

Teresa ABRAMOWICZ-GERIGK¹, Zbigniew BURCIU²

Akademia Morska, Wydział Nawigacyjny
81-345 Gdynia, Al. Jana Pawła II 3

¹ tagerigk@am.gdynia.pl

² zbj@am.gdynia.pl

ZASTOSOWANIE SIECI BAYESOWSKIEJ W OCENIE ZAGROZEŃ PODCZAS MANEWRÓW ZŁOŻONYCH STATKU

Streszczenie:

W artykule przedstawiono sieć bayesowską, zbudowaną w oparciu o badania modelowe, symulacyjne oraz opinie ekspertów, w odniesieniu do zagrożeń występujących w czasie wykonywania przez statek sekwencji manewrów złożonych. Zaproponowana sieć umożliwia ocenę wpływu poszczególnych zagrożeń na dowolnym etapie wykonywanej sekwencji manewrów. Jako przykład przyjęto zawinięcie promu do portu Gdynia.

Słowa kluczowe: sieć bayesowska, manewry portowe, bezpieczeństwo

WPROWADZENIE

Rozwój transportu morskiego i związany z tym wzrost przewozów morskich powoduje konieczność zwiększenia efektywności istniejących systemów nadzoru ruchu statków VTS (ang. Vessel Traffic Services). Pierwszy system VTS, który zaczął działać w 1950 roku, umożliwiał jedynie obserwację obrazu radarowego akwenu i komunikację radiową. Rozwój technologii ICT (Information and communication Technology) zapewnia obecnie dostęp do bardzo dużej ilości informacji. Jej efektywne wykorzystanie związane jest z koniecznością stosowania systemów przetwarzania i konsolidacji danych oraz wspomaganie decyzji [5][13].

W Europie prowadzone są prace nad systemami doradczymi, opartymi na analizie ryzyka. Wynikiem zakończonego w 2008 roku, czteroletniego projektu europejskiego MarNIS (ang. Maritime Navigation and Information Services) [12], było opracowanie koncepcji centrum operacyjnego MOS - Maritime Operational Services, integrującego prace służb VTS, SAR (ang. Search and Rescue) - poszukiwania i ratowania życia na morzu, ratownictwa mienia i ratownictwa ekologicznego. Do identyfikacji zagrożeń związanych ruchem statków w obszarze nadzorowanym przez MOS zaproponowano wskaźnik indywidualnego ryzyka dynamicznego, przypisany do każdego statku i obliczany w oparciu o bieżące informacje przekazywane przez systemy automatycznej identyfikacji statków, systemy hydrometeorologiczne, modele rozlewów olejowych i symulacji dryfu obiektów.

W ramach projektu EfficienSea (ang. Efficient, Safe and Sustainable Traffic at Sea) [4] – prowadzone są prace wspierające europejską strategię bezpiecznego i zrównoważonego ruchu morskiego dla regionu Morza Bałtyckiego (Interreg - Baltic Sea Region Programme 2007-2013). Rozwijana jest koncepcja e-Navigation dla wybranych obszarów na Bałtyku.

Tworzony jest inteligentny, dynamiczny system wspomaganie decyzji IDiSS (ang. Intelligent Decision Support System) dla służb VTS, który ma za zadanie identyfikację zmian

poziomu ryzyka, w przypadku możliwej kolizji, wejścia na mieliznę lub gdy zachowanie się statku odbiega od przyjętej normy. System wykorzystuje zmienne w czasie informacje o ruchu statków, ich przewidywanych trasach i planach podróży, właściwościach manewrowych oraz bieżące dane hydrometeorologiczne [13].

W Projekcie SafePort (2010-2012) realizowanym w ramach inicjatywy europejskiej MATRTEC (ang. Maritime Technologies) zaproponowano system BEDS (ang. Berthing and Entry Decision Support System) [2], wspomagania decyzji dla kapitana statku i operatora służby nadzoru ruchu statków. System ten przeznaczony jest dla promów zawijających do portu Gdynia. Przy opracowywaniu systemu przyjęto następujące założenia:

- zobrazowanie informacji graficznej i tekstowej generowanej przez system na mapie elektronicznej,
- wykorzystanie do transmisji danych technologii GPRS (ang. General Packet Radio Service) – stosowanej do pakietowego przesyłania danych,
- automatyczna aktywacja systemu po zbliżeniu się promu do obszaru meldowania Kapitanatu Portu Gdynia,

Jako system bazowy do implementacji systemu w Kapitanacie Portu Gdynia i stacji VTS Zatoka Gdańska przyjęto, wykorzystywany przez VTS i Kapitanat Portu, system SWIBŻ (System Wymiany Informacji Bezpieczeństwa Żegluga).

