

Teresa Abramowicz-Gerigk¹, Zbigniew Burciu²
Akademia Morska, Wydział Nawigacyjny

Analiza bezpieczeństwa manewrów krytycznych kontenerowca o maksymalnych wymiarach z wykorzystaniem sieci bayesowskich

WPROWADZENIE

Rosnący popyt na przewozy towarów kontenerami wymusza na armatorach budowę statków o większej ładowności. Powoduje to, że porty nieprzystosowane do obsługi dużych statków zmuszone są do modernizacji infrastruktury portowej, budowy nowych nabrzeży, pogłębiania torów podejściowych, kanałów i basenów portowych. Określany jest zakres przebudowy, wielkość maksymalnego statku, jaki będzie mógł zawijać do portu, okno dopuszczalnych warunków pogodowych i wymagana moc holowników portowych.

Najtrudniejsze zadanie stanowi zapewnienie odpowiedniej przestrzeni do wykonywania manewrów statku wewnątrz portu, przede wszystkim akwenów o rozmiarach umożliwiających obracanie statku. Uwzględnia się przy tym procedury manewrowe obracania statku z wykorzystaniem obrotnic i basenów portowych sąsiadujących z obrotnicą [7], [9], [10]. Do weryfikacji założeń projektowych w odniesieniu do przebudowy i powiększenia przestrzeni manewrowej stosuje się symulację komputerową. Decyzje dotyczące przebudowy podejmuje się w oparciu o ocenę bezpieczeństwa statku o maksymalnych parametrach dla zaprojektowanej infrastruktury [1], [2], [3], [4].

W artykule zaproponowano ocenę bezpieczeństwa manewrów krytycznych - decydujących o sukcesie operacji portowych statku maksymalnego, w oparciu o analizę ryzyka z wykorzystaniem sieci bayesowskich [5], [6], [8]. Sieć bayesowską i bayesowskie diagramy wpływu wykorzystywane do oceny ryzyka przedstawiono na przykładzie Portu Gdynia.

Obecnie do portu w Gdyni mogą być wprowadzane jednostki o długości nieprzekraczającej 280 m i zanurzeniu nie większym niż 13 m. Armatorzy operujący na Bałtyku planują wprowadzenie do eksploatacji większej niż obecnie liczby statków o wymiarach przekraczających parametry statku maksymalnego dla tego portu. Zmusza to Zarząd Morskiego Portu Gdynia do rozważenia modernizacji posiadanej infrastruktury.

Na rysunku 1 przedstawiono plan Portu Gdynia po przebudowie zakończonej w 2011 roku, z zaznaczonymi etapami pogłębiania basenów portowych w ramach projektu „Przebudowa Kanału Portowego w Porcie Gdynia”, współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Programu Infrastruktura i Środowisko.

Port Gdynia dysponuje trzema obrotnicami o średnicach 500 m, 385 m i 400 m. Przy zapewnionej bezpiecznej głębokości akwenów, jedynie obrotnica nr 1 położona w awanporcie umożliwia obracanie statków o długości powyżej 300 m. Obrotnice nr 2 i 3, położone bliżej planowanego miejsca cumowania dużych kontenerowców, zgodnie z obowiązującymi przepisami, umożliwiają obracanie statków o długościach odpowiednio 200 m i 250 m.

Przy ustalaniu wymiarów statku maksymalnego, dla możliwego zakresu przebudowy portu, obejmującego pogłębienie kanałów portowych do głębokości 15,5 m i powiększenie obrotnicy nr 2 do 490 m, wzięto pod uwagę kontenerowce typu Post panamax i New panamax o pojemności od 5000 TEU (ang. twenty feet equivalent unit – jednostka pojemności równoważna objętości standardowego kontenera o długości 20 stóp) do 14500 TEU, długości statku od 300 m do 366 m, szerokości 39,5 m do 49 m i zanurzeniu od 13 m do 15 m.

