

Andrzej STAROSTA

Akademia Morska w Gdyni
Wydział Nawigacyjny, Katedra Eksploatacji Statku
al. Jana Pawła II 3, 81-345 Gdynia
e-mail: Andrzej.Starosta@wp.eu

**WYKORZYSTANIE SIECI BAYESOWSKIEJ DO DOBORU OPTYMALNEJ
JEDNOSTKI W TRANSPORCIE MORSKIM**

Streszczenie:

Sieć bayesowska, niecykliczny graf skierowany, stanowi efektywną obliczeniowo i przestrzennie metodę reprezentacji łącznego rozkładu prawdopodobieństwa. Wykorzystywana jest w diagnostyce medycznej i technicznej, wyszukiwaniu informacji, wykrywaniu oszustw, sterowaniu itp. Artykuł zawiera propozycję wykorzystania tego narzędzia w dziedzinie transportu morskiego. Przedstawione rozwiązanie pozwala na sporządzenie rankingu jednostek handlowych, które mogą pomóc w akcji ratowniczej na morzu. Jako priorytet przyjęto wykorzystanie podstawowych parametrów statków jakie można uzyskać z systemów automatycznej wymiany informacji stosowanych na morzu. Podobnie skonstruowaną sieć bayesowską można wykorzystać do utworzenia rankingu morskich jednostek transportowych, w celu podniesienia niezawodności łańcucha transportowego.

Słowa kluczowe: transport morski, sieć Bayesowska

WPROWADZENIE

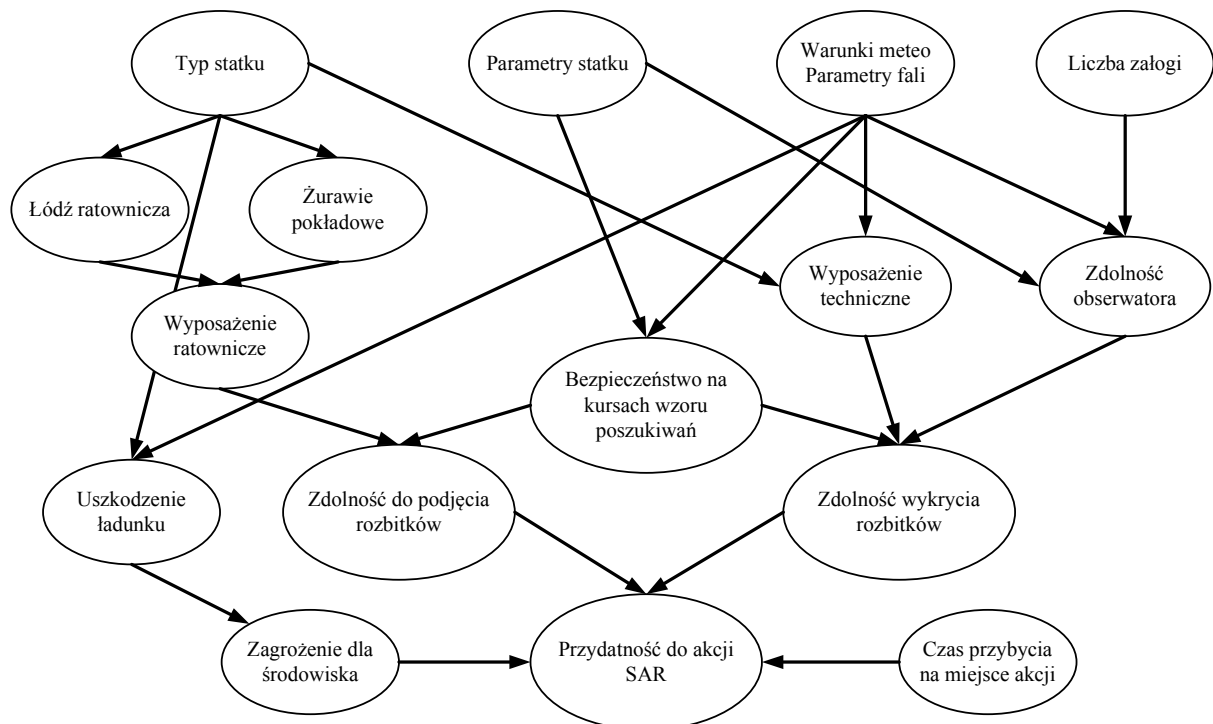
Metody Bayesowskie są stosowane w bardzo szerokim obszarze naukowym. Stosowane są w naukach ekonomicznych do oceny ryzyka inwestycji, w naukach technicznych diagnozujących niezawodności systemu technicznego, a także w naukach biologicznych i medycynie, gdzie coraz szerzej stosowane są w diagnostyce technicznej. [4] Szczególnie sieć Bayesowska, jako niecykliczny graf skierowany, stanowi wygodne narzędzie, którym w przejrzysty sposób można przedstawić rozwiązywany problem. Jest to metoda efektywna przestrzennie jak i obliczeniowo. Dodatkowo dostęp do narzędzi pozwalających wyliczyć prawdopodobieństwo warunkowe na podstawie wprowadzonej sieci jest bardzo prosty. W Internecie można znaleźć darmowe programy do wstępnych badań. W tym artykule korzystano wyniki uzyskane z pomocą programu GeNIe 2.0.[3]

