

Małgorzata Pawlak
Akademia Morska w Gdyni

Leszek Piaseczny
Akademia Marynarki Wojennej

MEZOSKALOWE MODELE RUCHU STATKÓW MORSKICH DLA SZACOWANIA EMISJI SPALIN

Streszczenie: W pracy rozpatrzono aspekty stosowania mezoskalowych modeli ruchu statków morskich do szacowania wskaźników i charakterystyk emisji zanieczyszczeń zawartych w ich spalinach. Podano wartości wybranych parametrów modelu obliczone na podstawie danych systemu identyfikacji ruchu statków w rejonie Zatoki Gdańskiej.

Słowa kluczowe: modelowanie, ruch, statki, emisja zanieczyszczeń

1. WSTĘP

Istniejące coraz większe zapotrzebowanie na transport morski wskazuje, że ogólny poziom emisji związków toksycznych przez okrętowe silniki spalinowe będzie systematycznie się zwiększał. Wzrośnie również udział silników okrętowych w ogólnym zanieczyszczeniu środowiska naturalnego, a przede wszystkim w rejonie zwykle dużych aglomeracji miast portowych, do których należy zaliczyć teren Trójmiasta. W pracy opisano podstawowe parametry mezoskalowego modelu ruchu statków determinującego emisję zanieczyszczeń pochodzących z ich spalin.

Procesy emisji i dyspersji zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego klasyfikowane są w zależności od swojej skali przestrzennej i czasowej. Dla typowych odległości od 1 km do 1000 km stosuje się tzw. skale mezoskalowe, dla których konfiguracja przepływu zależy zarówno od skutków hydrodynamicznych, jak i niejednorodności cech obszaru.

Mezoskalowe procesy atmosferyczne mają wpływ głównie na zjawiska dyspersji w skali od lokalnej do regionalnej, a badania miejskie są ich typowymi przykładami. W wypadku rozpatrywania procesu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego spalinami pochodzącymi ze statków morskich, można wyróżnić mezoskalowe modele ich ruchu będące podstawą symulacji zjawisk dyspersji zanieczyszczeń dość złożonymi narzędziami

modelowania [1,2,3]. Mezoskalowy model zanieczyszczeń powietrza pochodzących ze statków morskich można zatem rozpatrywać jako system modeli składający się z:

- modeli ruchu statków na określonym akwenie,
- modeli wiatru (diagnostycznego lub prognostycznego),
- modeli głębokości i stanu morza oraz prądów morskich,
- modeli dyspersji.

Autorzy podjęli próbę opracowania modelu ruchu statków na określonym akwenie morskim przydatnego do badań emisji zanieczyszczeń zawartych w spalinach statków morskich.

2. MODEL TRAJEKTORII RUCHU JEDNOSTKI PŁYWAJĄCEJ

W badaniach [4,5,6] przyjęto model trajektorii ruchu jednostki pływającej poruszającej się z punktu P_{i-1} do punktu P_i w przedziale czasu $(t_0, t_k]$, składający się z funkcji drogi opisującej ruch pojedynczych jednostek oraz elementu opisującego w sposób probabilistyczny całkowitą liczbę jednostek poruszających się po danej drodze w przedziale czasu $(t_0, t_k]$, pozycję tych jednostek w czasie początkowym t_0 , jak również ich prędkość. Założono, że czasy wypłynięcia każdej jednostki z punktu P_{i-1} mają rozkład Poissona oraz że prędkości z jakimi poruszają się jednostki oraz długości drogi jakie przebywają są statystycznie niezależne. W pracach [5,6] określono trajektorię ruchu jednostki pływającej na podstawie:

- funkcji drogi po jakiej porusza się jednostka,
- funkcji ruchu jednostki,
- funkcji trajektorii jednostki opisanej za pomocą dwóch pierwszych funkcji.

