

**bsm pchor. mgr inż. Aleksandra KWIECIŃSKA**  
Akademia Marynarki Wojennej

## **BEZPIECZEŃSTWO ŻEGLUGI A MAKSYMALNA ODLEGŁOŚĆ WYKRYCIA OBIEKTU PRZEZ RADAR NAWIGACYJNY**

### **STRESZCZENIE**

Rozwój cywilizacyjny sprawił, że po oceanach świata pływają tysiące różnicowanych jednostek. Niektóre regiony stały się newralgicznymi akwenami, ograniczonymi pod względem nawigacyjnych, inne z kolei są mało uczęszczane. Jednakże na każdym z tych akwenów konieczne jest prowadzenie właściwej obserwacji. Początkowo stanowili ją wyłącznie marynarze, z czasem wyposażeni w lornetki. Z biegiem lat i rozwojem techniki podstawowym urządzeniem służącym do obserwacji na morzu stał się radar nawigacyjny, którego właściwe użycie ma istotny wpływ na kształtowanie bezpieczeństwa żeglugi na morzach i oceanach świata. W chwili obecnej stały się one powszechnym wyposażeniem. Z punktu widzenia użytkownika radaru najistotniejszą rolę odgrywa odległość wykrycia danego obiektu, co pozwala na uzyskanie czasu niezbędnego do analizy i podjęcia właściwego działania w celu uniknięcia zderzenia.

#### Słowa kluczowe:

radar nawigacyjny, bezpieczeństwo żeglugi, skuteczna powierzchnia odbicia

### **WSTĘP**

**Radar** (*ang.*: **Radio Detection and Ranging**) to urządzenie przeznaczone do wykrycia i określenia położenia obiektów nawodnych, naziemnych i powietrznych za pomocą fal elektromagnetycznych. Wykorzystuje on zjawisko częściowego odbicia się od wykrywanego obiektu wysłanego promieniowania, które następnie powraca do odbiornika i po przekształceniach może zostać zaprezentowane operatorowi.

Podwalinami rozwoju radiolokacji stała się teoria pola elektromagnetycznego sformułowana przez **Jamesa Maxwella**, którą następnie w latach 1885-1889 Heinrich Hertz potwierdził w praktyce. W latach dwudziestych XX

wieku spostrzeżenia wyżej wymienionych naukowców wykorzystał **Chrystian Hulsmeyer**, który skonstruował pierwszy radar i zademonstrował możliwości wykrycia statku wpływającego do portu.

Rozwój radarów, podobnie jak i większości techniki determinowany był konfliktem zbrojnym i potrzebami militarnymi. Przełomowym momentem w ich ewolucji była II wojna światowa, kiedy to człowiek stanął przed problematyką wykrywania samolotów bombowych.

Rozwój techniki radarowej doprowadził do zasadniczo powszechnego użycia radarów nawigacyjnych na większości jednostek pływających. Współczesne, typowe radary nawigacyjne pracują w płaszczyźnie dwuwymiarowej i określają położenie obiektu w układzie biegunowym. Zgodnie z zapisami Rozdziału V konwencji SOLAS 1974<sup>1</sup> (wraz z późniejszymi zmianami w 2002 r), IMO nakłada na każdy statek morski o pojemności brutto 300t i więcej oraz wszystkie statki pasażerskie obowiązek posiadania impulsowego radaru pracującego w paśmie X (9 GHz). Dodatkowo dla jednostek o pojemności brutto 3000t i więcej wprowadzono nakaz posiadania drugiego radaru pracującego w paśmie S (3 GHz).

