

MODELOWANIE NUMERYCZNE I SYMULACJA RUCHU STATKU W KSZTAŁCENIU KADRY MORSKIEJ

NUMERICAL MODELING AND SIMULATION OF VESSEL MOVEMENT IN THE TRAINING OF MARINE STAFF

Marcin Szczepanek

Akademia Morska w Szczecinie
Wydział Mechaniczny,
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin
e-mail: m.szczepanek@am.szczecin.pl

Piotr Nikończuk

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
Wydział Techniki Morskiej i Transportu,
Al. Piastów 41, 71-065 Szczecin
e-mail: piotr.nikonczuk@zut.edu.pl

Abstract: The share and the meaning of numerical modeling and computer simulations has been increasing in the educational process of marine staff. It refers to both engineers and operators. Simulation results often allow to present and show unmeasurable phenomena or phenomena difficult to measure to the educated staff. The paper presents a simulation model for a sea vessel movement. Simulations enable changes to be observed and the identification of the vessel dynamics as an object of course control. The presented model allows also for tracking how forces and torques affecting the hull change divided into direction and source.

Key words: educational process of marine staff, simulation model for a sea vessel movement.

Wprowadzenie

W procesie kształcenia wysoko wykwalifikowanej kadry morskiej ważnym elementem jest zrozumienie wielu zjawisk fizycznych występujących w trakcie eksploatacji statku morskiego. Część zjawisk jest mierzalna i wręcz intuicyjna, natomiast część z nich jest trudna do weryfikacji w warunkach laboratoryjnych. Jednym z takich zjawisk jest dynamika kadłuba statku jako obiektu sterowania kursem. Dla utrzymania statku na zadanym kursie, prowadzenia jednostki po zadanej trajektorii lub wykonania manewru w sytuacji kolizyjnej niezbędna jest znajomość własności dynamicznych statku.

Statek jako obiekt sterowania kursem

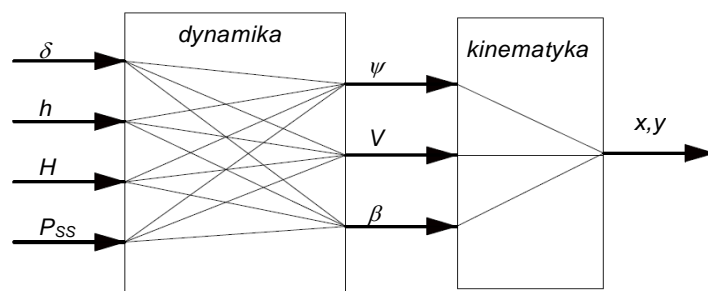
Na statek podczas rejsu oddziałują różne zakłócenia (wiatr, falowanie i prądy morskie)

powodując poruszanie się statku z kątem dryfu w kierunku innym niż zamierzony oraz zmianę jego kursu.

Statek, podczas eksploatacji, jako obiekt regulacji zmienia swoją dynamikę. Parametry dynamiki statku uzależnione są od wielu czynników, między innymi: stanu załadowania, rozmieszczenia ładunku, jego prędkości, warunków pogodowych, akwenu na którym się znajduje, stanu czystości poszycia zewnętrznego kadłuba. Dodatkowo jest on wielowymiarowym obiektem sterowania o kilku wielkościach wejściowych takich jak: wychylenie steru δ , położenie dźwigni paliwowej h , skok śruby nastawnej H , napór steru strumieniowego P_{SS} , oraz kilku wyjściowych wielkościach wyjściowych: kurs ψ , prędkość V , kąt dryfu β . Pomędzy wielkościami wejściowymi i wyjściowymi istnieją współzależności, które są opisane silnie nieliniowymi równaniami różniczkowymi [5, 13]. Wyznaczenie spólczyn-

ników dla tych zależności jest pracochłonne i wymaga odpowiednich prób lub badań modelowych [5, 7]. Części współczynników nie jesteśmy opisać w postaci zależności matematycznych, w takich przypadkach wartości są stabelaryzowane lub modelowane z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji [6]. Na rys. 1 przedstawiono graficzną interpretację współzależności poszczególnych para-

metrów wejściowych oraz wyjściowych dynamiki statku. Bardzo często do opisu tych zależności stosuje się bezwymiarowe współczynniki otrzymywane na podstawie badań modelowych [4, 5, 14]. Kinematyka statku opisana jest zależnościami układów współrzędnych związanych z geometrią statku oraz z kulą ziemską.