Trajektorię ruchu jednostki pływającej można traktować jako realizację dwuwymiarowego procesu stochastycznego $\{S(t) = (X(t), Y(t)) : t \geq 0\}$. Przyjmując hipotezę, że proces ten jest procesem o wielowymiarowym rozkładzie typu ciągłego i ciągłych realizacjach, realizacją tego rodzaju procesu jest dwuwymiarowa trajektoria zależna od czasu $\{s(t) = (x(t), y(t)) : t \in T\}$. Niech Δ_N będzie uporządkowanym zbiorem punktów $t_i, i \in \overline{1, N}$ dzielących przedział $[\alpha, \beta]$ na N podprzedziałów, przy czym $\alpha = t_0 < \dots < t_N = \beta$. Podziałowi temu odpowiada zbiór $N+1$ punktów P_0, P_1, \dots, P_N leżących na łuku. Punkty te tworzą łamaną, która aproksymuje drogę jednostki pływającej. Drogę przebywaną przez jednostkę, a więc długość odcinka łączącego punkty $P_{i-1}, P_i, i = 1, \dots, N$ wyrażono wzorem:

$$|P_{i-1}P_i| = \sqrt{[x'(\theta_i)]^2 + [y'(\mathcal{G}_i)]^2} \Delta t_i, \quad (1)$$

gdzie θ_i, \mathcal{G}_i są pewnymi punktami z przedziału $[t_{i-1}, t_i)$, oraz $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$.

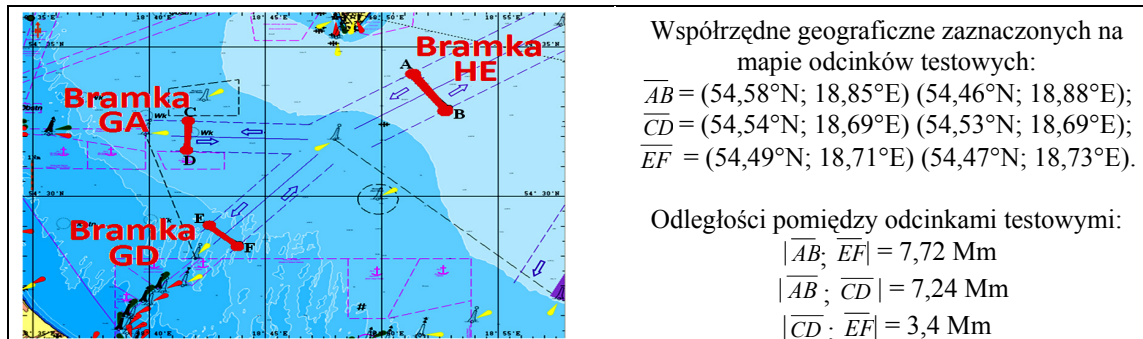
Wyliczona odległość $|P_{i-1}P_i|$ jest pomocna przy określaniu drogi przebytej przez poszczególne jednostki pływające w dowolnym akwenie oraz prędkość jednostki na tej drodze.

Wektorowy proces stochastyczny $\{\mathbf{V}(t) = (V_x(t), V_y(t)) : t \in T\}$ opisuje losowo zmieniającą się prędkość statku w chwili t . Prędkość ta jest dwuwymiarową zmienną losową oznaczającą chwilowy wektor prędkości. Między procesami losowymi $\{\mathbf{S}(t) = (X(t), Y(t)) : t \geq 0\}$ i $\{\mathbf{V}(t) = (V_x(t), V_y(t)) : t \geq 0\}$ zachodzą związki: $\frac{d\mathbf{S}(t)}{dt} = \mathbf{V}(t), t \geq 0$ oraz $\mathbf{S}(t) = \int_0^t \mathbf{V}(x) dx, t \geq 0$. Stosując odpowiednie przekształcenia, otrzymuje się długość wektora prędkości:

$$|\mathbf{v}(t)| = \sqrt{[v_x(t)]^2 + [v_y(t)]^2} \quad (2)$$

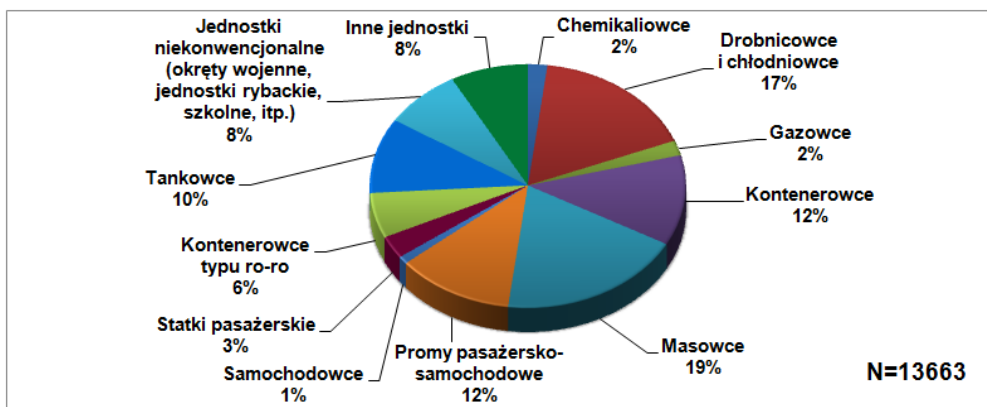
3. PARAMETRY MODELU RUCHU STATKÓW

Do opracowania statystycznego strumieni ruchu statków morskich, przyjęto trasy torów podejściowych do portów Gdynia i Gdańsk oraz toru wodnego rozdzielającego się na oba te tory (w okolicy portu Hel). W tym celu na torach wodnych ustalono umowne, prostopadłe do nich odcinki testowe, zwane dalej „bramkami” (rys. 1), a następnie, w oparciu o dane statystyczne pozyskane za pośrednictwem systemu automatycznej Identyfikacji statków (AIS), dokonano analizy parametrów ruchu statków operujących w rejonie Zatoki Gdańskiej ograniczonym tymi bramkami w określonym przedziale czasu.



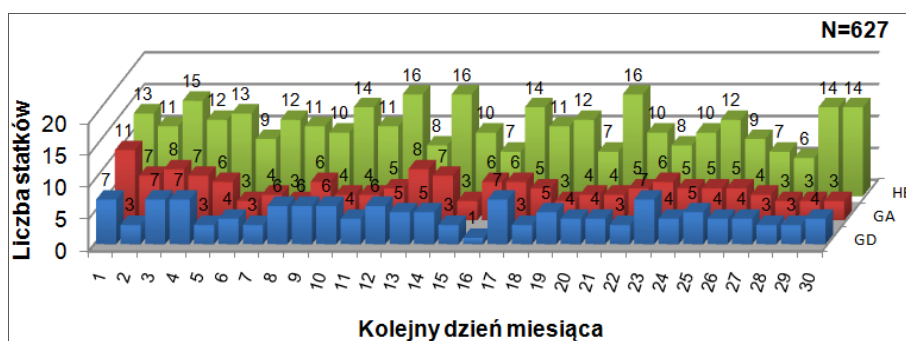
Rys. 1. Mapa rejonu Zatoki Gdańskiej z zaznaczonymi odcinkami testowymi (bramkami)

Wśród wszystkich statków operujących w rejonie Zatoki Gdańskiej (w okresie 24 kolejnych miesięcy), najczęściej było masowców, drobnicowców, chłodnicowców, kontenerowców oraz promów pasażersko-samochodowych. W sumie stanowiły one 60% wszystkich statków (rys. 2).



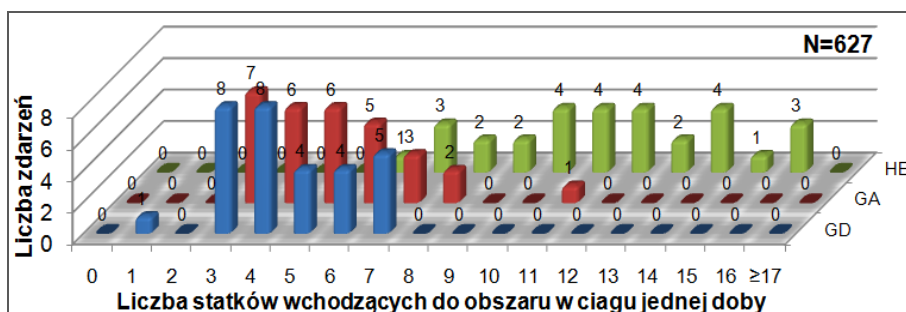
Rys. 2. Procentowy udział statków określonego typu w całkowitej liczbie statków operujących w rejonie Zatoki Gdańskiej

W okresie jednego losowo wybranego miesiąca (30 dni) w badanym rejonie Zatoki Gdańskiej łącznie operowało 627 statków (rys. 3).