W literaturze można odnaleźć wiele prac wykorzystujących drzewa bayesowskie do diagnostyki w medycynie, czy do oceny ryzyka inwestycyjnego. W zakresie wykorzystania w dziedzinie technologii morskich pojawiły się propozycje wykorzystania tego narzędzia do: optymalnego planowania inspekcji na konstrukcjach offshorowych, monitorowanie pracy silnika statku, oceny zagrożenia przy lądowaniu helikoptera na statkach pasażerskich, czy też do wstępnej oceny projektu statku. [2] Istnieją również modele opisujące przyczyny wypadków statku, jednak do tej pory nie natrafiłem na wykorzystanie sieci Bayesowskiej do analizy trafności doboru jednostki morskiej do danego zadania.

1. OCENA JEDNOSTKI DO WYKONANIA ZADAŃ W AKCJI POSZUKIWANIA I RATOWANIA ŻYCIA NA MORZU – SAR

Proponowanym we wcześniejszych publikacjach zastosowaniem sieci Bayesowskiej było ocenienie przydatności jednostki handlowej, nieratowniczej, do przeprowadzenia akcji SAR. Koordynator akcji SAR może wykorzystać do tego celu statki, które znajdują się w pobliżu miejsca zdarzenia i zgłosiły gotowość niesienia pomocy. Jednak nie wszystkie statki, pomimo najszczerzej chęci ich załóg są odpowiednie do prowadzenia długotrwałych poszukiwań, szczególnie w warunkach sztormowych. Jest to związane z faktem, że w trakcie trwania akcji powinny one utrzymywać ściśle określony przez koordynatora kurs i prędkość. W sytuacji normalnej podróży, kapitan może niwelować oddziaływanie fal, odpowiednio korygując kurs i dobierając bezpieczną prędkość.

Koordynator akcji decyduje, które jednostki wykorzysta, a które zwolni z obowiązku niesienia pomocy. Zły wybór na początku akcji, może mocno ograniczyć skuteczność poszukiwań. W najgorszym przypadku kapitan statku może wycofać się z akcji na skutek złych warunków pogodowych, aby dbać o bezpieczeństwo swojej załogi. Celem prac jest skonstruowanie drzewa Bayesowskiego, które na podstawie podstawowych danych o statku, nadawanych np. przez system AIS (Automatic Information System), poda ocenę danej jednostki i pozwoli ją porównać z innymi w tej samej okolicy. Analizując potrzeby wynikające z prowadzenia akcji SAR opracowano drzewo przedstawione na Rys. 1.



Rys.1 Drzewo Bayesowskie służące do oceny przydatności jednostki do akcji SAR.

Źródło: Opracowanie własne.

Jako kluczowe określono dwa zadania: zdolność so wykrycia rozbitków, oraz zdolność do wyciągnięcia znalezionych rozbitków na pokład. W obu przypadkach podstawowym elementem wpływającym na te zadania jest odpowiedź na pytanie: czy statek może bezpiecznie płynąć zadanym kursem i prędkością w danych warunkach pogodowych. W praktyce o tym czy statek jest bezpieczny decyduje kapitan na podstawie swojego doświadczenia i znajomości jednostki. W obliczeniach wykorzystano algorytm określania zagrożenia dla statku na danym kursie. [6], [9] Jest on oparty na zaleceniach dla kapitanów