Rys. 1. Statek jako wielowymiarowy obiekt sterowania

Dynamika statku

Przy badaniu sterowności statku rozważania opierają się na równaniach różniczkowych płaskiego ruchu okrętu. Sumy składowych sił wzdłuż osi współrzędnych X, Y oraz momentów M opisane są ogólnie znanymi równaniami. W celu doboru nastaw regulatora stanowiącego funkcję autopilota korzysta się z liniowej postaci opisu dynamiki statku. Często dla celów syntezy układów sterowania i ich zastosowań w praktyce prowadzi się uproszczoną analizę własności dynamiki statku, traktując poszczególne układy jako niezależne. Dla potrzeb sterowania kursem statku ψ w uproszczonym układzie regulacji zakłada się, że prędkość statku V jest stała, a wielkością sterującą jest kąt wychylenia płetwy sterowej δ , otrzymuje się uproszczoną transmitancję zmiany kursu statku ψ w funkcji wychylenia płetwy sterowej δ :

$$\frac{\psi(s)}{\delta(s)} = \frac{k_N}{s(1+sT_N)} \quad (1)$$

gdzie:

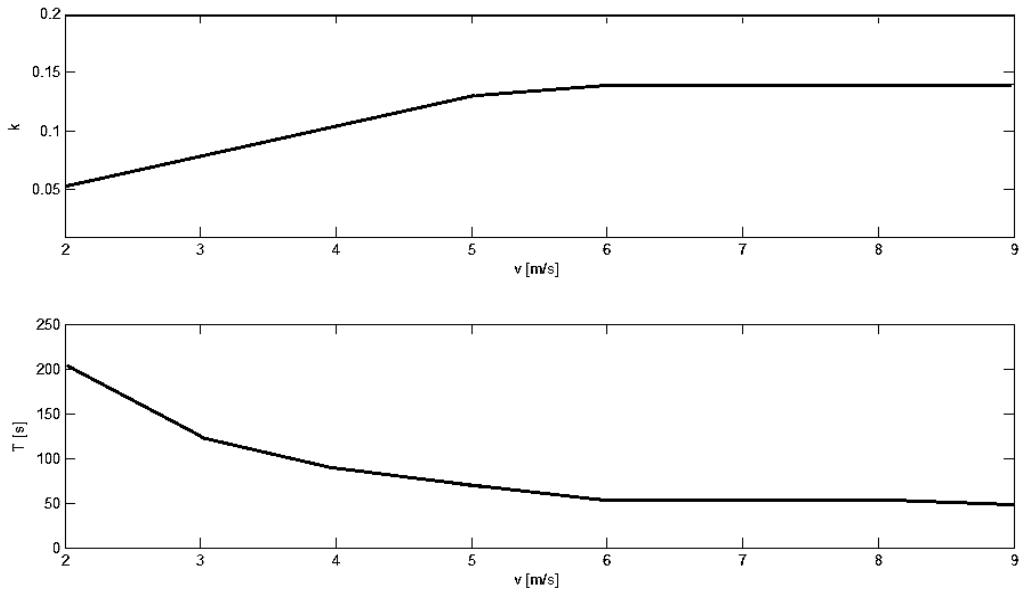
s jest operatorem Laplace'a.

Równanie (1) nosi nazwę liniowego modelu Nomoto pierwszego rzędu [5]. Współczynniki k_N i T_N równania są odpowiednio wzmocnie-