Przy opracowaniu systemów wspomagania decyzji opartych na analizie ryzyka szczególnie istotna jest ocena wpływu zagrożeń na wypadki morskie. W systemach wspomagania decyzji, do oceny ryzyka w warunkach niepewności, powszechnie wykorzystywane są modele oparte na sieciach Bayesa [4] [7]. Przedstawiają one rozkład prawdopodobieństwa zupełnego dla zadanych zmiennych losowych. Struktura sieci i prawdopodobieństwa zdarzeń przyjmowane są na podstawie wiedzy ekspertów, pomiarów, obliczeń i danych statystycznych. Na podstawie opracowanego modelu można określić prawdopodobieństwo bezpiecznego wykonania manewru.

W artykule przedstawiono modele, które w oparciu o sieć Bayesa, umożliwiają ocenę wpływu zagrożeń na prawdopodobieństwo wypadku morskiego. Podano przykład dla wypadku wejścia statku na mieliznę oraz zaproponowano model do oceny wpływu zagrożeń na bezpieczeństwo wejścia statku do portu. Analizę wykonano dla sekwencji manewrów złożonych, przypisanych do akwenów wewnątrz portu i w jego bezpośrednim otoczeniu.

1. OCENA WPLYWU ZAGROZEŃ NA WYPADKI MORSKIE Z WYKORZYSTANIEM SIECI BAYESA

Wypadki nawigacyjne według [9] dzielą się, w zależności od skutków, na dwa typy:

- lekkie (ang. incident),
- ciężkie (ang. accident).

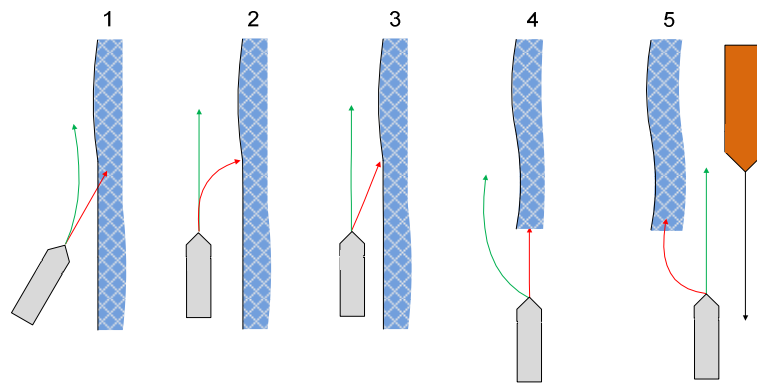
Prowadzone badania wykazują, że stosunek wypadków ciężkich do ogólnej liczby wypadków na danym akwencie nie przekracza 10%.

Do wypadków nawigacyjnych zaliczane są [8][9][10]:

- wypadki na akwenach otwartych:
 - wejście na mieliznę (rozumiane w szerokim tego słowa znaczeniu, jako niezamierzone zetknięcie kadłuba, steru czy śruby statku z dnem akwenu,
 - kolizja z innym statkiem znajdującym się na danym akwencie,
- wypadki na akwenach ograniczonych:

- wejście na mieliznę,
- uszkodzenie kadłuba podczas kontaktu statku z brzegiem (powstałe podczas uderzenia statku w element brzegowy, przy którym głębokość akwenu jest większa od zanurzenia statku),
- uszkodzenie konstrukcji hydrotechnicznych lub portowych przez kontakt bezpośredni statku lub jako efekt działania strumienia zaśrubowego,
- uszkodzenie holownika współuczestniczącego w manewrowaniu,
- uszkodzenie pływającego znaku nawigacyjnego,
- kolizja z innym statkiem znajdującym się na danym akwenu (statki przycumowane do nabrzeża, na kotwicy lub w ruchu).

Aby ocenić wpływ zagrożeń powodujących wypadek morski rozpatruje się możliwe scenariusze wypadku. Na rysunku 1 podano przykłady scenariuszy dla wypadku wejścia statku na mieliznę.



Rys. 1. Scenariusze wejścia na mieliznę.

Źródło: [3][14].