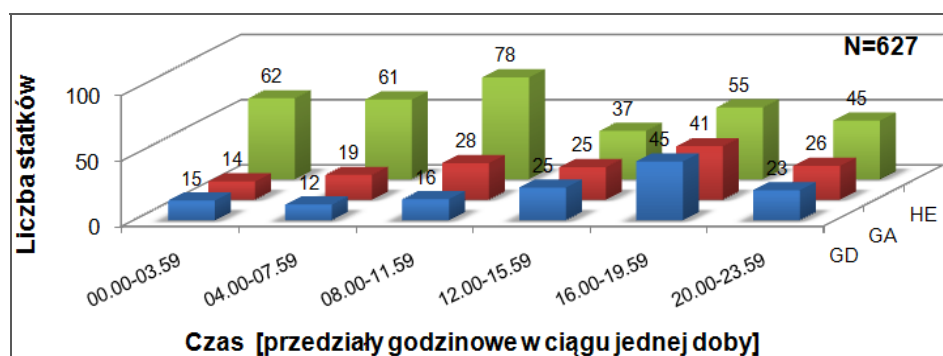
Rys. 3. Rozkład liczby statków w ciągu jednej doby: a) wychodzących w morze przez bramkę GD, b) wychodzących w morze przez bramkę GA, c) przepływających przez bramkę HE i płynących w kierunku portów Gdańsk lub Gdynia

W ciągu jednej doby, do analizowanego obszaru morza przez poszczególne bramki wpływało najczęściej od 3 do 8 statków (w przypadku statków wchodzących do analizowanego obszaru przez bramki GD i GA), oraz od 9 do 14 statków (w przypadku statków wchodzących do analizowanego obszaru przez bramkę HE) (rys. 4).



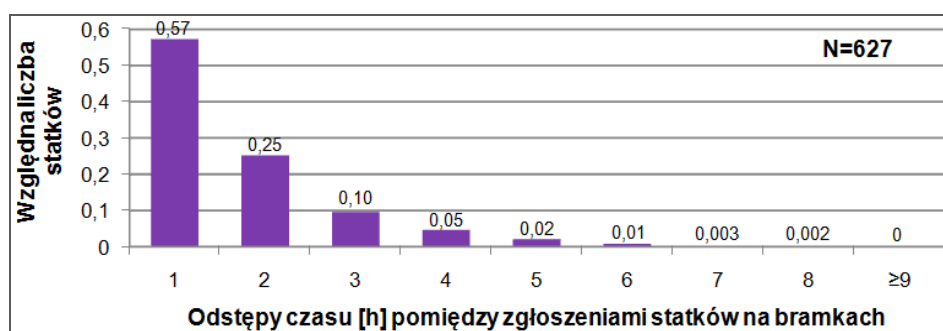
Rys. 4. Rozkład liczby statków w ciągu jednej doby: a) wychodzących w morze przez bramkę GD, b) wychodzących w morze przez bramkę GA, c) przepływających przez bramkę HE i płynących w kierunku portów Gdańsk lub Gdynia (w okresie jednego miesiąca)

Największa liczba statków wpływała do analizowanego obszaru przez bramki GD i GA w godzinach popołudniowych, natomiast przez bramkę HE – w godzinach 00.00-12.00 (rys. 5).