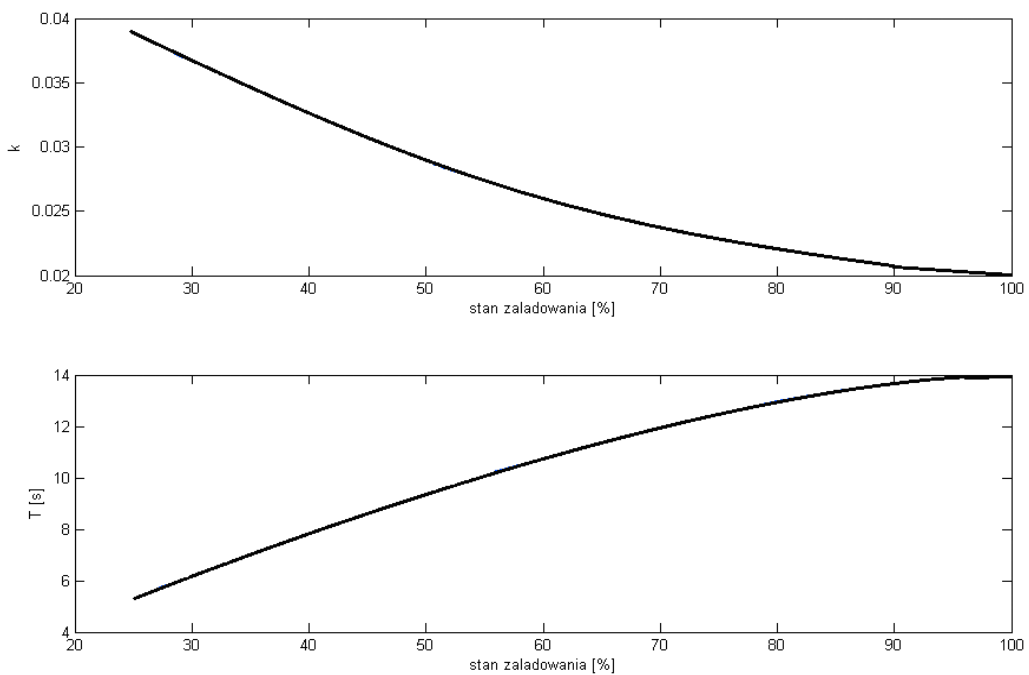
niem oraz stałą czasową elementu inercyjnego, natomiast w teorii okrętu nazywane są często wskaźnikami Nomoto [4]. Wartości tych współczynników są zmienne i zależą od wielu czynników [7], między innymi od: kąta wychylenia steru δ , kąta dryfu β , prędkości statku V , typu statku, stanu załadowania statku, własności hydrodynamicznych statku, stanu morza, rodzaju akwenu, itp.

Ze wzrostem prędkości statku V wzmocnienie k_N rośnie, natomiast maleje stała czasowa inercji T_N . Na rys. 2 przedstawiono wykresy zmian omawianych parametrów w funkcji prędkości statku.

Wraz ze wzrostem kąta wychylenia płetwy sterowej wartości wzmocnienia k_N zwiększają się, natomiast maleje stała czasowa T_n . Duży wpływ na transmitancję statku ma stan jego załadowania i rozmieszczenie ładunku, zmieniające moment bezwładności statku względem pionowej osi Gz. Zmiany współczynników transmitancji dla drobnicowca typu B-54 przedstawia rys. 3. Wykres sporządzono dla kąta wychylenia płetwy sterowej $\delta = 20^\circ$ oraz prędkości $V = 8,2$ m/s [7].



Rys. 2. Współczynniki k_N i T_N w funkcji prędkości dla kontenerowca

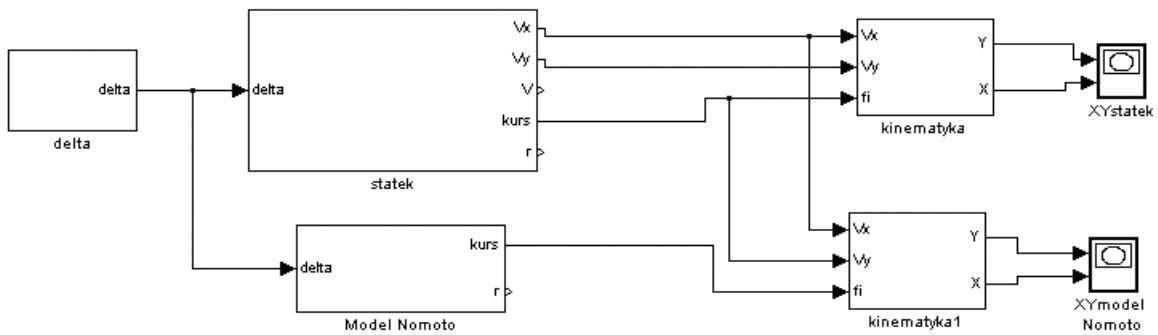


Rys. 3. Zależność k_N i T_N w funkcji stopnia załadowania dla drobnicowca typu B-54 [7]

Model symulacyjny

W środowisku MATLAB-Simulink został opracowany model symulacyjny ruchu statku. Jest on oparty na nieliniowych równaniach różniczkowych opisujących dynamikę statku.