Wyróżnia się dwa rodzaje wypadku morskiego tego typu [6][3]:

- wejście statku na mieliznę na silniku – zdarzenie, podczas którego statek kieruje się niebezpiecznym kursem, w wyniku błędu ludzkiego lub awarii technicznej, mimo że jest w stanie płynąć kursem bezpiecznym,
- wejście statku na mieliznę na skutek dryfowania – zdarzenie, podczas którego wejście na mieliznę spowodowane zostało niemożnością podążania statku bezpiecznym kursem w wyniku awarii maszyn, niesprzyjających warunków hydrometeorologicznych, utraty kotwicy lub braku asysty holowniczej.

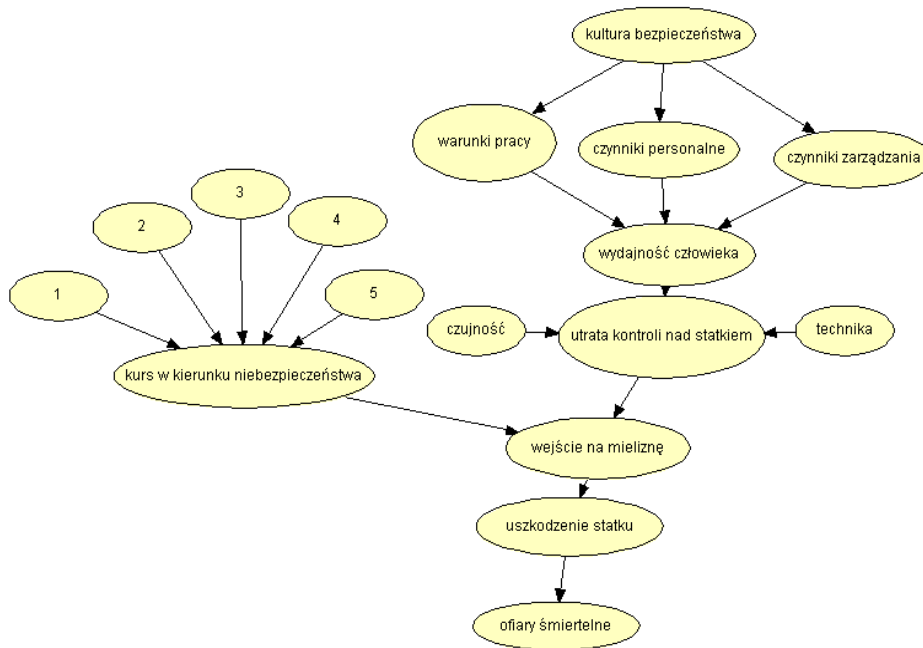
Tablica 1. Zagrożenia powodujące wejście statku na mieliznę.

Zagrożenie	Opis zdarzenia	Opis zagrożenia
1	kurs w kierunku mielizny, należy zmienić kurs	statek nie zmienia kursu
2	kurs wzdłuż mielizny, nie należy zmieniać kursu	statek zmienia kurs w kierunku mielizny
3	kurs wzdłuż mielizny, statek dryfuje na mieliznę, należy poprawić kurs	statek nie poprawia kursu
4	zła pozycja statku, powinien sterować, oddalając się od obiektu	statek nie oddala się od obiektu
5	kurs spotkaniowy statków, należy zmienić kurs	statek zmienia kurs w złym kierunku, na mieliznę

Źródło: opracowanie własne.

Zastosowanie sieci bayesowskiej do oceny wpływu typu zagrożeń, powodujących wejście statku na mieliznę, pozwala na uwzględnienie założonych scenariuszy, przedstawionych na rysunku 1 i opisanych w Tablicy 1. W przedstawionym modelu

uwzględniono czynniki techniczne, czynniki ludzki oraz zdarzenia, będące następstwem wypadku.



Rys. 2. Zastosowanie sieci bayesowskiej do oceny wpływu typu zagrożeń powodujących wypadek morski – wejście statku na mieliznę [3].

Źródło: opracowano na podstawie [3][14].

Sieć bayesowska reprezentuje w skompresowany sposób łączny rozkład prawdopodobieństwa. Stosując twierdzenie Bayesa można dokonywać wnioskowania progresywnego i regresywnego (wstecz). Tablice wartości prawdopodobieństw są przechowywane w każdym węźle sieci.