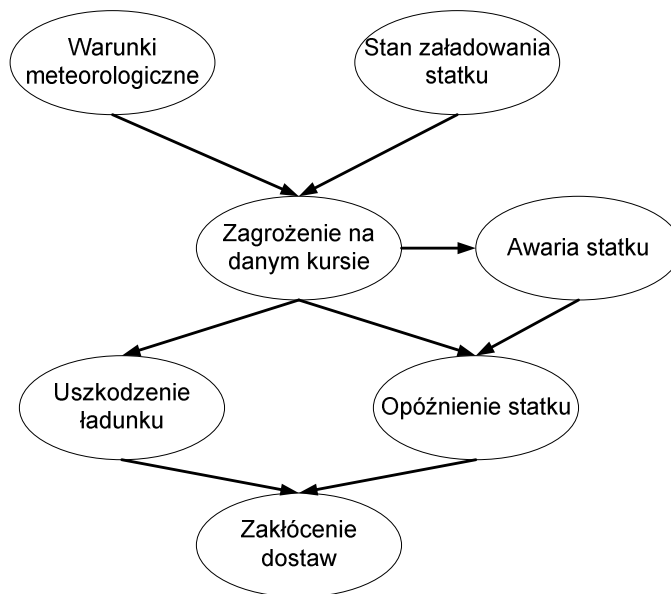
statków w ciężkich warunkach pogodowych (MSC.1/Circ. 1228 Revised guidance to the master for avoiding dangerous situations in adverse weather and sea conditions). Poradnik opisuje zagrożenia jakie może spotkać statek płynący danym kursem w ciężkim sztormie i jak dobrać kurs i prędkość, aby ich uniknąć.

Do pełnego opracowania tak rozbudowanego drzewa potrzeba jest bardzo wiele danych i obserwacji. Stosując uproszczoną sieć zaproponowano ocenę i optymalny wybór najlepszej jednostki znajdującej się w danym rejonie wypadku. [7], [5]

2. WYBÓR MORSKIEJ JEDNOSTKI TRANSPORTOWEJ DO ZAPEWNIENIA NIEZAWODNOŚCI DOSTAW

W łańcuchach logistycznych zawierających element transportu morskiego, warunki pogodowe mogą w znaczący sposób wpływać na terminowość dostaw. W obecnych czasach terminowość zawinięć do portów, szczególnie kontenerowców, powoduje, że kapitanowie decydują się na żeglugę w niesprzyjających warunkach, licząc się nawet z uszkodzeniem lub utratą części ładunku. Jednakże, również uszkodzenie ładunku jest w pewnym stopniu zakłóceniem dostaw. Różne statki zachowują się w odmienny sposób w tych samych warunkach pogodowych. Odpowiednie dobranie jednostki, nie tylko pod względem zdolności przewozowej, ale również pod względem wielkości i prędkości, może w znacznym stopniu ograniczyć możliwość wystąpienia zagrożenia zakłócenia dostaw.

Do tego celu można wykorzystać sieć Bayesowską, która pomoże ocenić prawdopodobieństwo wystąpienia zakłóceń. W proponowanym rozwiązaniu założono, że zakłócenie może wynikać z powodu uszkodzenia ładunku w transporcie lub opóźnienia statku, które może być spowodowane złymi warunkami pogodowymi lub awarią statku. Realizując tak uproszczone podejście można zaproponować drzewo, jak na Rys. 2.



Rys.2. Drzewo Bayesowskie służące do oceny prawdopodobieństwa wystąpienia zakłócenia dostaw
Źródło: Opracowanie własne.

Przy wykorzystaniu algorytmu bezpieczeństwa statku na danym kursie zostanie określone prawdopodobieństwo zagrożenie dla statku. Z tego powodu warunki meteorologiczne w tym rozwiązaniu są głównie związane z prawdopodobieństwem wystąpienia wiatru i fali z danego kierunku z rozbiciem na poszczególne kierunki geograficzne. Jednym z parametrów

wejściowych do algorytmu jest wysokość metacentryczna statku, która jest w znaczny sposób powiązana ze stanem załadowania statku. Awaria statku może wystąpić zawsze, nawet przy najlepszej pogodzie, ale prawdopodobieństwo wystąpienia jest większe w warunkach sztormowych, szczególnie jeżeli kapitan jednostki nie stara się ograniczyć wpływu działania fal. Płynięcie kursem, na którym występują niekorzystne dla statku zjawiska, nie musi być równoznaczna z uszkodzeniami, ale doświadczony nawigator powinien unikać takich sytuacji. Najlepszym rozwiązaniem jest zmiana kursu, w celu innego ustawienia się w stosunku do fali. Niestety może to wiązać się ze znacznym wydłużeniem trasy i jednocześnie dłuższą podróżą. Uszkodzenie ładunku nie musi być związane z nieprawidłowym sterowaniem statkiem, ale w warunkach sztormowych uwidaczniają się wszelkie niedociągnięcia związane z mocowaniem ładunków, które w efekcie często zostają uszkodzone.