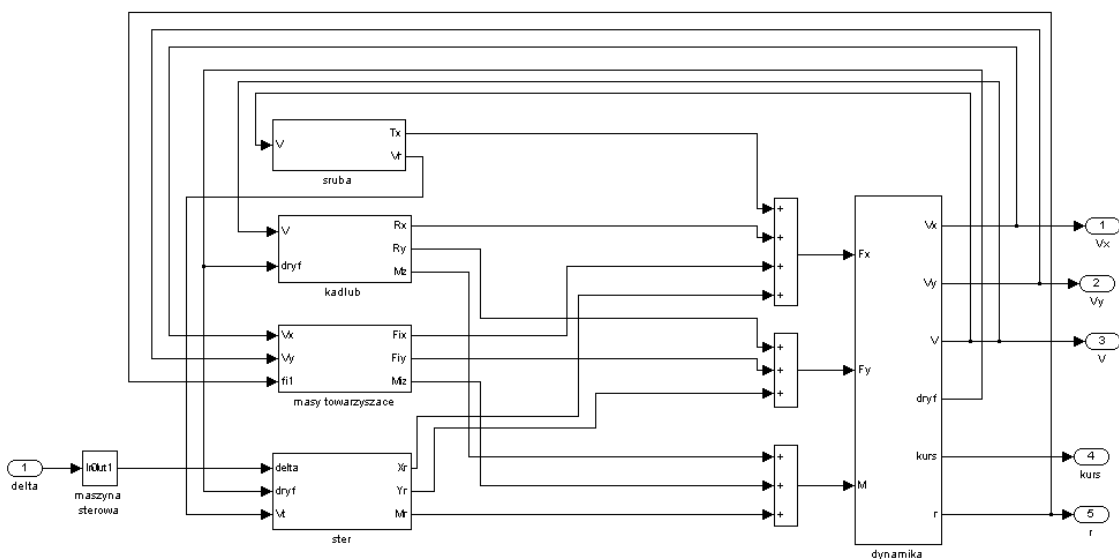
Rozpatrywane są siły i momenty oddziałujące na kadłub jednostki pływającej. Schemat blokowy modelu symulacyjnego przedstawia rys. 4. Blok statek składa się z pięciu modułów: śruba, kadłub, masy towarzyszące, ster oraz dynamika.



Rys. 4. Model symulacyjny statku

Poszczególne elementy bloku statek przedstawia rys. 5. W modelu pędnika przyjęto, że zadaną wartością jest wychylenie dźwigni paliwowej na podstawie bieżącej oraz zadanej prędkości. Silnik główny został zamodelowany jako element inercyjny pierwszego rzędu [7]. Model symulacyjny uwzględnia również interakcje pomiędzy poszczególnymi elementami statku. Na wyjściu modułu śruba oprócz siły naporu pędnika otrzymywana jest również chwilowa wartość prędkości strumienia wody za pędnikiem, która jest wartością wejściową dla modułu ster, gdzie obliczane są wartości sił i momentu pochodzących od steru. Siły i moment od steru uzależnione są również od kąta dryfu. W module ster uwzględniono

również ograniczenie maksymalnego wychylenia steru oraz prędkości wychylenia steru. Sumy sił i momentów są wartościami wejściowymi dla bloku dynamika. W członie tym obliczane są wartości prędkości wzdłużnych i kątowej statku morskiego. Na podstawie wartości z bloku statek w module kinematyka obliczane są współrzędne bieżącej pozycji statku w układzie współrzędnych związanym z kulą ziemską. Równoległe z blokiem statek połączony jest moduł Model Nomoto, będący liniową postacią statku opisaną transmitancją (1). Moduł ten pozwala na tworzenie i weryfikację liniowego modelu Nomoto statku.