2. ZAGROŻENIA PODCZAS PORTOWYCH OPERACJI MANEWROWYCH

Z działań systemu statku handlowego S wynika, że zdarzenia pobudzające system do realizacji zadań (portowe operacje manewrowe) mają charakter losowy [11], przy czym prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia „wypadek manewrowy” ma charakter nie tylko losowy, ale również sezonowy. Waga zdarzenia ma charakter losowy.

System S scharakteryzowany jest następującą trójką uporządkowaną:

$$\langle S_p, S_D, S_k \rangle \quad (1)$$

gdzie:

- S_p – stan początkowy (pierwsza faza istnienia systemu – przejście statku w tryb gotowości manewrowej),
- S_D – system działań przekształcający w czasie T_D stan początkowy w stan końcowy (druga faza istnienia – operacje manewrowo-portowe),
- S_k – stan końcowy (trzecia faza istnienia systemu), koniec manewrów portowych, statek zacumowany.

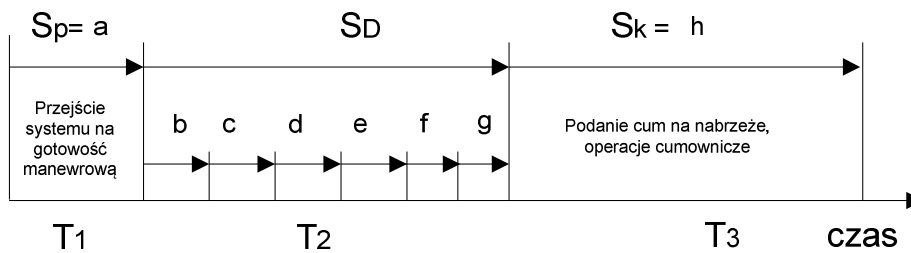
Gotowość systemu jest to prawdopodobieństwo zdolności systemu do terminowego przystąpienia do realizacji przewidywanych zadań [15]. Gotowość potencjalna statku G_p może być wyznaczona ze wzoru:

$$G_p = P(A) P(B|A) \quad (2)$$

gdzie:

$P(B|A)$ – prawdopodobieństwo, że zajdzie zdarzenie B , to jest $S_p \rightarrow S_k$ pod warunkiem, że system S_p znajdował się w stanie gotowości.

Na rysunku 3 przedstawiono przedziały czasowe dla manewrów złożonych, wykonywanych podczas wejścia promu pasażersko-samochodowego do Portu Gdynia, na wydzielonych akwenach. Dyskretyzacja akwenów została przeprowadzona ze względu na wykonywane manewry oraz ograniczenia wynikające z charakterystyki akwenu i przepisów portowych. Przyjęto kolejność zgodną z czasem pokonywania tych akwenów przez prom podczas wejścia.



Rys. 3. Przedziały czasowe portowych operacji manewrowych statku.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [3][11].

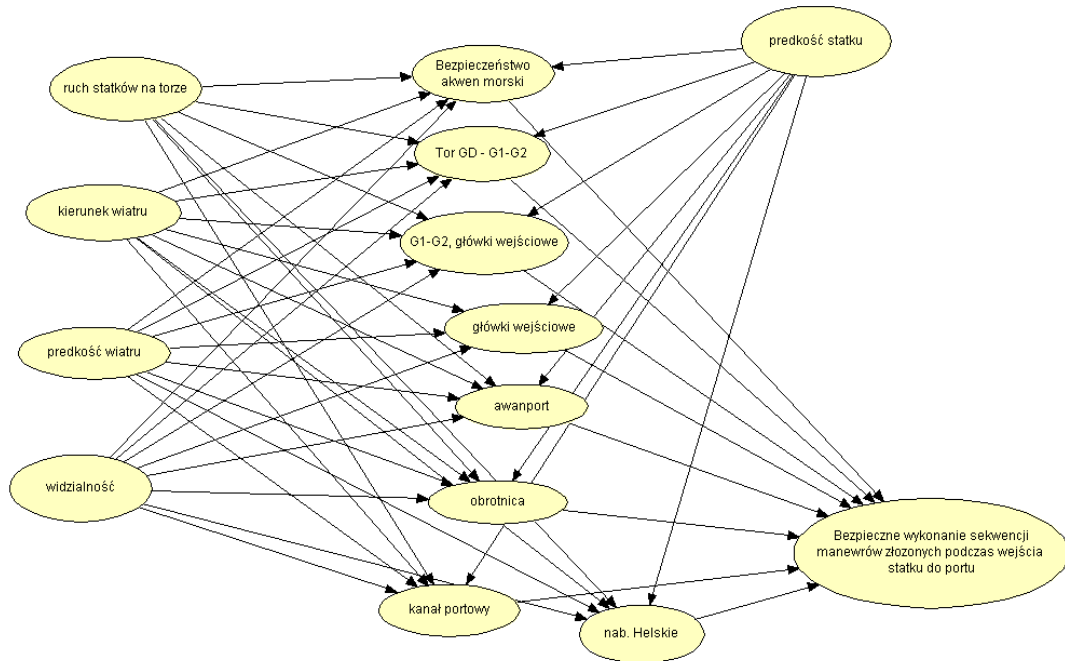
Zagrożenia występujące podczas manewrów złożonych, wykonywanych w czasie wejścia promu do Portu Gdynia opisano w Tabelicy 2.