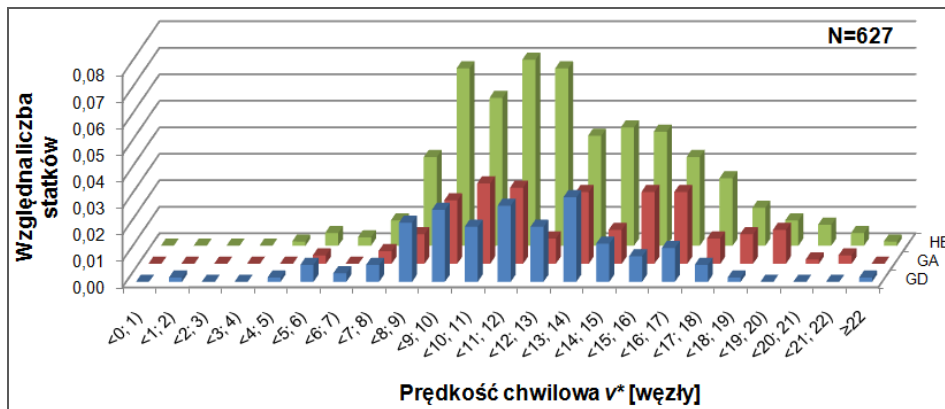
Rys. 5. Rozkład liczby statków: a) wychodzących w morze przez bramkę GD, b) wychodzących w morze przez bramkę GA, c) przepływających przez bramkę HE i płynących w kierunku portów Gdańsk lub Gdynia w zależności od pory dnia (w okresie jednego miesiąca)

Na podstawie analizy rozkładu strumienia zgłoszeń statków wpływających do analizowanego akwenu przez bramki GD, GA lub HE (rys. 6), w zależności od odstępu czasu [h] jaki upłynął pomiędzy kolejnymi zgłoszeniami, można stwierdzić, że dla 92% statków odstęp ten nie przekraczał 3 godzin.

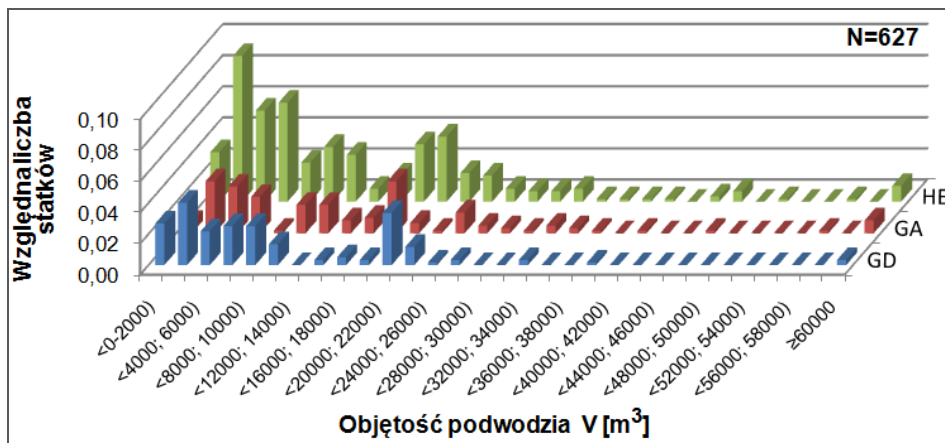


Rys. 6. Rozkład liczby statków wchodzących do analizowanego obszaru przez bramki GD, GA oraz HE, w zależności od odstępu czasu pomiędzy zgłoszeniami kolejnych statków (w okresie jednego miesiąca)

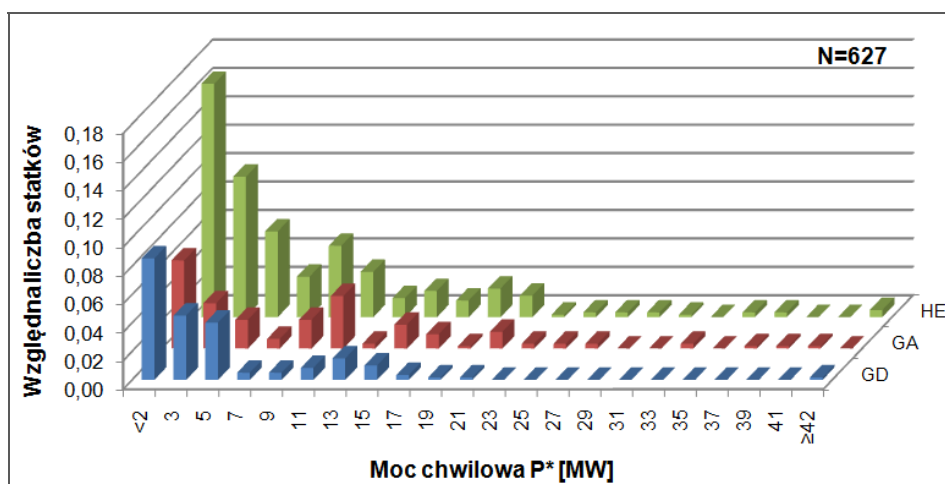
Analiza dostępnych danych statystycznych pozwoliła również wyznaczyć wartości prędkości chwilowych statków wpływających do analizowanego rejonu morza w analizowanym okresie oraz określić ich rozmiar (objętość podwodzia). Prawie 90% statków wpływało do obszaru z prędkościami z zakresu od 8 do 18 węzłów (rys. 7). W większości były to statki stosunkowo niewielkie – objętość podwodzia ponad 90% statków wynosiła do 30 000 m³ (rys. 8). Największa liczba statków (90,3% liczby statków ogółem) operujących w akwenu ograniczonym bramkami, rozwijała moc chwilową w zakresie do 16 MW (rys. 9).