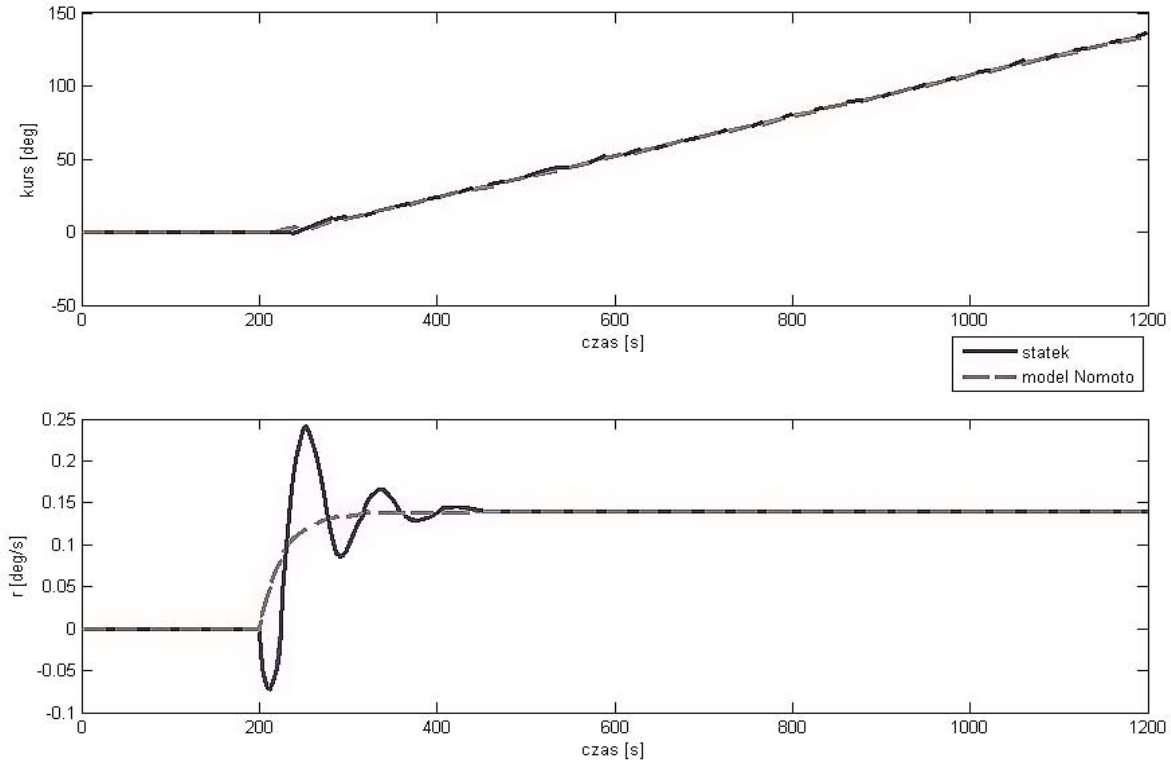


Rys. 5. Elementy bloku STATEK

Identyfikacja dynamiki statku

W oparciu o powyżej opisany model można wyznaczyć współczynniki liniowego modelu statku danego równaniem (1). Za pomocą modelu nieliniowego można określić oraz zweryfikować wartości współczynników

Nomoto dla różnych prędkości statku oraz kątów wychylenia steru. Podczas weryfikacji można prześledzić zmiany kąta kursowego i prędkości kątowej bryły statku oraz jego liniowych modeli. Na rys. 6 przedstawiono przykładowy przebieg zmian wspomnianych parametrów.



Rys. 6. Kurs i prędkość zmiany kursu statku i modelu Nomoto dla $\delta=10^0$

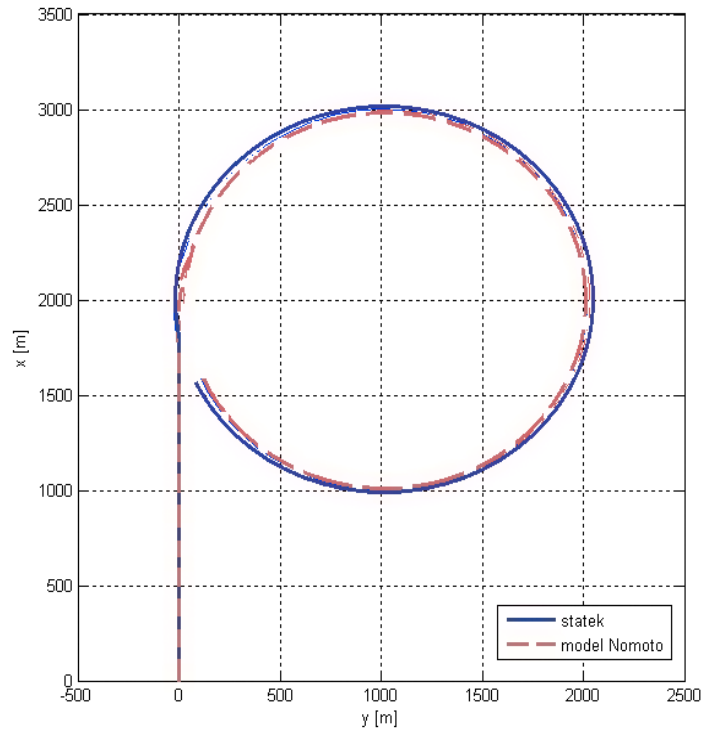
Oprócz zmian prędkości kąta kursowego można również obserwować przebytą trajektorię statku oraz jego liniowego modelu Nomoto.