Tabelica 2. Sytuacje stwarzające zagrożenie podczas wejścia statku do portu

Manewr złożony	Akwen	Opis manewru złożonego	Opis zagrożenia
a	Akwen morski	Przejsie na obroty manewrowe, gotowosc manewrowa	Ruch statków
b	Tor podejsciowy pomiedzy pławą GD i bramką wyznaczoną przez pławy G1 - G2	Żegluga w nabieżniku na torze wodnym, prędkosc maksymalna 10 węzłów	Wymijanie statku, jednostka na kursie, silny wiatr boczny
c	Tor podejsciowy pomiedzy bramką G1 - G2 i wejściem głównym	Żegluga w nabieżniku na pogłębionym torze wodnym o szerokości 150 m, prędkosc maksymalna 10 węzłów	Wymijanie statku, jednostka na kursie, silny wiatr boczny, przekroczenie prędkosci maksymalnej, niewłaściwe położenie na torze lub poza nim
d	Wejście główne	Przejsie przez główki, prędkosc maksymalna 10 węzłów	Niewłaściwe położenie na torze, silny wiatr boczny, silny prąd w rejonie falochronu, przekroczenie prędkosci maksymalnej
e	Awanport	Przejsie przez kanał awanportu	Jednostka na kursie, silny wiatr boczny
f	Obrotnica	Obrót o 180°	Silny wiatr
g	Kanał portowy	Ruch wstecz	Silny wiatr boczny
h	Nabrzeże Helskie 2	Podejsie do nabrzeża, ruch wstecz wzdłuż nabrzeża, ruch poprzeczny w kierunku nabrzeża	Silny wiatr boczny dopychający, silny wiatr odpychający, pak lodowy

Źródło: opracowanie własne.

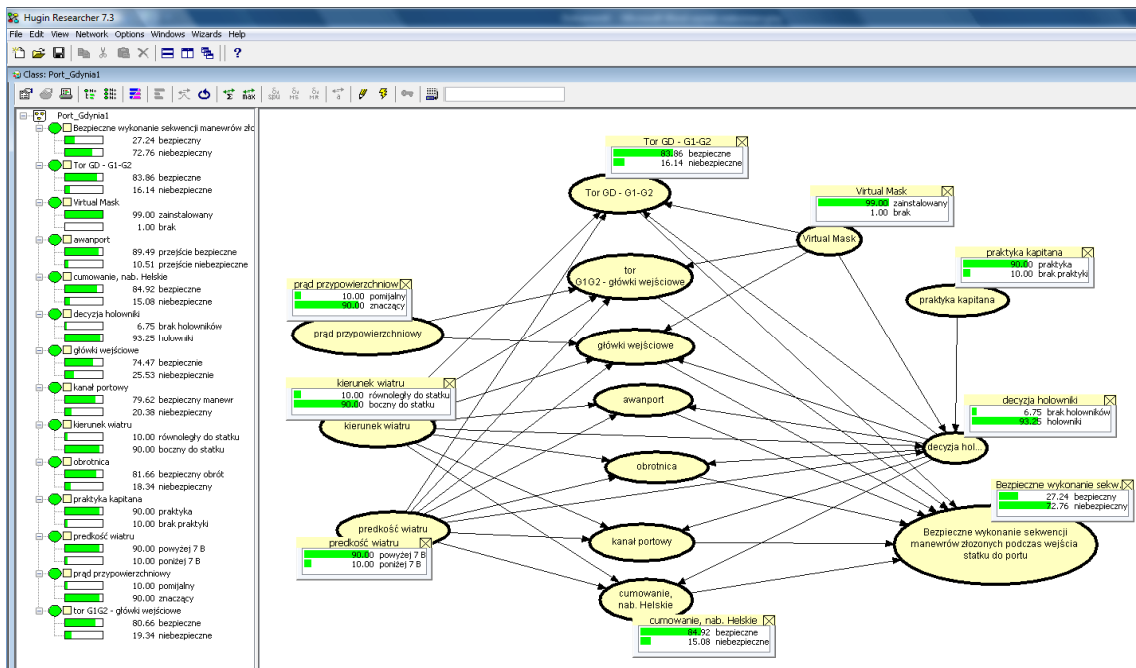
Do oceny wpływu zagrożeń zaproponowano sieć przedstawioną na rysunku 4.



