pojemność ładunkowa, kraj wypłynięcia lub przeznaczenia, jak również w stosunku do krajowych lądowych emisji. Przy zastosowaniu tych siedmiu kryteriów, poddano oszacowaniu emisje z silników jednostek pływających następujących związków chemicznych zawartych w spalinach: SO₂, NO_x, VOC, cząstek stałych (PM) oraz CO₂. Emisję tych związków szkodliwych oszacowano dla 27 krajów obecnej Unii Europejskiej i 2 krajów kandydujących (Chorwacji i Turcji) dla roku 2000, a także przedstawiono prognozowane emisje dla lat: 2010, 2015 oraz 2020. W odniesieniu do wartości emisji oszacowanych przy zastosowaniu wyżej wymienionych kryteriów, można jednoznacznie stwierdzić, że próby szacowania emisji dla tej samej grupy krajów, dla tego samego roku, lecz za pomocą różnych kryteriów, doprowadziły do uzyskania bardzo różniących się między sobą wyników. Ponadto, w zależności od zastosowanego kryterium, niepewność przedstawionych wyników szacuje się na poziomie od $\pm 15\%$ do nawet $\pm 45\%$, co dyskredytuje możliwość wykorzystania tych danych do dalszych badań, np. do szacowania dyspersji zanieczyszczeń.

W pracach [1], [11] podjęto próbę opisanie ruchu statków w oparciu o dane dotyczące portu wypłynięcia i portu przeznaczenia oraz znajomości tras żeglugowych, po których poruszają się statki. Jednakże, istotne nieścisłości zachodzą przy wyznaczaniu czasu trwania podróży morskiej, rodzajów silnika/silników oraz wskaźników emisji. Uwzględnienie danych przesyłanych przez system AIS, takich jak zmiany prędkości statku oraz podawanie rzeczywistej pozycji statku w dowolnym momencie trwania podróży może istotnie wpłynąć na dokładność oszacowania wskaźników emisji.

W pracy [14] zaprezentowano model, który zasilany danymi przesyłanym przez system AIS, pozwala na określanie pozycji statków w jednosekundowych przedziałach czasu i na tej podstawie przeprowadzanie obliczeń wskaźników emisji związków szkodliwych w ich spalinach. W modelu rozpatrzono wiele czynników mających pośredni lub bezpośredni wpływ na wartości emisji związków szkodliwych w spalinach statków. Uwzględniono nie tylko moc silnika głównego, ale również moc silników pomocniczych. Założono również możliwość wykorzystania informacji odnośnie zainstalowanych na statkach urządzeń obniżających emisję. Uwzględniono również czynniki pogodowe (falowanie) mające pośredni wpływ na wskaźniki emisji. Niestety, opracowany model opiera się na zbyt wielu uproszczeniach, aby można go było stosować do określania emisji na Morzu Bałtyckim. Główne zastrzeżenia budzą założenia przyjęte do obliczania mocy chwilowej silnika głównego, założenia dotyczące wartości mocy silników pomocniczych (w zależności od kategorii statku oraz rodzaju eksploatacji), sposób wykorzystania informacji o dopuszczalnych poziomach emisji NO_x, jak również przyjęcie założenia, że dla wszystkich silników jednostkowe zużycie paliwa jest jednakowej wartości. W pracy [14] zwrócono uwagę na konieczność badania emisji jako funkcji obciążenia silnika, jednakże w opracowanym modelu nie uwzględniono tej zmiennej.

Z kolei, wcześniej prowadzone badania ([4], [11], [18]) wykazały szereg nieścisłości przy określaniu lokalizacji źródeł emisji. Ponadto, w większości tych badań przeważnie pomijano zmiany prędkości statków, rzeczywistą pozycję statku oraz możliwość istnienia na statku urządzeń obniżających emisję. Takie uproszczenia powodowały, że wyznaczane wskaźniki emisji nie odzwierciedlały rzeczywistych wartości emisji. Można zatem stwierdzić, że istnieje potrzeba zastosowania metod, za pomocą których będzie możliwe określanie w sposób dużo bardziej precyzyjny charakterystyk ruchu statków, jak również wskaźników emisji. Wykorzystanie przesyłanych za pośrednictwem systemu AIS danych o parametrach technicznych statków oraz informacji o podróży do wyznaczania charakterystyk ruchu statków w wybranym akwenie oraz emisji składników ich spalin prowadzi do zwiększenia dokładności i rzetelności danych wejściowych do modeli ruchu i emisji.