3. PRZYKŁAD OBLICZEŃ

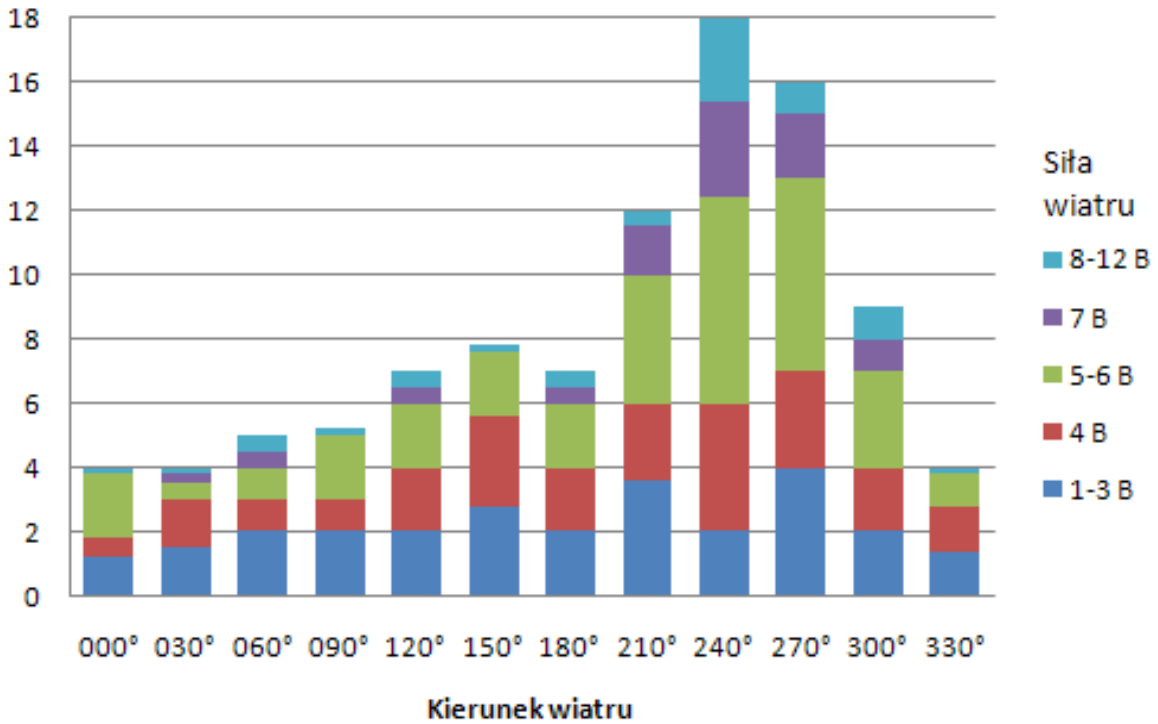
Przykład przedstawia analizę zagrożenia dla transportu do i z portów polskich przez Cieśniny Duńskie. Jako przykładowy wybrano rejonie na zachód od wyspy Bornholm w miesiącu styczniu. Za zagrożenie uznano sytuację, kiedy przy danych warunkach pogodowych statek będzie narażony na zaistnienie zjawisk zagrażających ładunkowi i statkowi, takich jak kołysanie synchroniczne i parametryczne, surfraiding, znaczne zmniejszenie stateczności przy żegludze na fali itp. [9] Założono, że opóźnienie dostawy nie będzie duże, jeżeli statek będzie w stanie uniknąć niebezpieczeństwa zmieniając kurs o 25° w prawo lub lewo od zakładanego kursu. Nie sprawdzano możliwości zmniejszenia prędkości w celu wyeliminowania niebezpieczeństwa ponieważ zazwyczaj statki płyną tak zwaną prędkością morską, kiedy regulacja prędkości może być wykonywana jedynie w niewielkim zakresie.