Rys. 7. Rozkład prędkości chwilowej [w węzłach] statków: a) wychodzących w morze przez bramkę GD, b) wychodzących w morze przez bramkę GA, c) przepływających przez bramkę HE i płynących w kierunku portów Gdańsk lub Gdynia (w okresie jednego miesiąca)



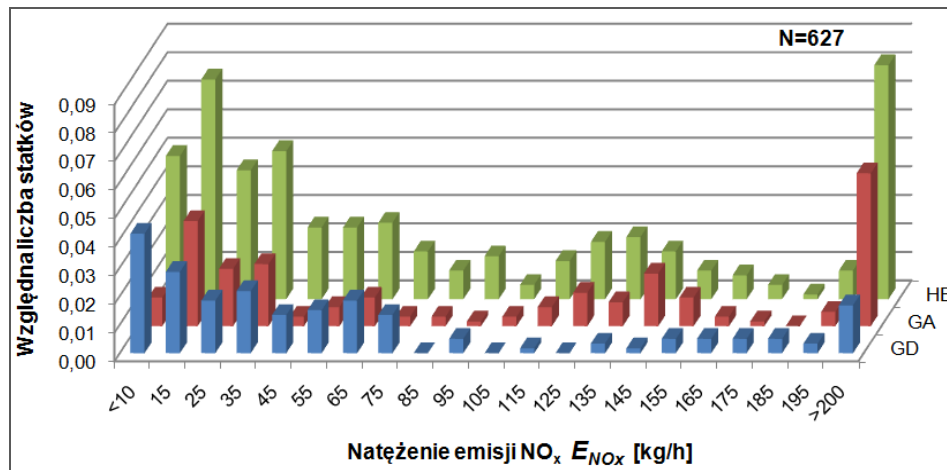
Rys. 8. Rozkład objętości podwodzia statków: a) wychodzących w morze przez bramkę GD, b) wychodzących w morze przez bramkę GA, c) przepływających przez bramkę HE i płynących w kierunku portów Gdańsk lub Gdynia (w okresie jednego miesiąca)



Rys. 9. Rozkład wartości mocy chwilowej P^* [MW] obliczonej metodą Papiela dla badanej grupy statków: a) wychodzących w morze przez bramkę GD, b) wychodzących w morze przez bramkę GA, c) przepływających przez bramkę HE i płynących w kierunku portów Gdańsk lub Gdynia