Przy poprawnie dobranych parametrach modelu liniowego, pomimo różnicy prędkości kątowych w okresach przejściowych statku i jego modelu liniowego kurs statku oraz przebyte trajektorie niewiele się różnią między sobą. Rys. 7 przedstawia przebyte trajektorie statku oraz jego liniowego modelu.

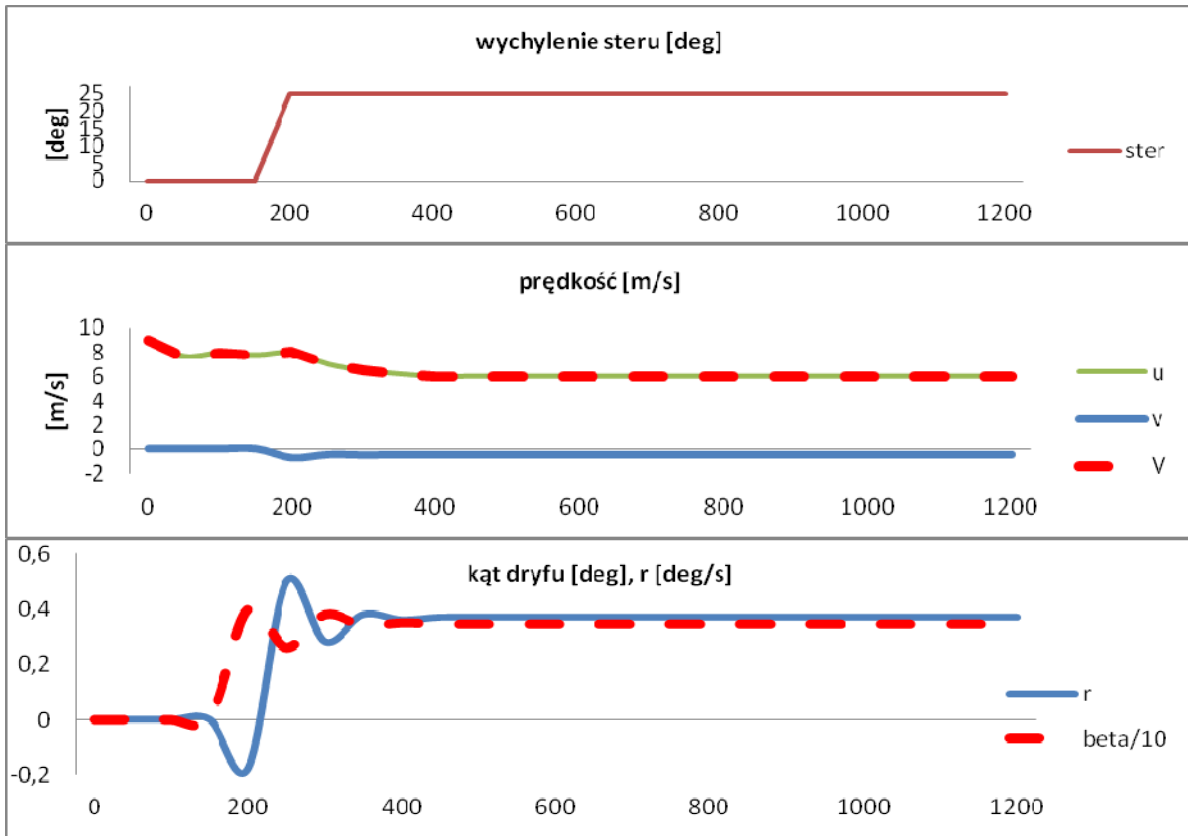
Opracowany model symulacyjny pozwala również na obserwację zmian wielu

parametrów statku takich jak: składowych oraz wypadkowej prędkości ruchu, kąta dryfu, prędkości zmian kursu. Na rys. 8 przedstawiono przykładowy przebieg zmian wspomnianych parametrów dla kontenerowca.