W pracy [15] opracowano metodykę wyznaczania emisji szkodliwych składników spalin zawartych w spalinach silników okrętowych oraz z uwzględnieniem tej emisji – określania jakości powietrza atmosferycznego w Danii. Podobnie, jak w przypadku modelu opisanego przez [14], dane wejściowe pozyskiwano z systemu AIS oraz z baz danych Lloyd's Register. W pracy [15] uwzględniono również rodzaje silnika, rodzaj paliwa oraz średnią długość życia silnika. Następnie zdefiniowano funkcje obciążenia silników głównych i pomocniczych, oszacowano jednostkowe zużycie paliwa oraz wskaźniki emisji. Głównym celem autorów pracy [15] było oszacowanie udziału emisji szkodliwych składników spalin silników okrętowych w całkowitym stężeniu różnych związków chemicznych w powietrzu. W celu modelowania tego stężenia zastosowano model eulerowski.

Badanie dyspersji szkodliwych składników spalin emitowanych przez silniki statków stanowi zadanie złożone. Jak wspomniano wcześniej, istnieją różne klasy modeli. Na podstawie analizy przeprowadzonej w pracy [16], pewne grupy modeli można od razu wykluczyć z dalszego rozważania z powodu ich istotnych ograniczeń i wad. Jednym z ograniczeń jest skala przestrzenna – modele do zastosowań w mikroskali i makroskali nie będą przydatne, gdyż przydatne będą jedynie modele, które można stosować w mezoskali (czyli skali, w której typowe odległości mieszczą się w przedziale od 1 km do 1000 km). Skala taka została wybrana z dwóch powodów: po pierwsze dlatego, że jest ona najbardziej odpowiednia do rozpatrywania zjawisk emisji dla poszczególnych rejonów (np. Morza Bałtyckiego lub Zatoki Gdańskiej), a po drugie dlatego, że w związku z istnieniem zjawiska rozrzedzenia smugi emitowanych zanieczyszczeń przez porywanie cząsteczek przez powietrze (tło), oszacowano, że chemiczny czas trwania (życia) smugi pojedynczego statku (czyli czas, po jakim różnice pomiędzy smugą a tłem są zmniejszone do 5% lub mniej) wynosi do 2 dni [12]. A zatem, biorąc powyższe pod uwagę, można stwierdzić, że zjawiska te będą badane na obszarze, na którym typowe liniowe odległości nie przekraczają 1000 km (należy wziąć pod uwagę długość drogi smugi/obłoku zanieczyszczeń oraz drogi przemieszczającego się źródła emisji – statku). Kolejne ograniczenie, powodujące eliminację modelu z dalszego rozważania, stanowi brak istotnych możliwości technicznych niezbędnych do prawidłowego modelowania dyspersji (np. założenia wyłącznie ciągłej i niezmiennej emisji, nie uwzględnianie zmiennych warunków meteorologicznych, stanów cisz i słabych wiatrów, przemian fotochemicznych, suchej i mokrej depozycji, jak również przemieszczania się (mobilności źródła emisji). Z powyższej analizy wynika, że nieprzydatne w modelowaniu dyspersji zanieczyszczeń emitowanych w spalinach silników jednostek pływających, są gaussowskie modele smugi z powodu niewielkiej skali przestrzennej ich zastosowania (do około 50 km), a także zbyt dużych uogólnień wynikających z założeń tych modeli. Eliminacji ulegną również lagrangeowskie modele pseudocząstek oraz siatkowe modele eulerowskie z powodu zbyt wysokiego stopnia ich złożoności, wymagań dotyczących danych wejściowych i wysokich kosztów komputerowych. Warte głębszej analizy i badań pod kątem ich przydatności do modelowania dyspersji zanieczyszczeń emitowanych przez silniki okrętowe są trzy klasy modeli: gaussowskie modele obłoku, lagrangeowskie modele pudełkowe, oraz eulerowskie modele jedno- lub wielopudełkowe. Wszystkie one pozwalają na modelowanie w większych skalach przestrzennych, przy różnych warunkach atmosferycznych i na terenie o zróżnicowanej topografii. Niewątpliwą zaletą tych modeli stanowi możliwość uwzględniania łańcuchów przemian chemicznych, a także opisanie suchej i mokrej depozycji, gdyż posiadają one moduły fotochemiczne i meteorologiczne. Jednakże modele te nie są wolne od dość istotnych ograniczeń, jakim jest przede wszystkim brak możliwości modelowania dyspersji w przypadku ruchomego źródła emisji, jakim jest jednostka pływająca. To właśnie ograniczenie powoduje konieczność podjęcia próby opisanie ruchu jednostki za pomocą innego modelu. Pozostałe parametry, które wybrany model musiałby spełniać to: uwzględnianie niestacjonarnych, czyli zmiennych w czasie, warunków