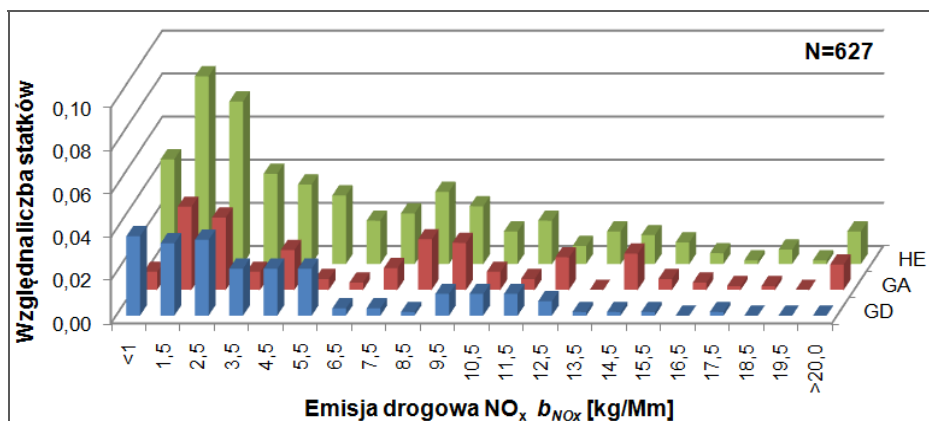
4. SZACOWANIE WSKAŹNIKÓW EMISJI SPALIN

Wartości mocy chwilowej pozwalają na wyznaczenie przybliżonej wartości natężenia emisji dowolnego związku szkodliwego, np. tlenków azotu, w spalinach statków w analizowanym obszarze, liczonej na podstawie średnich emisji dla określonego rodzaju silnika – rys. 10 [7,8].

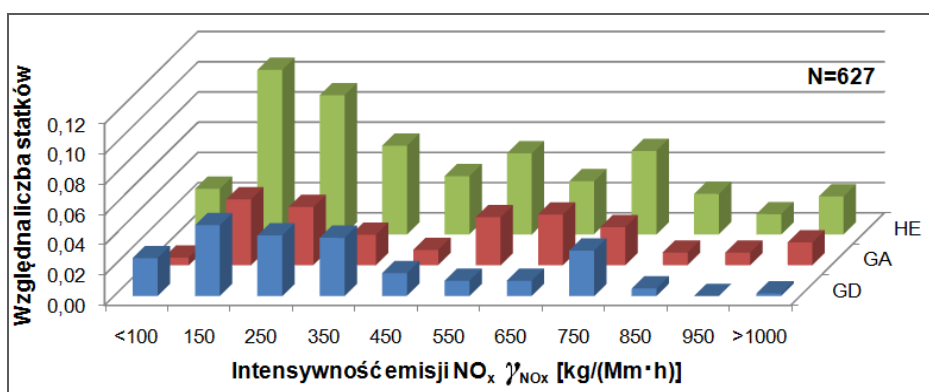


Rys. 10. Rozkład wartości natężenia emisji E_{NO_x} [kg/h] dla statków: a) wychodzących w morze przez bramkę GD, b) wychodzących w morze przez bramkę GA, c) przepływających przez bramkę HE i płynących w kierunku portów Gdańsk lub Gdynia

Znaczny udział statków o wartości natężenia emisji E_{NO_x} powyżej 200 kg/h (rys. 10) wynika z tego, że powyższy zakres natężenia emisji związany jest z silnikami rozwijającymi moc chwilową P^* powyżej 15 MW. Należy jednak zauważyć, że czas przebywania statku w rejonie każdej z bramek wynosi zaledwie kilka minut, a całkowity czas przebywania statku w analizowanym obszarze (przebywającego drogę pomiędzy poszczególnymi bramkami) wynosi w zależności od jego prędkości od około 0,5 h do 2,5 h. W związku z tym, uwzględniając długość drogi pokonywanej przez statki pomiędzy poszczególnymi bramkami, bardziej celowym wydaje się określenie wartości emisji drogowej b_{NO_x} w kilogramach na milę morską [kg/Mm] (rys. 11) lub wartości intensywności emisji \mathcal{V}_{NO_x} w gramach na milę morską w ciągu 1 godziny [g/(Mm·h)] (rys. 12).