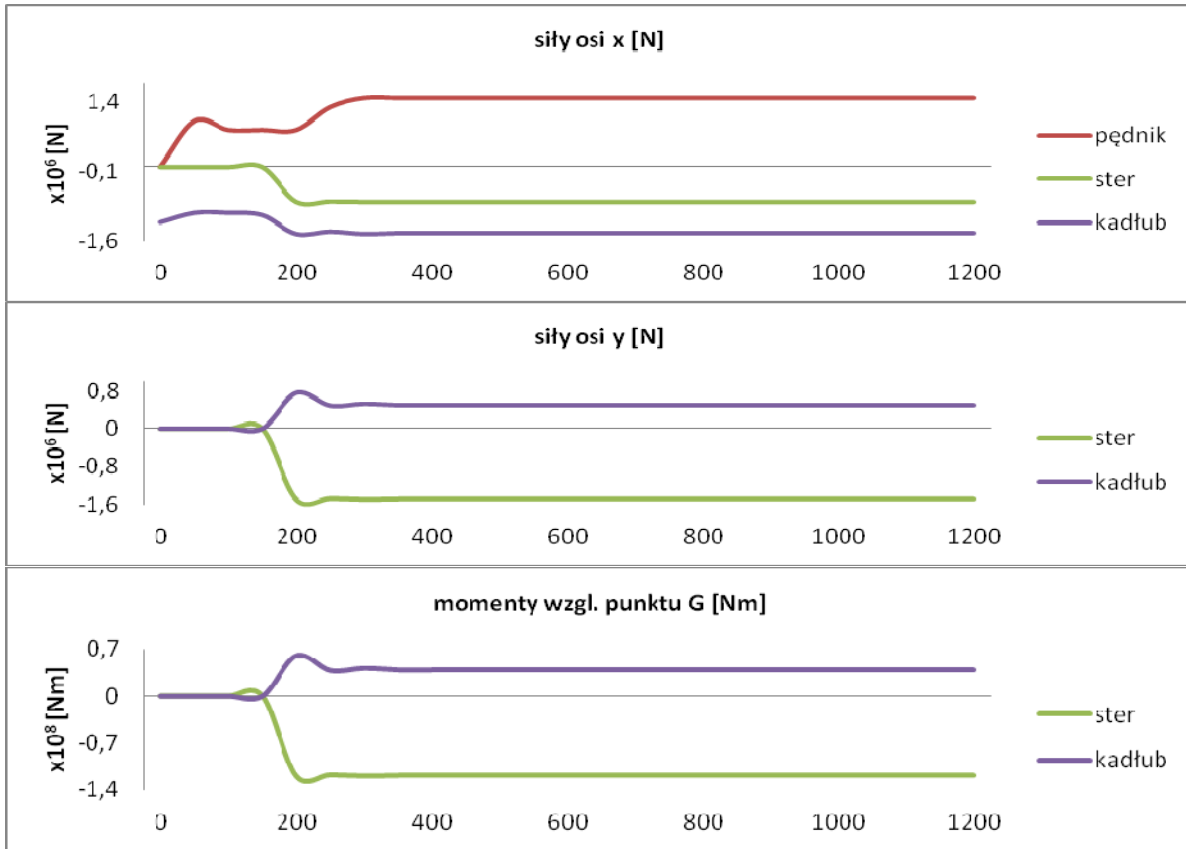
Model symulacyjny pozwala na analizę poszczególnych wartości sił i momentów oddziałujących na kadłub statku. Na rys. 9 przedstawiono zmiany tych wartości z podziałem na źródła oddziaływania tj. ster, pędnik oraz masy wody towarzyszącej.



Rys. 7. Przebyta droga podczas próby cyrkulacji przy wychyleniu płetwy $\delta = 25^{\circ}$



Rys. 8. Przebieg wychylenia płetwy sterowej składowych prędkości wzdłużnych i zmiany kursu oraz kąta dryfy



Rys. 9. Przebiegi zmian sił i momentów pochodzących z różnych źródeł

Podsumowanie

Powyższy model symulacyjny ruchu statku stanowi przykład stosowania modeli numerycznych oraz symulacji w procesie kształcenia kadry morskiej. Stosowanie technik modelowania numerycznego pozwala często uzmysłowić studentom naturę zjawiska, w omawianym przypadku dynamikę statku. Symulacje komputerowe pozwalają również na analizę niemierzanych lub trudno mierzalnych parametrów jak na przykład siły czy momenty oddziałujące na kadłub statku, a w szczególności pochodzące na od masy wody towarzyszącej.