(niejednorodnych warunków meteorologicznych, zmian natężenia emisji, również w zależności od parametrów pracy silnika), uwzględnianie reakcji wtórnych, suchej i mokrej depozycji, możliwość wizualizacji wyników za pomocą interfejsu graficznego, w miarę możliwości krótki czas przetwarzania danych, jak również niewysokie koszty komputerowe.

A zatem, można stwierdzić, iż dyspersję związków szkodliwych emitowanych w spalinach jednostek pływających oraz ich transport w powietrzu, najkorzystniej byłoby opisać za pomocą modelu pudełkowego (lagrangeowskiego lub eulerowskiego) lub gaussowskiego modelu obłoku. Natomiast, w związku z tym, że żaden z modeli nie przewiduje mobilności emitorów, niezbędne jest sformułowanie specjalistycznego modułu opisującego ruch statków na zadanym obszarze.

Na podstawie przeprowadzonej analizy, można stwierdzić, że na świecie podejmuje się wiele prób mających na celu oszacowanie emisji związków szkodliwych w spalinach statków oraz jej wpływu na jakość powietrza atmosferycznego. Niestety, wiele opracowań opiera się na niewystarczającej ilości i jakości danych wejściowych, często pozyskiwanych z wielu różnych źródeł, jak również konieczności stosowania uproszczeń znacząco przekładających się na wiarygodność opracowanych modeli.

2. METODYKA MODELOWANIA EMISJI I DYSPERSJI SZKODLIWYCH SKŁADNIKÓW SPALIN MORSKICH SILNIKÓW OKRĘTOWYCH

Modelowanie emisji związków szkodliwych zawartych w spalinach silników okrętowych statków morskich oraz ich dyspersji powinno składać się z następujących etapów:

- Wykorzystanie danych przesyłanych za pośrednictwem AIS jako danych wejściowych do modelu emisji:
 - pozyskanie danych identyfikujących dany statek: nazwa statku, nr rejestracyjny IMO, numer MMSI, sygnał wywoławczy statku, wymiary statku (długość, szerokość, zanurzenie), pojemność brutto (GT) czas przesłania informacji z systemu AIS (UTC), pozycja statku (długość i szerokość geograficzna);
 - obliczenie prędkości statku na podstawie odczytanego z AIS czasu jaki upłynął pomiędzy dwoma kolejnymi sygnałami oraz odpowiadających im pozycji statku;
- Pozyskanie dodatkowych informacji technicznych o statkach z baz danych i katalogów danych technicznych o statkach oraz ich analiza w aspekcie danych wejściowych do modelu emisji:
 - pozyskanie brakujących danych, takich jak: kategoria (rodzaj) statku, rok budowy, prędkość nominalna, typ kadłuba, liczba silników głównych i pomocniczych, typ, model i rodzaj silnika głównego (silnik wolnoobrotowy, średnioobrotowy, szybkoobrotowy, 2-suwowy, 4-suwowy), moc nominalna silników głównych i pomocniczych, prędkość obrotowa silnika, rodzaj stosowanego paliwa, średnie jednostkowe zużycie paliwa, informacje o paliwie (np. zawartość siarki w paliwie), informacje o banderze, informacje o zainstalowanych na statku technologiach obniżania emisji składników spalin.
 - w przypadku braku możliwości identyfikacji statku z systemu AIS lub braku informacji technicznych o danym statku w bazach danych, możliwe jest przyjęcie założenia, że są to statki niewielkie (rekreacyjne, sportowe, niewielkie kutry rybackie itp.), na których nie istnieje obowiązek instalowania systemu AIS i odznaczające się niewielkim udziałem w emisji, a w konsekwencji można pominąć je w dalszej analizie.