¹ tagerigk@am.gdynia.pl

² zbj@am.gdynia.pl



Rys. 1. Plan Portu Gdynia.

Źródło: [11].

1. MANEWRY KRYTYCZNE

Manewry decydujące o sukcesie operacji portowych, definiowane jako manewry krytyczne, wpływają zarówno na bezpieczeństwo wykonania złożonego zadania nawigacyjnego jak i jego efektywność. Manewry te związane są z decyzją kapitana statku - procesem polegającym na zbieraniu i przetwarzaniu informacji o przyszłym działaniu [1] **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania..**

Analizę ryzyka tych manewrów przeprowadzono w odniesieniu do systemu statek-port (SP), który można przedstawić w postaci złożenia 8 uporządkowanych elementów (1).

$$SP = \langle KP, KS, P, H, IP, WI, SIP, WN \rangle \quad (1)$$

gdzie:

- KP - kapitan portu,
- KS - kapitan statku,
- P - pilot
- H - holowniki portowe,
- IP - infrastruktura portowa,
- WI - wymiana informacji pomiędzy kapitanem statku, pilotem i kapitanami holowników,
- SIP - oddziaływania pomiędzy statkiem i infrastrukturą portową,
- WN - warunki nawigacyjne.

Przyjęto, że stany intencjonalne systemu SP, dla operacji wejścia i wyjścia z portu opisuje sekwencja manewrów, wykonywanych kolejno na przypisanych do nich akwenach. Etapy wejścia statku do portu obejmują przejście torem podejściowym, wejście w główki portu, przejście przez baseny portowe, obrót statku, ruch wstecz i podejście do nabrzeża. Wyjście z portu oznacza odejście od nabrzeża, przejście przez baseny portowe, wyjście z główek portu, przejście torem podejściowym. W zależności od ukształtowania toru podejściowego, kanałów i basenów portowych, mogą one stanowić złożone zadania manewrowe lub proste manewry, takie jak ruch prostoliniowy, obrót i ruch poprzeczny.

Stan intencjonalny systemu SP, w którym charakterystyki bezpieczeństwa (prawdopodobieństwo awarii, ryzyko awarii) przyjmują wartości zbliżone do granicznych, jest definiowany, jako manewr krytyczny. Wykonanie tego manewru wpływa na zmniejszenie nieokreśloności sytuacji nawigacyjnej [1].

Dla rozpatrywanego statku maksymalne manewry krytyczne stanowią: obracanie statku, holowanie wstecz i wprowadzanie do basenu portowego lub śluzy w trudnych warunkach pogodowych [7]. Obracanie statku jest operacją wymaganą podczas wprowadzania do portu, ze względu na wymagane ustawienie przy nabrzeżu dziobem w kierunku wyjścia.

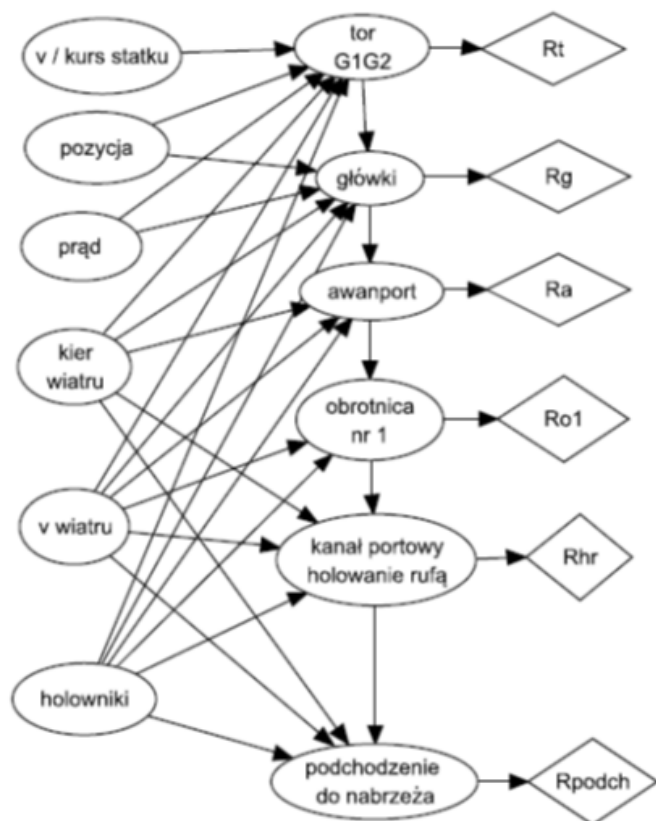
Przyjmując, że wykonanie kolejnego manewru jest możliwe po bezpiecznym wykonaniu manewrów wcześniejszych, można dla przyjętych warunków zewnętrznych i założonych metod redukcji ryzyka obliczyć prawdopodobieństwo bezpiecznego wykonania kolejnych manewrów i ryzyko wystąpienia zdarzenia niepożądanego.