## **ZNACZENIE RADARU NAWIGACYJNEGO DLA BEZPIECZEŃSTWA ŻEGLUGI**

Pojęcie „bezpieczeństwa” to pojęcie bardzo szerokie i jest warunkowane dziedziną, obszarem lub działalnością które jej przyporządkujemy. Na potrzeby niniejszego artykułu rozważone zostanie wyłącznie pojęcie bezpieczeństwa morskiego. Bezpieczeństwo morskie<sup>2</sup> (*ang.* maritime safety), to bezpieczeństwo życia i mienia na morzu oraz bezpieczeństwo środowiska morskiego od zanieczyszczeń powodowanych przez okręty i inne jednostki pływające na morzu. Analizując powyższe pojęcie<sup>3</sup> można stwierdzić, że jest to obiektywna, sumaryczna ocena poziomu zagrożenia, odnosząca się do wszystkich aspektów działalności człowieka na morze, z uwzględnieniem stosowanych technologii, panujących procedur i wyposażenia. Oceniając łącznie zagadnienie bezpieczeństwa

<sup>1</sup> Międzynarodowa Organizacja Morska, *Chapter V Convention SOLAS 1974 REGULATION 19 - Carriage requirements for shipborne navigational systems and equipment, 2 Shipborne navigational equipment and systems*, p. 13-17  
<http://www.imo.org/en/OurWork/facilitation/documents/solas%20v%20on%20safety%20of%20navigation.pdf> (dostęp 18.12.2017)

<sup>2</sup> J. Urbański, W. Morgaś, Z. Kopacz *Bezpieczeństwo morskie i ochrona żeglugi oraz zarządzanie nimi; próba identyfikacji i specyfikacji przedmiotu*, [http://hydrografpolski.pl/wp-content/uploads/2016/06/PH\\_4/PH\\_4\\_Urbanski&Morgas&Kopacz.pdf](http://hydrografpolski.pl/wp-content/uploads/2016/06/PH_4/PH_4_Urbanski&Morgas&Kopacz.pdf) (dostęp 22.12.2017)

<sup>3</sup> A. Pietrzak *Współczesne bezpieczeństwo morskie*, <http://www.nowastrategia.org.pl/wspolczesne-bezpieczenstwo-morskie> (dostęp 20.12.2017)

morskiego należy wziąć pod uwagę panujące warunki hydrometeorologiczne, które odgrywają istotną rolę w jego kształtowaniu.

Znaczący wpływ dla tej kwestii mają **Międzynarodowe Przepisy o Zapobieganiu Zderzeniom na Morzu<sup>4</sup> (MPZZM)**. Poruszają większość z zagadnień, niezbędnych do zapewnienia bezpieczeństwa na morzu, wprowadzając określone regulacje i właściwy porządek w ruchu jednostek, oraz zachowaniu załogi w czasie pełnienia wachty we wszystkich warunkach. Z punktu widzenia celowości niniejszego artykułu, ważną rolę odgrywa Prawidło V MPZZM, które wskazuje: „*Każdy statek powinien stale prowadzić właściwą obserwację zarówno wzrokową i słuchową, jak i za pomocą wszystkich dostępnych środków w istniejących okolicznościach i warunkach odpowiednich do pełnej oceny sytuacji i ryzyka zderzenia*”. Cytowane wyżej prawidło nie precyzuje konkretnie sposobu prowadzenia obserwacji, aczkolwiek zwraca szczególną uwagę, że powinna ona być realizowana wszystkimi możliwymi sposobami. Władysław Rymarz w komentarza do omawianego prawidła szerzej omawia kwestię obserwacji radarowej prowadzonej na jednostce.

Radar nawigacyjny<sup>5</sup> winien być wykorzystywany do prowadzenia obserwacji w każdych warunkach pogodowych i nawigacyjnych, zarówno podczas dobrej jak i ograniczonej widzialności. Jej zasadniczym zadaniem jest dostarczenie oficerowi wachtowemu pełnej oceny sytuacji oraz ryzyka zderzenia. Na pełnym morzu zaleca się prowadzenie obserwacji w zakresie pracy 12 Mm, który to umożliwi odpowiednio szybkie wykrycie sytuacji kolizyjnej i podjęcie właściwych kroków. Obserwacja ekranu radarowego musi być prowadzona w sposób ciągły, najlepiej przez jednego obserwatora śledzącego parametry ruchu otaczających jednostek oraz ewentualne zbliżanie się innych niebezpieczeństw. Przyступаńc do obserwacji radarowej należy uwzględnić następujące ograniczenia i czynniki rzutujące na prace urządzeń radarowych<sup>6</sup>:

- charakterystykę oraz sprawność radaru,
- ograniczenia wynikające z ustawionego zakresu pracy,
- wpływ warunków hydrometeorologicznych na wskazania radaru (stan morza, pogoda, opady),
- możliwość pominięcia przez radar małych jednostek, obiektów znajdujących się w odległości mniejszej niż minimalna odległość wykrycia danego radaru.

Kwestie pełnienia właściwej i ciągłej obserwacji podczas wachty porusza również Międzynarodowa Konwencja o wymaganiach w zakresie wyszkolenia

---

<sup>4</sup> W. Rymarz *Międzynarodowe prawo drogi morskiej*, Trademar, Gdynia 1995, s 56.

<sup>5</sup> Tamże, s 62.

<sup>6</sup> Tamże, s 65.

marynarzy, wydawania im świadectw oraz pełnienia wachty (STWC 78/95)<sup>7</sup>. Zgodnie z jej zapisami zasadom, której należy przestrzegać w czasie pełnienia wachty jest utrzymanie ciągłego stanu czujności za pomocą wzroku i słuchu oraz innych dostępnych środków w odniesieniu do wszelkich znaczących zmian w środowisku działania. Ponadto wskazuje, iż obserwator musi być w stanie poświęcić całą uwagę właściwej obserwacji i żadne inne obowiązki, które mogłyby zakłócać wykonywanie tego zadania nie powinny mu być zlecane ani przez niego podejmowane.

Dzięki właściwie prowadzonej obserwacji radarowej oficer wachtowy zyskuje potrzebny czas na podjęcie właściwej decyzji i uniknięcie ewentualnej sytuacji nadmiernego akwenu, natężenia ruchu innych statków w danym zbliżeniu (np. przez wykonanie manewru antykolizyjnego). W zależności od rejonie, warunków hydrometeorologicznych, właściwości manewrowych własnej jednostki oraz wielu innych, możliwe jest zaistnienie złożonej i trudnej sytuacji kolizyjnej, której właściwa interpretacja i rozwiązanie wymaga od oficera wachtowego większej ilości czasu. Sposobem na uzyskanie potrzebnego czasu jest możliwie szybka detekcja zagrażającego jednostce obiektu, w odległości zbliżonej do maksymalnej odległości wykrycia.

### **MAKSYMALNA ODLEGŁOŚĆ WYKRYCIA**

Odnosząc się do powyższych rozważań, w tym miejscu zasadnym wydaje się być zastanowienie, czym warunkowana jest maksymalna odległość wykrycia, co bezpośrednio oddziałuje na jej wartość, i jakie parametry odgrywają najważniejszą rolę w jej kształtowaniu?

Analizując zasadę pracy urządzeń radarowych wyróżnić możemy kilka metod określania odległości. Z uwagi na fakt, iż nie jest to przedmiotem niniejszej publikacji właściwym jest stwierdzenie, iż dominującą metodą określania odległości we współczesnych radarach nawigacyjnych jest metoda aktywna z pasywną odpowiedzią. Wykładnikiem wspomianej metody jest równanie zasięgu. Z uwagi na mnogość czynników wpływających na kształtowanie rzeczywistych warunków pracy radaru należy zwrócić uwagę na złożoność zagadnienia jakim jest maksymalna odległość wykrycia. Parametry opisujące warunki rzeczywiste nie mają niestety charakteru inwariantnego, a ich zmienność ma często charakter losowy, co jest spowodowane m.in. niejednorodnością atmosfery. Właściwym wnioskiem płynącym z analizy równania zasięgu jest determinujący wpływ

<sup>7</sup> *Międzynarodowa Konwencja o wymaganiach w zakresie wyszkolenia marynarzy, wydawania im świadectw oraz pełnienia wachty STCW 78/95* <http://www.abc.com.pl/du-akt/-/akt/dz-u-2013-1092> (dostęp 20.12.2017)

skutecznej powierzchni odbicia (SPO) na maksymalną odległość wykrycia<sup>8</sup>, im większe SPO tym większa maksymalna odległość detekcji.