W obliczeniach wykorzystano dwa kontenerowce, które regularnie odwiedzają terminal kontenerowy w Gdyni:

- MSC CARINA o długości $L=249\text{m}$., szerokości $B=32\text{m}$, zanurzeniu $d=10,70\text{m}$, mogący przewieźć 3029 TEU (Twenty-foot Equivalent Unit) i pływający z prędkością 19 węzłów, założone wysokości metacentryczne dla statku pustego 1,7 m i dla statku pełnego 0,7 m;
- OOCL NEVSKIY o długości $L=133\text{m}$., szerokości $B=22\text{m}$, zanurzeniu $d=7,5\text{m}$, mogący przewieźć 868 TEU i pływający z prędkością 18 węzłów, założone wysokości metacentryczne dla statku pustego 1,7 m i dla statku pełnego 0,6 m;

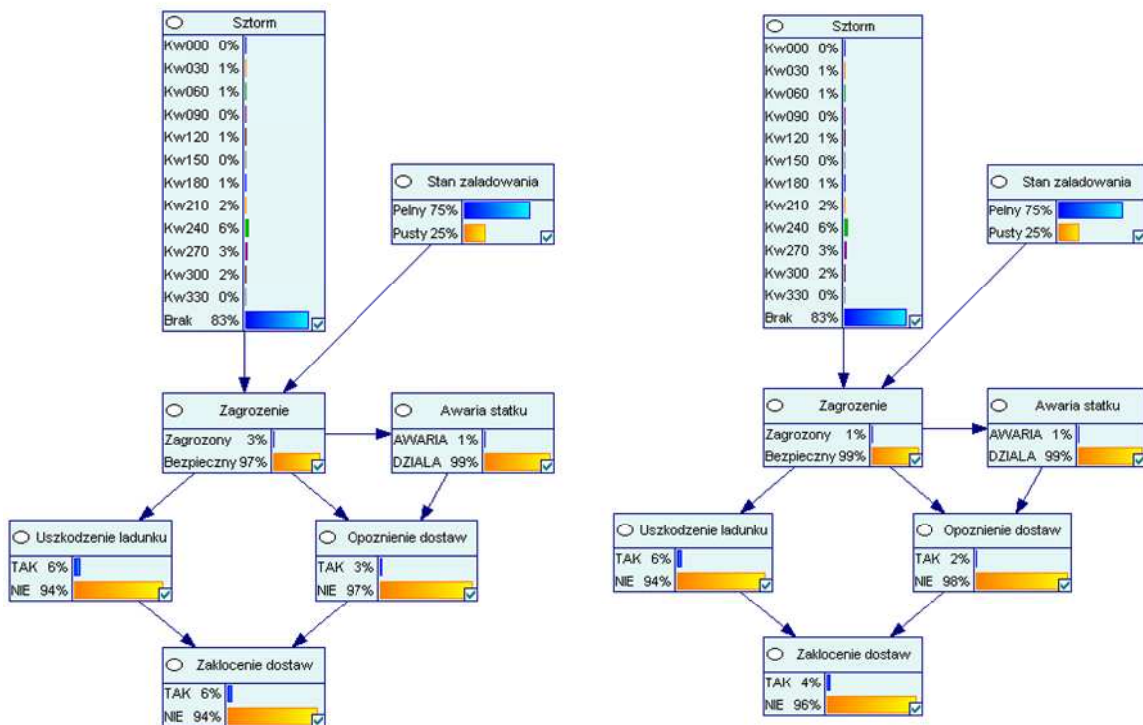
Obie jednostki płyną na tej samej trasie w kierunku Cieśnin Duńskich kursem 280° , a w kierunku portów polskich kursem 130° . Na podstawie ogólnie dostępnych publikacji takich jak locja morska, określono warunki pogodowe w rejonie na zachód od wyspy Bornholm. Rozkład kierunków i siły wiatru przedstawiono na rysunku 3. Przyjęto, że podczas sztormu kierunek fali jest zgodny z kierunkiem wiatru. Przyjęta długość fali dla tego akwenu w warunkach sztormowych 100m o okresie fali 8 sekund i wysokości 3,5m. Za sztorm uznano wiatry o sile większej równej 7 B.