2. ANALIZA RYZYKA MANEWRÓW PORTOWYCH Z WYKORZYSTANIEM SIECI BAYESOWSKICH

Ocena wpływu czynników decydujących o bezpieczeństwie systemu oraz zastosowanych metod i środków redukcji ryzyka wymaga opracowania modelu uwzględniającego scenariusze występujących zagrożeń. W artykule zaproponowano model ryzyka systemu statek-port oparty na sieci bayesowskiej i symulacji komputerowej zachowania się statku podczas wejścia do portu w różnych warunkach pogodowych. Przy wyborze kierowano się głównie przejrzystą strukturą sieci, możliwością obliczania ryzyka w warunkach niepewności oraz stosowania zmiennych jakościowych i ilościowych w jednym modelu.

Sieć bayesowska podaje probabilistyczną zależność pomiędzy zmiennymi, z których każda posiada określoną liczbę stanów oraz przypisaną jej funkcję opisującą prawdopodobieństwo warunkowe jej wystąpienia od stanu zmiennych, od których zależy, w postaci tablicy prawdopodobieństwa.

Na rysunku 2 przedstawiono sieć bayesowską do oceny ryzyka awarii podczas manewrów krytycznych, występujących przy wprowadzaniu dużego kontenerowca do Portu Gdynia, przy założeniu, że obrót statku zostanie wykonany na obrotnicy nr 1.



Rys. 2. Sieć bayesowska do oceny ryzyka awarii podczas wprowadzania kontenerowca do Portu Gdynia, Rt – ryzyko awarii podczas przejścia statku torem podejściowym, Rg – ryzyko awarii w rejonie wejścia do portu, Ra - ryzyko awarii podczas przejścia statku przez awanport, Ro1 – ryzyko awarii podczas obracania statku na obrotnicy nr 1, Rhr – ryzyko awarii podczas holowania statku rufą, Rpodch – ryzyko awarii podczas podchodzenia do nabrzeża. Do budowy sieci wykorzystano program Hugin Researcher 7.0.

Źródło: opracowanie własne.

W sieci tej, przy ocenie ryzyka manewrów, uwzględniane jest prawdopodobieństwo wystąpienia wiatru o zadanych granicznych parametrach: kierunku (kier wiatru) i prędkości (v wiatru), prawdopodobieństwo wystąpienia niebezpiecznego prądu, prawdopodobieństwo wystąpienia niebezpiecznych parametrów ruchu statku - prędkości i kursu ($v / \text{kurs statku}$), prawdopodobieństwo znajdowania się statku na niewłaściwej pozycji na torze podejściowym (pozycja).

Dla zmiennych losowych oznaczających kolejne stany systemu: przejście torem podejściowym „tor G1G2”, wejście w główki portu „główki”, przejście przez awanport „awanport”, obrót na obrotnicy „obrotnica nr 1”, holowanie wstecz „kanał portowy holowanie wstecz”, podchodzenie do nabrzeża „podchodzenie do nabrzeża” na podstawie tablic rozkładu prawdopodobieństwa obliczane jest prawdopodobieństwo całkowite wystąpienia awarii. Przewidując skutki awarii na podstawie sieci przedstawionej na rys.1 można obliczyć ryzyko wystąpienia awarii systemu statek-port w każdym z jego kolejnych stanów.