Skuteczna powierzchnia odbicia (SPO)<sup>9</sup> oddaje złożoność budowy i kształtu obiektu. Jest definiowana jako powierzchnia, ustawiona prostopadle do padającej fali elektromagnetycznej, na którą zamieni się kształt wykrywanego obiektu, dając identyczny obraz na radarze, jak wykrywany cel. Jednostką SPO są m<sup>2</sup>.

W tym miejscu należy nadmienić, iż w chwili obecnej dla obiektów militarnych, sprzętu i uzbrojenia wojskowego dąży się do minimalizowania ich wykrywalności przez radary stosując technologię zmniejszania ich skutecznej powierzchni odbicia. Technologia ta nosi nazwę stealth i polega na dobraniu takiego kształtu i powierzchni, aby wysyłane promieniowanie ulegało rozproszeniu po zetknięciu się z celem. Na chwilę obecną nie istnieją obiekty niewykrywalne, jednakże współczesne osiągnięcia techniki dostarczają nam rozwiązań dla obiektów trudnowykrywalnych.

Skoro SPO przekłada się bezpośrednio na odległość z jakiej możemy wykrywać dany obiekt, a to z kolei odgrywa niepodważalną rolę w procesie zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi, to czy możemy przewidywać jej wartość?

W czasie realizacji pracy magisterskiej<sup>10</sup> zostały przeprowadzone badania mając na celu określenie możliwości predykcji odległości wykrycia obiektów zarówno tych nawodnych jak i powietrznych. Z uwagi na istotne znaczenie wykrywalności oznakowania nawigacyjnego jako obiektów nawodnych na bezpieczeństwo żeglugi zostanie ono omówione szerzej poniżej.

## **WYMAGANIA MIĘDZYNARODOWEJ ORGANIZACJI MORSKIEJ DLA PŁYWAJĄCEGO OZNAKOWANIA NAWIGACYJNEGO**

Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO) opracowała dokument określający minimalne wymagania dla pływającego oznakowania nawigacyjnego, którym jest Rezolucja IMO MSC.192(79)<sup>11</sup> przyjęta dnia 6 grudnia 2004. Wskazuje ona wymagania techniczno - eksploatacyjne dla urządzeń radarowych w zakresie wykrywalności omawianego oznakowania. Zgodnie z jej zapisami typowa pława nawigacyjna posiada SPO rzędu 5 m<sup>2</sup> dla pasma pracy X, natomiast

---

<sup>8</sup> A. Kwiecińska *Predykcja odległości wykrycia obiektów za pomocą radarów nawigacyjnych na potrzeby zwiększenia bezpieczeństwa żeglugi*, Gdynia, 2016

<sup>9</sup> J. Marszałkowski, *Radiolokacja morska cz. I*, Gdynia, 2004.

<sup>10</sup> A. Kwiecińska *Predykcja odległości wykrycia obiektów za pomocą radarów nawigacyjnych na potrzeby zwiększenia bezpieczeństwa żeglugi*, Gdynia, 2016

<sup>11</sup> T. Stupak, R. Wawrucha, M. Wąż, *Analiza porównawcza parametrów radarów statkowych*, [https://www.logistyka.net.pl/bank-wiedzy/pozostale-zagadnienia/item/download/75190\\_7222a8e0d2bbbe5eab0e269ccea638c0](https://www.logistyka.net.pl/bank-wiedzy/pozostale-zagadnienia/item/download/75190_7222a8e0d2bbbe5eab0e269ccea638c0) (dostęp 21.12.2017)

dla biernego reflektora radarowego przy tym samym paśmie SPO szacuje się na 10 m<sup>2</sup>, stąd otrzymuje się łączną wartość 15 m<sup>2</sup>. IMO w powyższym dokumencie określiło także minimalną odległość wykrycia pławy wyposażonej w bierny reflektor jak i bez niego. Wartości te zebrano i przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela 1. Minimalna odległość wykrycia wg IMO