- Określenie mocy chwilowej silników głównych i pomocniczych
- Określenie jednostkowego zużycia paliwa z uwzględnieniem rodzaju silnika (wolno-, średnio- oraz szybkoobrotowy) oraz roku jego produkcji.
- Uwzględnienie czynników pogodowych (głównie stanu morza i wiatru), ponieważ trudne warunki żeglugowe – zwłaszcza wiatr i falowanie (stan morza) powodują wzrost zapotrzebowania na moc, przez co bezpośrednio wpływają na zużycie paliwa przez statek, a pośrednio na wartość emisji (zużycie paliwa i emisja składników spalin do atmosfery są liczone jako funkcja mocy chwilowej silnika). Oprócz stanu morza, dodatkowe zapotrzebowanie na moc zależy od parametrów opisujących powierzchnię zwilżoną oraz trójwymiarowy kształt kadłuba, a także kąt styku kadłuba z falą.
- Określenie wskaźników emisji wybranych składników spalin, np. NO_x , SO_x – w tym celu należy dokonać analizy przepisów prawnych (Konwencja MARPOL, Zał. VI) i uwzględnić zmiany w dopuszczalnych poziomach tej emisji, które będą następowały w najbliższych latach. Należy również uwzględnić rodzaj silnika – oszacować wskaźniki emisji wybranych związków chemicznych dla wolno-, średnio- oraz szybkoobrotowych silników okrętowych. Powinno również uwzględnić się rok produkcji silnika, co ma szczególne znaczenie ze względu na zaostrzenie się przepisów prawnych odnośnie dopuszczalnych poziomów emisji NO_x i SO_x . Dodatkowo powinno się uwzględnić czy na danym statku stosowane są rozwiązania ekologiczne, np. urządzenia obniżające toksyczność składników spalin.
- Zastosowanie modelu transportu zanieczyszczeń (np. lagrangeowskiego modelu pudełkowego, eulerowskiego modelu pudełkowego lub gaussowskiego modelu obłoku), zintegrowanego z modułami fotochemicznym i meteorologicznym. Model musi być możliwy do zastosowania dla mobilnego źródła emisji (jakim jest statek), powinien uwzględniać warunki niestacjonarne (niejednorodne warunki meteorologiczne, zmiany natężenia emisji), zachodzące w atmosferze przemiany fotochemiczne emitowanych szkodliwych składników spalin, również reakcje wtórne, a także zjawiska suchej i mokrej depozycji.

3. PODSUMOWANIE

Prowadzone od kilkunastu lat badania wpływu emisji spalin morskich silników okrętowych na klimat, chemizm atmosfery oraz jakość powietrza atmosferycznego nabierają coraz większego znaczenia, zwłaszcza w świetle obserwowanego w skali globalnej zwiększającego się natężenia ruchu statków oraz coraz większej ilości przewożonych drogą morską ładunków, co przekłada się na coraz większy udział transportu morskiego w globalnym zużyciu paliwa oraz w antropogenicznej emisji związków szkodliwych do atmosfery.