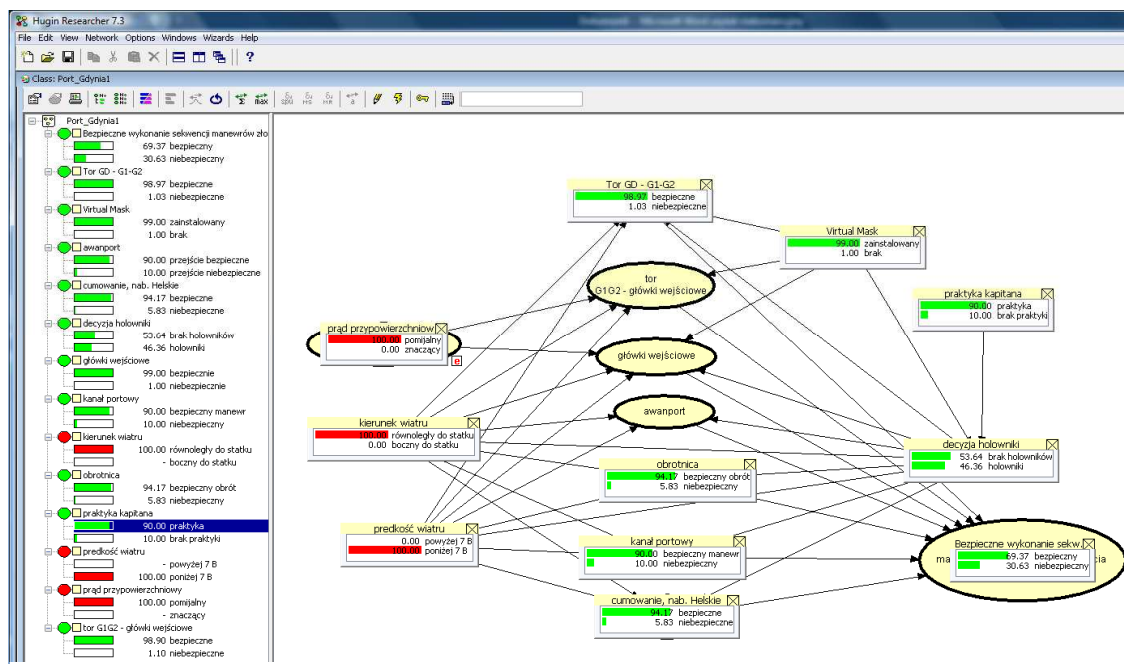
Rys. 4. Zastosowanie sieci bayesowskiej do oceny wpływu zagrożeń występujących przy wykonywaniu przez prom sekwencji manewrów złożonych, podczas wejścia do Portu Gdynia. Do budowy sieci wykorzystano program Hugin Researcher 7.0.

Źródło: opracowanie własne.

Rozkład prawdopodobieństwa dla poszczególnych zdarzeń określono na podstawie opinii ekspertów, danych dostępnych w literaturze oraz symulacji ruchu statku. Przykład obliczeń wykonanych z wykorzystaniem zaproponowanej sieci przedstawiono na rysunkach 5 a) i 5 b).



Rys. 5a. Przykład obliczeń rozkładu prawdopodobieństwa w sieci bayesowskiej do oceny bezpieczeństwa sekwencji manewrów złożonych. Do budowy sieci wykorzystano program Hugin Researcher 7.0.



Rys. 5b. Przykład obliczeń rozkładu prawdopodobieństwa w sieci bayesowskiej do oceny bezpieczeństwa sekwencji manewrów złożonych. Do budowy sieci wykorzystano program Hugin Researcher 7.0.