3. OCENA RYZYKA MANEWRÓW KRYTYCZNYCH STATKU MAKSYMALNEGO NA PRZYKŁADZIE PORTU GDYNIA

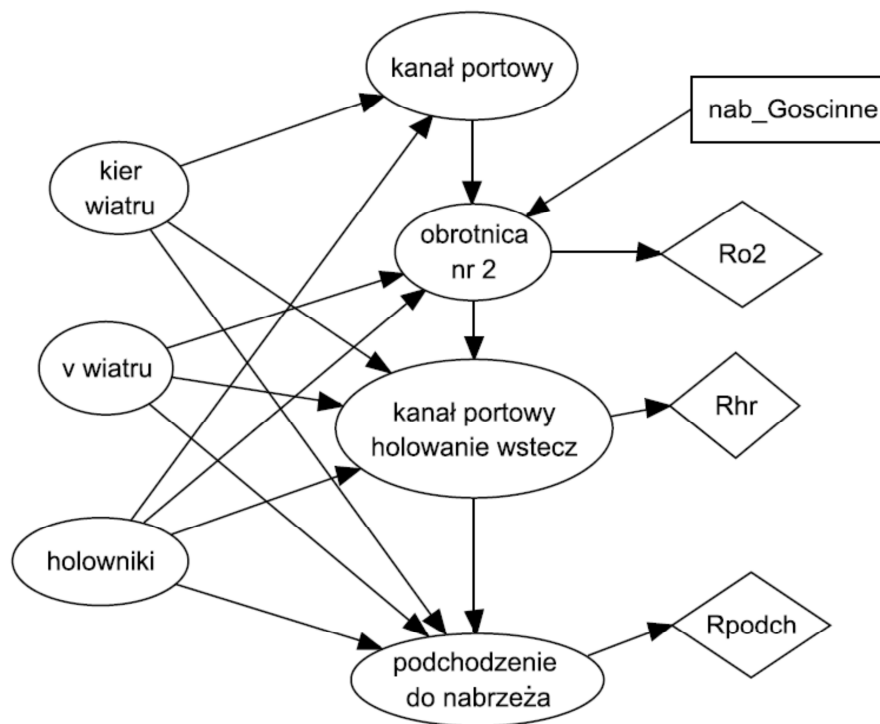
Przy ocenie ryzyka manewrów krytycznych należy uwzględnić prawdopodobieństwo wystąpienia czynników wpływających na bezpieczeństwo oraz prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń niepożądanych w stanie poprzedzającym manewr krytyczny. W rozpatrywanym przypadku skoncentrowano się na manewrach krytycznych obracania statku z wykorzystaniem dostępnych obrotnic, holowania statku wstecz i podchodzenia do nabrzeża.

W wyniku przeprowadzonej wstępnej analizy opartej na symulacji komputerowej manewrów portowych [4] otrzymano następujące wnioski:

- Badane statki mogą być obracane na obrotnicach z wykorzystaniem przyległych basenów portowych, w szczególności możliwy jest obrót dwuetapowy $2 \times 90^\circ$, z wykorzystaniem obrotnicy nr 3 i basenu 7.
- Obracanie analizowanych statków na obrotnicy nr 2 i na obrotnicy nr 3 jest możliwe, wymaga jednak dużej mocy holowników i wydłużenia czasu manewru. Należy określić dopuszczalny margines bezpieczeństwa uwzględniający doświadczenie pilotów portowych i zmienne warunki pogodowe.
- Najbardziej bezpieczne obracanie statków, ze względu na dostępną przestrzeń manewrową, jest możliwe na obrotnicy nr 2 znajdującej się na wejściu do basenu IV, po usunięciu nabrzeża Gościnnego, należy jednak uwzględnić trudności holowania statku wstecz. Wymaga to przeprowadzenia systematycznych badań w II etapie analizy.