Kwestie emisji szkodliwych składników spalin statków oraz ich dyspersji i transportu w atmosferze niosą istotne wyzwania ekonomiczne, ekologiczne, technologiczne oraz zdrowotne w skalach od lokalnej po globalną. Jednakże, badania i modelowanie tych zjawisk powinny być prowadzone kompleksowo – analizowane powinny być nie tylko wskaźniki emisji związków szkodliwych w spalinach statków, ale również zjawiska rozprzestrzeniania się smugi zanieczyszczeń, z uwzględnieniem zachodzących procesów fizykochemicznych i przemian fotochemicznych oraz warunków meteorologicznych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bewersdorff I., Aulinger A., Matthias V., Quante M.: Modelling of Benzo(a)pyrene Depositions over North Sea Coastal Areas: Impact of Emissions from Local and Remote Areas, in *Air Pollution Modelling and Its Application. XIX – NATO Science for Peace and Security Series C*, ISBN: 978-1-4020-8452-2, Springer, The Netherlands, 296, 296–304, 2008.
- [2] Capaldo K., Corbett J. J., Kasibhatla P., Fischbeck P., Pandis S. N.: Effects of ship emissions on sulphur cycling and radiative climate forcing over the ocean. *Nature* Vol. 400, 743–746, 1999.
- [3] Corbett J. J., Fishbeck P. S., Pandis S. N.: Global nitrogen and sulphur inventories for oceangoing ships. *J. Geophys. Res.*, 104, 3457–3470, 1999.
- [4] Corbett J. J., Winebrake J. J., Green E. H., Kasibhatla P., Eyring V., Lauer A.: Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment, *Env. Sci. Tech.*, 41, 8512, 2007.
- [5] Dalsøren S. B., Endresen Ø., Isaksen I. S. A., Gravir G., Sørsgård E.: Environmental impacts of the expected increase in sea transportation, with a particular focus on oil and gas scenarios for Norway and northwest Russia. *J. Geophys. Res.*, 112, D02310, 2007.
- [6] Davis D. D., Grodzinsky G., Kasibhatla P., Crawford J., Chen G., Liu S., Bandy A., Thornton D., Guan H., Sandholm S. Impact of Ship Emissions on Marine Boundary Layer NO_x and SO₂ Distributions over the Pacific Basin, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 235–238, 2001.
- [7] Dong C., Huan K.-L., Chen C.-W., Lee C.-W., Lin H.-Y., Chen C.-F.: Estimation of Air Pollutants Emission from Shipping in the Kaohsiung Harbor Area. *Aerosol and Air Quality Research*, 2,31, 2002.
- [8] Endresen Ø., Bakke J., Sørsgård E., Berglen T. F., Holmvang P.: Improved modelling of ship SO₂ emissions – a fuel-based approach, *Atmos. Environ.*, 39, 3621, 2005.02.041, 2005.
- [9] Endresen Ø., Sørsgård E., Sundet J. K., Dalsøren S. B., Isaksen I. S. A., Berglen T. F., Gravir G.: Emission from international sea transportation and environmental impact, *J. Geophys. Res.*, 108(D17), 4560, 2003.
- [10] European Commission Directorate General Environment Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-based Instruments, Task 1 - Preliminary Assignment of Ship Emissions to European Countries, Final Report, ENTEC UK Limited, United Kingdom, 2005. (http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/task1_asign_report.pdf)
- [11] Georgakaki A., Coffey R. A., Lock G., Sorenson S. C.: Transport and Environment Database System (TRENDS):Maritime air pollutant emission modelling, *Atmos. Environ.*, 38, 2357, 2005.
- [12] Glasow R. , Lawrence M. G., Sander R., Crutzen P. J.: Modeling the chemical effects of ship exhaust in the cloud-free marine boundary layer, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 2, 525-575, 2002, European Geophysical Society.
- [13] Isaksson J., Persson T. A., Lindgren E. S.: Identification and assessment of ship emissions and their effects in the harbour of Göteborg, Sweden, *Atmos. Environ.*, 35, 3659–3666, 2001.
- [14] Jalkanen J. P., Brink A., Kalli J., Pettersson H, Kukkonen J., Stipa T.: A modelling system for the exhaust emissions of marine traffic and its application in the Baltic Sea area, *Atmospheric Chemistry and Physics*, No.9, pp. 9209–9223, Dec. 2009.
- [15] Olesen H. R., Winther M., Ellermann T., Christensen J., Plejdrup M.: Ship emissions and air pollution in Denmark - Present situation and future scenarios, National Environmental Research Institute, Aarhus University, Environmental Project No. 1307, 2009.
- [16] Pawlak M., Piaseczny L.: Przegląd modeli rozprzestrzeniania się toksycznych składników spalin z silników statków morskich, Międzynarodowa Konferencja Naukowa Transport XXI wieku, Stare Jabłonki, 2007, s.99-104.
- [17] Starcrest Consulting Group: The Port of Los Angeles: Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2007, Poulsbo, WA, USA, ADP#050520-525, 2008.
- [18] Wang C., Corbett J. J., Firestone J.: Improving Spatial Representation of Global Ship Emissions Inventories, *Environ. Sci. Technol.*, 42, 193, 2008.
- [19] Whall C., Cooper D., Archer K., Twigger L., Thurston N., Ockwell D., McIntyre A., Ritchie A.: Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community, Final report to the European Commission, ENTEC UK Ltd. London, 2002.

PROBLEMS IN MODELING EMISSION AND DISPERSION OF POLLUTANTS IN MARINE ENGINES EXHAUSTS

Abstract:

The paper deals with main problems of modelling harmful substances present in marine engines exhausts and their dispersion in the atmosphere. There are many models describing these two phenomena in different spatial scales, however main problems that appear are the difficulties in input data acquisition, the necessity of applying significant simplifications, as well as neglecting some of variables influencing directly or indirectly the described phenomena. There exist therefore the necessity of standardization of the methods of evaluation of factors describing emission of harmful compounds and their dispersion in the air. In the paper the author attempted to elaborate methodology of modelling emission and dispersion of harmful components of marine engines exhausts, taking into account photochemical transformations of those chemical substances.

Key words: emission, dispersion, modelling, exhausts.