Źródło: Opracowanie własne.

Na rysunku 5a przedstawiono łączny rozkład prawdopodobieństwa dla prawdopodobieństw przyjętych dla poszczególnych węzłów przy projektowaniu sieci.

Na rysunku 5b przedstawiono wyniki obliczeń dla założonych bardzo dobrych warunków hydrometeorologicznych. Przyjęcie prawdopodobieństwa równego 100% dla prędkości wiatru poniżej 7⁰B (15 m/s), kierunku wiatru równoległego do statku i pomijalnego prądu przypowierzchniowego powoduje wzrost prawdopodobieństwa bezpiecznego wykonania sekwencji manewrów podczas wejścia statku do portu o 40%.

3. WNIOSKI

Zastosowanie sieci bayesowskiej do oceny ryzyka umożliwia wnioskowanie w warunkach niepewności, łączenie różnych danych (przyjmowanych na podstawie subiektywnej oceny i danych empirycznych), zobrazowanie graficzne sposobu wnioskowania i dokumentację wiedzy oraz prowadzenie analizy co-jeśli. W odniesieniu do oceny zagrożeń podczas złożonych manewrów statku, można prowadzić analizę na założonym poziomie szczegółowości, uzupełniając ją w miarę pozyskiwania wiedzy.

LITERATURA

- [1] Abramowicz-Gerigk T., Burciu Z.: Ryzyko dynamiczne operacji manewrowych promów. Problemy Eksploatacji Nr 4/2009, str. 115-125.
- [2] 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.
- [3] Burciu Z. Bezpieczeństwo w transporcie morskim. Poszukiwanie i ratowanie SAR. Monografia w przygotowaniu do druku.

- [4] EfficienSea (3 years: 2008-2011, in addition 2 years option as a Strategic Project) project on Efficient, Safe and Sustainable Traffic at Sea, Interreg - Baltic Sea Region Programme 2007-2013, <http://www.efficiensea.org>.
- [5] Fooladvandi F.: Signature-based activity detection based on Bayesian networks acquired from expert knowledge. M.Sc. University of Skövde, 2008.
- [6] FSA Large Passenger Ship – Navigational Safety, document submitted to IMO NAV/50/11/1, Norway, April 2004.
- [7] Guarin L., Vassalos D.: Risk Assessment of Pollution due to Shipping Accidents in the North West of Scotland, 2nd International Maritime-Port Technology and Development Conference (MTEC 2007), Taylor&Francis, Singapore 2007.
- [8] Gucma L. Wytczne do zarządzania ryzykiem morskim. Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej. Szczecin 2009
- [9] Gucma S. Inżynieria ruchu morskiego. Okrętownictwo Żegluga, Gdańsk 2001.
- [10] Gucma S. Nawigacja pilotażowa. Fundacja Promocji Przemysłu okrętowego i Gospodarki Morskiej. Gdańsk 2004.
- [11] Jaźwiński J. Polska szkoła gotowości systemów wojskowych. Materiały Szkoły Niezawodności – PAN, Metody utrzymania gotowości systemów. XXXVI Zimowa Szkoła Niezawodności Szczyrk 2008.
- [12] Koldenhof Y., Glansdorp C., Baldauf M., Sá R., Degré T., van der Tak C.: WP 3.1 Risk and Environmental Impact Analysis, <http://www.marnis.org/>, 2008.
- [13] Kosonen K. Safety and Risk Management on Baltic Sea, PIANC AGA Technical Seminar, Helsinki 27.5.2009
- [14] Risk Assessment – Large Passenger Ships Navigation. dnw.com
- [15] Smalko Z. Podstawowe terminy z zakresu zawodności i niebezpieczeństwa. Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej. Pomoce dydaktyczne (12.11.2003).

THE IMPLEMENTATION OF BAYESSIAN NETWORK IN THE ASSESSMENT OF THE HAZARDS OF COMPLEX MANOEUVRES

Abstract:

The paper presents a Bayesian network constructed on the basis of model tests, simulation and experts opinion, with respect to the hazards of the sequence of complex manoeuvres, performed by the vessel. The proposed Bayesian network allows to assess the influence of the particular hazards in the different stages of the sequential manoeuvring task. The entrance of a ferry into Port Gdynia has been presented as the example of application.

Key words: Bayesian network, port manoeuvres, safety.