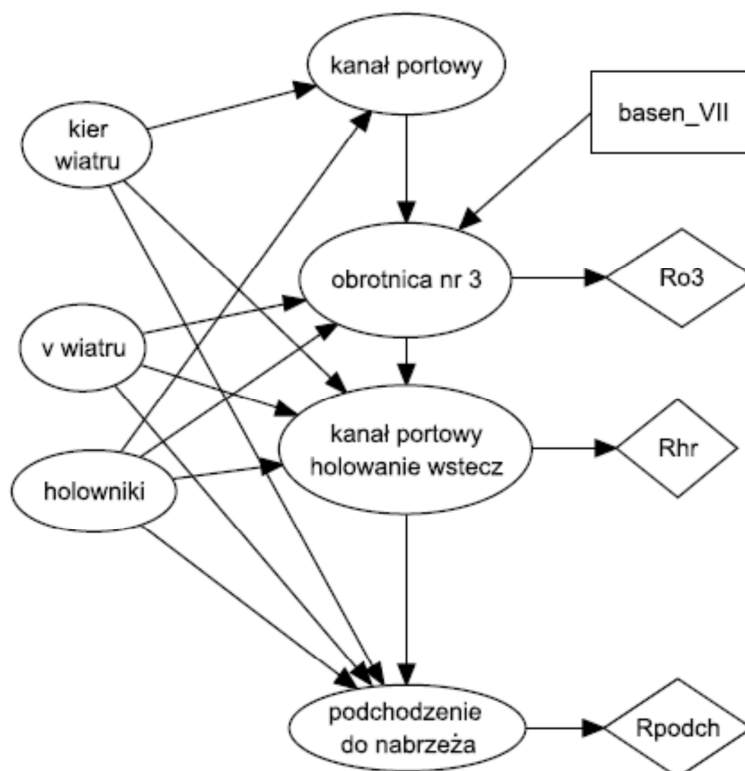
Na podstawie powyższych wniosków zaproponowano bayesowskie diagramy wpływu, przedstawione na rysunkach 3 i 4, umożliwiające ocenę bezpieczeństwa manewrów krytycznych dla 4 opcji, uwzględniających stan aktualny oraz przebudowę infrastruktury portowej i zaproponowane nowe procedury manewrowe.

Na rysunku 3 przedstawiono diagram wpływu do oceny ryzyka manewrów krytycznych przy założeniu, że statek będzie obracany na obrotnicy nr 2, z uwzględnieniem jej poszerzenia do 490 m, po podjęciu decyzji o wyburzeniu nabrzeża Gościnnego (nab_Goscinne). Przy budowie diagramu wpływu na rysunku 4 założono obrót statku na obrotnicy nr 3, z uwzględnieniem decyzji dotyczącej wykorzystania basenu VII (basen_VII).



Rys. 3. Zastosowanie sieci bayesowskiej do oceny bezpieczeństwa manewrów krytycznych podczas wejścia do Portu Gdynia - obracanie statku z wykorzystaniem obrotnicy nr 2, Ro2 – ryzyko awarii podczas obracania statku na obrotnicy nr 2, Rhr – ryzyko awarii podczas holowania statku wstecz, Rpodch – ryzyko awarii podczas podchodzenia do nabrzeża. Do budowy sieci wykorzystano program Hugin Researcher 7.0.

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4. Zastosowanie sieci bayesowskiej do oceny bezpieczeństwa manewrów krytycznych podczas wejścia do Portu Gdynia - obracanie statku z wykorzystaniem obrotnicy nr 3, Ro3 – ryzyko awarii podczas obracania statku na obrotnicy nr 2, Rhr – ryzyko awarii podczas holowania statku wstecz, Rpodch – ryzyko awarii podczas podchodzenia do nabrzeża. Do budowy sieci wykorzystano program Hugin Researcher 7.0.