Wykorzystując aplikację wykorzystującą stworzony algorytm wyliczono prawdopodobieństwa wystąpienia sytuacji zagrożenia dla statku w przyjętym zakresie kursów. Uzyskane wyniki zaimplementowano do proponowanej sieci, a w połączeniu z określonym prawdopodobieństwem wystąpienia wiatrów sztormowych obliczono prawdopodobieństwo wystąpienia zakłócenia dostaw. Wyniki prezentowane są na rysunkach 4 i 5. Obliczenia wykonano przy pomocy program GeNIe. W przykładowych sieciach założono, że prawdopodobieństwo wystąpienia awarii lub uszkodzenia ładunku są jednakowe i zależą jedynie od wystąpienia zagrożenia związanego z kursem względem fali.



Rys.3 Rozkład kierunku i siły wiatru w styczniu

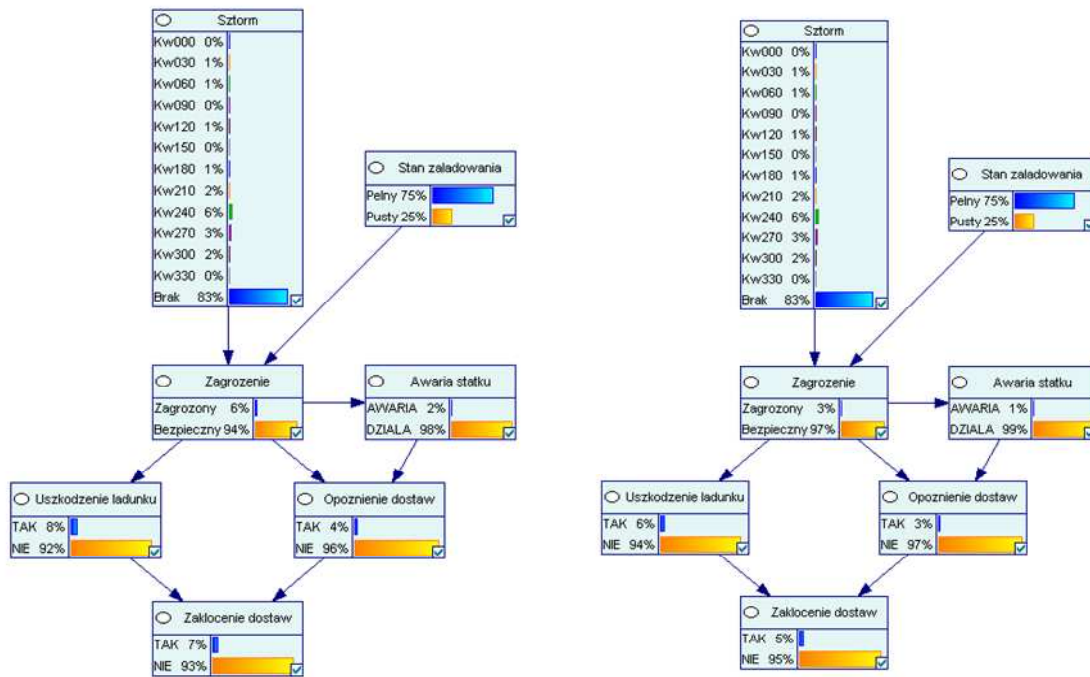
Źródło: opracowanie własne na podstawie [1]



Rys. 4. Prawdopodobieństwo zakłócenia dostaw dla statku MSC CARINA. Po lewej kurs 130° do portów polskich, po prawej kurs 280° w kierunku Cieśnin Duńskich.

Porównując obie jednostki dosyć dobrze radzą sobie w warunkach sztormowych na Bałtyku, przy założonej dosyć znacznej fali. W przypadku fali o mniejszych parametrach prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji zagrożenia jest mniejsze. Jednakże większa

jednostka jest bezpieczniejsza i lepiej znieś sztorm. Morskie jednostki transportowe gorzej zachowują się przy fali przychodzącej z sektorów rufowych, z tego powodu przy sztormach zachodnich statki płynące w kierunku portów polskich mogą być narażone na większe niebezpieczeństwo. Wyraźnie widać, że kurs 130° dla obu jednostek generuje większe prawdopodobieństwo wystąpienia opóźnień dostaw. Prawdopodobieństwa są do siebie zbliżone, więc o wyborze jednostki, powinna zdecydować ich zdolność przewozowa i zapotrzebowanie w danym łańcuchu logistycznym.