Modelowanie i obserwacja składowych elementów zjawiska, takich jak siły i momenty oddziałujące na kadłub statku pozwala na określenie rzędu tych wartości. Obliczenia takie są wręcz nieodzownym elementem kształcenia inżynierów o profilu projektowanie okrętów. Model numeryczny pozwala również na symulacje związane eksploatacją statku morskiego. Symulowanie trajektorii ruchu statku [12] lub próby cyrkulacji statku pozwala przyszłym eksploatacjom na określenie promienia cyrkulacji statku w zależności od kąta wychylenia

steru, a także określenie minimalnego promienia cyrkulacji jednostki pływającej. Zrozumienie dynamiki statku jest jednym z elementów kształcenia załóg morskich [11].

Przedstawiony model symulacyjny stanowi tylko fragment wykorzystania technik symulacyjnych w procesie kształcenia kadry morskiej. Istnieje wiele narzędzi do tworzenia modeli numerycznych, które mogą być doskonałym narzędziem w procesie edukacji. Jednym z takich narzędzi jest modelowanie CFD, które pozwala na obliczenia wizualizację skomplikowanych zjawisk związanych z mechaniką płynów [1, 2, 3]. Użytecznym narzędziem są również sztuczne sieci neuronowe do modelowania zjawisk lub kondycji technicznych [6, 8].

Modelowanie numeryczne jest również doskonałym narzędziem w kształceniu zdalnym. Tworzenie kursów oraz weryfikacja wiedzy w procesie nauczania na odległość pozwala zarówno na kształcenie jak i aktualizację i weryfikację wiedzy kadry morskiej [9, 10]. Ciągłe kształcenie kadry ma znaczny wpływ na poprawę jakości i bezpieczeństwa w eksploatacji statków morskich.

Bibliografia

1. Abramowski T., Żelazny K., Szelangiewicz T., *Numerical analysis of effect of asymmetric stern of ship on its screw propeller efficiency*, Polish Maritime Research 4(67) 2010 Vol 17; pp. 13-16.
2. Abramowski T., *Numerical Investigation Of Airfoil In Ground Proximity*, Journal of Theoretical And Applied Mechanics 45, 2, pp. 425-436.
3. Abramowski T., *Prediction Of Propeller Forces During Ship Maneuvering*, Journal of Theoretical And Applied Mechanics 43, 1, pp. 157-178.
4. Dudziak J., *Teoria okrętu*. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1988.
5. Fossen T.I., *Guidance and control of ocean vehicles*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester 1994.
6. Królikowski T., Nikonczuk P., Przybylski M., *Neural model of wind force coefficients affecting the hull*, International Journal of Applied Mechanics and Engineering, vol. 17 2012 pp.867-871.
7. Lisowski J., *Statek jako obiekt sterownia automatycznego*. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1981.
8. Łosiewicz Z., Nikończuk P., Królikowski T., *Ogólna koncepcja neuronowego systemu eksperckiego identyfikacji stanu technicznego okrętowego silnika głównego*, Logistyka 09/2014; 2014(3):3987-3991.
9. Nikończuk P., Pielka D., *Komputerowe testy adaptatywne*, I Konferencja „Nowe technologie w kształceniu na odległość”, Materiały konferencyjne Koszalin, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2005, s. 185-188.
10. Nikończuk P., Pielka D., *Kształcenie kadr morskich na odległość w kontekście konwencji STCW78/95*, II Krajowa Konferencja Naukowa „Nowe technologie w kształceniu na odległość”, Materiały konferencyjne Koszalin –Osieki 2006, s. 57-59.
11. Nikończuk P., *Kompetencje załóg morskich według IMO pozwalające na optymalizację procesów sterowania statkiem morskim*, Krajowe Sympozjum Dydaktyczno-Naukowe Kształcenie Kadr Morskich, Gdańsk, 22 czerwca 2006.
12. Nikończuk P., Królikowski T., *Śledzenie odporne trajektorii ruchu statku*, Logistyka 6/2011, s. 3043-3049.
13. Perez T., *Ship Motion Control*, Springer-Verlag, London 2005.
14. Volker B., *Practical ship hydrodynamics*. Butterworth-Heinemann, Oxford 2000.