Rys. 11. Rozkład oszacowanej wartości emisji drogowej b_{NOx} [kg/Mm] dla statków: a) wychodzących w morze przez bramkę GD, b) wychodzących w morze przez bramkę GA, c) przepływających przez bramkę HE i płynących w kierunku portów Gdańsk lub Gdynia



Rys. 12. Rozkład oszacowanej wartości intensywności emisji γ_{NOx} [kg/(Mm·h)] dla statków: a) wychodzących w morze przez bramkę GD, b) wychodzących w morze przez bramkę GA, c) przepływających przez bramkę HE i płynących w kierunku portów Gdańsk lub Gdynia

Przeprowadzona analiza pozwoliła uzyskać przybliżony obraz natężenia ruchu statków operujących w wybranym rejonie Zatoki Gdańskiej w dowolnym czasie (w okresie jednego miesiąca, jednego tygodnia, czy kilkunastu godzin) oraz charakterystyki wskaźników emisji związków szkodliwych w ich spalinach. W analogiczny sposób, można uzyskać taki obraz natężenia ruchu jednostek pływających i charakterystykę emisji szkodliwych składników ich spalin dla dowolnego okresu, w dowolnym rejonie Zatoki Gdańskiej, także w portach, co może być szczególnie istotne dla oceny zanieczyszczenia powietrza przez spaliny silników okrętowych w rejonach aglomeracji miejskich.

5. ZAKOŃCZENIE

Opracowany mezoskalowy model ruchu statków pozwala wyznaczać wskaźniki i charakterystyki emisji związków szkodliwych w spalinach statków. Model ten oraz jego implementacja komputerowa dają podstawy do dalszych badań nad dyspersją i imisją zanieczyszczeń w rejonach nadmorskich aglomeracji miejskich. Dokładniejsze wyznaczanie tych wskaźników i charakterystyk wymaga uwzględnienia pozostałych składowych wymienionych w pkt. 1 składowych systemu modeli (modeli wiatru, modeli głębokości i stanu morza i prądów morskich) oraz informacji o stanie technicznym silników głównych i pędników śrubowych.

Model i opracowane na jego podstawie wskaźniki dają również możliwość oceny sposobu wykorzystania układów napędowych statków oraz intensywności wykorzystania torów podejściowych do portów.

Bibliografia

1. Markiewicz M.: *Modelowanie rozprzestrzeniania się gazów cięższych od powietrza*. Wykład w Instytucie Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007
2. Gronowicz J.: *Ochrona środowiska w transporcie lądowym*. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2003
3. Chłopek Z.: *Modelowanie procesów emisji spalin w warunkach eksploatacji trakcyjnej silników spalinowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
4. Pawlak M., Piaseczny L.: *Evaluation of suitability of existing harmful compounds dispersion models for assessment of land pollution with marine engines exhaust gases*. Silniki Spalinowe/Combustion Engines, No. 2007-SC3, p. 62 – 71.
5. Pawlak M., Piaseczny L.: *Modele symulacyjne ruchu jednostek morskich*. Konstrukcja, badania, eksploatacja, technologia pojazdów samochodowych i silników spalinowych. Teka Komisji Motoryzacji. Oddziału PAN w Krakowie, Zeszyt Nr 33-34, s.325 – 334, Kraków 2008.
6. Pawlak M., Piaseczny L.: *Modelowanie ruchu jednostek morskich dla określania emisji związków toksycznych spalin*. Czasopismo Techniczne, z. 7-M/2008, Zeszyt 11/2008, s.319 - 332, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2008.
7. Pawlak M., Piaseczny L.: *Mathematical Models of Vessels Movement for the Determination of Toxic Compounds Emission*. Polish Journal of Environmental Studies. Vol.18, No. 2A, 2009, pages:187 – 194.
8. Piaseczny L., Kniaziewicz T.: *Symulacyjny model emisji związków toksycznych w spalinach ze statków morskich pływających po określonym akwenie*. Zeszyty Naukowe AMW, Nr 178A, Gdynia 2009, str. 239-244.
9. Pawlak M.: *Modelowanie emisji związków szkodliwych w spalinach silników statków w rejonie Zatoki Gdańskiej*, Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, 2009.

MESOSCALE MODELS OF MARINE VESSELS MOVEMENT FOR EXHAUSTS EMISSION ESTIMATION

Abstract: In the paper there are examined aspects of application of mesoscale marine vessels movement models to estimate factors and characteristics of emission of pollutants present in their exhausts. There were given values of the model parameters computed on the basis of the data from the identification system of vessels movement in the Gdansk Bay region.

Keywords: modelling, movement, ships, exhausts, emission