Źródło: opracowanie własne.

4. WNIOSKI

Przedstawione badania związane są z I etapem analizy nawigacyjnej, zleconej Akademii Morskiej w Gdyni przez Zarząd Morskiego Portu Gdynia, w związku z przewidywaną eksploatacją kontenerowców o pojemności 12 tys. TEU i długości do 370 m.

Rozwiązanie problemu eksploatacji i zawinięć tej wielkości statków decyduje o przyszłym rozwoju ekonomicznym Portu Gdynia. Alternatywą przebudowy istniejącej infrastruktury jest kosztowna budowa portu zewnętrznego.

W oparciu o symulację komputerową dla istniejącej infrastruktury oraz dla założonego zakresu przebudowy portu określono wstępnie parametry statku maksymalnego, następnie w oparciu o przyjęte założenia dotyczące możliwych operacji manewrowych została przeprowadzona analiza ryzyka manewrów krytycznych. W dalszej części badań przewiduje się udział zespołu ekspertów - pilotów portowych i armatorów zainteresowanych współpracą z Portem Gdynia.

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę ryzyka operacyjnego manewrów krytycznych kontenerowca o maksymalnych wymiarach dla portu. Podano przykłady oceny bezpieczeństwa tych manewrów dla zakładanej modernizacji infrastruktury portowej z wykorzystaniem sieci bayesowskich. Zaprezentowano bayesowskie diagramy wpływu do oceny ryzyka w oparciu o wyniki I etapu analizy nawigacyjnej wykonywanej dla Portu Gdynia.

Słowa kluczowe: kontenerowiec, sieć bayesowska, manewry portowe, bezpieczeństwo

The analysis of safety of critical maneuvers of the maximum container ship using Bayesian networks

Abstract

The paper presents the analysis of the operational risk of critical manoeuvres of the maximum container ship for the particular port. The examples of safety assessment of these manoeuvres using Bayesian networks for the planned modernisation of the port infrastructure are described. The presented Bayesian influence diagrams have been developed on the basis of the results of the first stage of navigational analysis worked out for Port of Gdynia

Key words: container ship, Bayesian network, port maneuvers, safety.

LITERATURA

- [1] Abramowicz-Gerigk T. Bezpieczeństwo manewrów krytycznych statków w systemie transportowym autostrady morskiej. Prace Naukowe, Transport, z. 83. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012.
- [2] Abramowicz-Gerigk T., Burciu Z.: Ryzyko dynamiczne operacji manewrowych promów. Problemy Eksploatacji Nr 4/2009, str. 115-125.
- [3] Abramowicz-Gerigk T., Burciu Z.: Prediction of ship performance in the risk based DSS BEDS in Safeport European project, Journal of Konbin No 1(13)2010, Warszawa 2010, str. 7-16.
- [4] Abramowicz-Gerigk T., Burciu Z., Lizakowski P., Łukaszewicz A., Nowicki J., Pacholski M.: Raport techniczny Nr KES-2012-T1, Gdynia 2012.
- [5] Burciu Z. Bezpieczeństwo w transporcie morskim. Poszukiwanie i ratowanie SAR. Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni. Gdynia 2012.
- [6] Burciu Z. Niezawodność akcji ratowniczej w transporcie morskim. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2012.
- [7] Eloit K., Vantorre M., Verwilligen J.: Synergy between theory and practice for ultra large container ships. PIANC MMCX Congress, Liverpool UK 2010
- [8] Fooladvandi F. Signature-based activity detection based on Bayesian networks acquired from expert knowledge. M.Sc. University of Skövde, 2008.
- [9] Gucma L.: Wytyczne do zarządzania ryzykiem morskim. Wydawnictwo Naukowe A. Morskiej. Szczecin 2009.
- [10] Gucma S.: Inżynieria ruchu morskiego. Okrętownictwo Żegluga, Gdańsk 2001.
- [11] www.port.gdynia.pl