Rys. 5. Prawdopodobieństwo zakłócenia dostaw dla statku OOCL NEVSKIY. Po lewej kurs 130°, do portów polskich, po prawej kurs 280° w kierunku Cieśnin Duńskich

Stworzoną sieć dla danego statku i kursu można wykorzystać potem do oceny zagrożenia dostaw przy prognozowanym sztormie. Na rysunku 6 zaprezentowano wyniki obliczeń dla prognozy wystąpienia sztormu z kierunku 270° z możliwością odchylenia się kierunku wiatru o 45°. Daje to możliwość ocenienia zagrożenia dla najbliższej dostawy. Na przykładzie wyliczeń wyraźnie widać, że w takiej sytuacji większa jednostka daje większą szansę, że dostawa zostanie wykonana na czas i bez większych uszkodzeń ładunku.



Rys. 6. Prawdopodobieństwo zakłócenia dostaw przy prognozowanym sztormie – kurs 130°. Po lewej MSC CARINA, po prawej OOCL NEVSKIY

PODSUMOWANIE

Sieć Bayesowska jest coraz bardziej popularnym narzędziem w nowoczesnych badaniach oceniających ryzyko i diagnostyce. W artykule zaprezentowano również możliwość wykorzystania tej metody do wyboru optymalnej morskiej jednostki transportowej do danego celu. Wcześniejsze prace pokazały możliwość wykorzystania przy wyborze statku do akcji SAR. Stosując opracowany wcześniej algorytm bezpieczeństwa statku w warunkach sztormowych zaproponowano drzewo mające na celu ustalić lepszą jednostkę transportową na danej trasie.

Przeprowadzone obliczenia pokazały możliwość analizy na podstawie danych statystycznych, jak również przy pomocy krótkoterminowej prognozy warunków meteorologicznych. Przy analizowaniu całego łańcucha transportowego należałoby rozbić całą trasę na poszczególne etapy i przeanalizować bezpieczeństwo dostaw w przekroju całego roku. W celu końcowego wykorzystania należałoby wprowadzić większą automatyzację obliczeń.

Przedstawiona sieć jest tylko koncepcją i poszczególne jej elementy wymagałyby dokładniejszego opracowania. Dla przykładu prawdopodobieństwo awarii powinno zależeć od wieku jednostki, sposobu eksploatacji, czasu od ostatniego remontu itp. Prawdopodobieństwo uszkodzenia ładunku, również powinno być dokładnie rozpatrzone ze względu na sposób pakowania i rozmieszczania na statku. Zaproponowane sieci miały tylko na celu pokazanie możliwości przeprowadzenia doboru lepszego statku i skoncentrowały się na ich zdolności do żeglugi w warunkach sztormowych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ASD NP18 Baltic Pilot Vol I, Edition 14, 2006
- [2] Friis-Hansen A., Bayesian networks as a decision support tool in marine applications, PhD thesis, Technical University of Denmark, December 2000
- [3] GeNIe 2.0. Decision Systems Laboratory, University of Pittsburgh [<http://genie.sis.pitt.edu>]
- [4] Grabski F., Jaźwiński J., Metody bayesowskie w niezawodności i diagnostyce, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2001
- [5] Starosta A., Application of Bayesian network to estimate merchant ship usability for SAR action, Journal of KONES vol. 13 no. 3, pp. 381-386, 2009
- [6] Starosta A., Bezpieczeństwo statku handlowego w akcji SAR, Logistyka 4/2010, artykuł na dołączonym CD stanowiącym integralną część czasopisma, 2010
- [7] Starosta A., Estimation merchant ship usability for SAR action based on information from AIS system, Scientific Journals Maritime University of Szczecin 20(92) pp. 134-139, 2010
- [8] Starosta A., Reliability of merchant ship used for SAR action, Journal of KONBIN 2,3(14,15)2010, pp. 289-296, 2010
- [9] Starosta A., Zakłócenia transportu morskiego – ciężkie warunki pogodowe – sposób oceny zagrożenia, Logistyka 4/2009, artykuł na dołączonym CD stanowiącym integralną część czasopisma, 2009

USAGE OF BAYESIAN NETWORK FOR SELECTION OF THE BEST CARRIER IN THE MARITIME TRANSPORT

Abstract:

Bayesian network is useful tool in modern diagnostic process and risk estimation. The paper presents usage this method in sea transport for selection the best ship for SAR action and proposition of network for estimation supply disturbances probability. The example allowed to compare two ships which are in service in the Baltic Sea region.

Key words: sea transport, Bayesian network, transport disturbance.