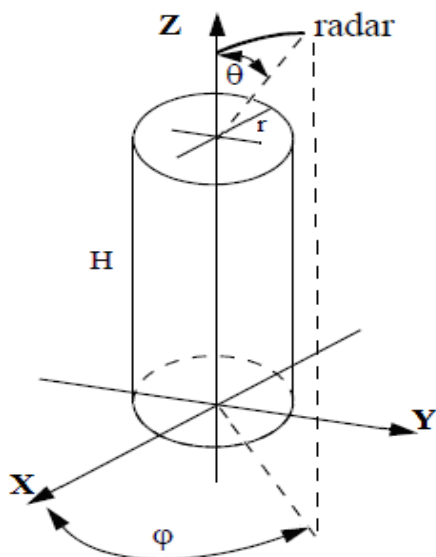
Obiekt odbijający	Wysokość pławy	Odległość wykrycia	
		Pasmo X	Pasmo S
Pława z biernym reflektorem radarowym	3,5 m	4,9 mili morskiej	3,6 mili morskiej
Pława bez biernego reflektora radarowego	3,5 m	4,6 mili morskiej	3 mile morskie

źródło: opracowanie własne na podstawie: Stupak T., Wawrucha R., Wąż M., *Analiza porównawcza parametrów radarów statkowych*

### **PREDYKCJA ODLEGŁOŚCI WYKRYCIA PŁAWY NAWIGACYJNEJ**

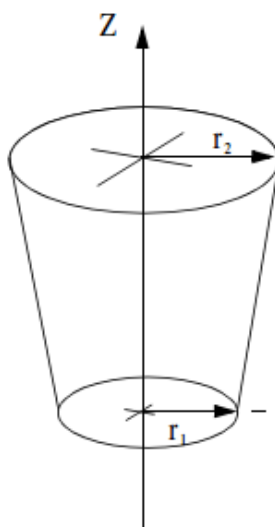
Na potrzeby realizacji pracy mojej pracy magisterskiej pt. „Predykcja odległości wykrycia obiektów za pomocą radarów nawigacyjnych na potrzeby zwiększenia bezpieczeństwa żeglugi” przeprowadzono próbę określenia odległości detekcji oznakowania nawigacyjnego dla pasma pracy radaru X. W tym celu pławę zbudowano z :

- walca,



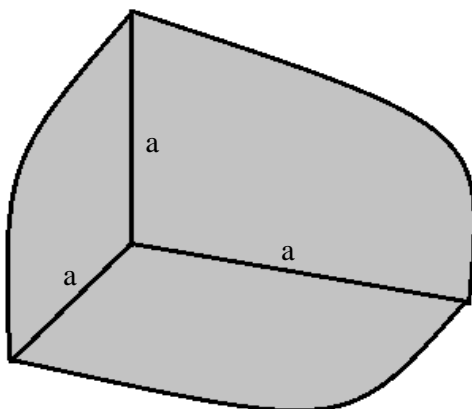
Rys. 1. Walec cylindryczny w sferycznym układzie współrzędnych  
źródło: Mahafza B., *MATLAB Simulations for Radar System Design*

- ściętego stożka,



Rys. 2. Walec cylindryczny w sferycznym układzie współrzędnych  
źródło: Mahafza B., *MATLAB Simulations for Radar System Design*

- biernego, trójściennego, kulistego reflektora radarowego.



Rys. 3. Naroże trójścienne, kuliste reflektora radarowego

źródło: Szklarski A., *Pomiary rzeczywistych wartości skutecznej powierzchni odbicia biernych reflektorów radarowych na przykładzie reflektora CYCLOPS 1*

Wynikiem czego, po obliczeniach wykonanych dla wymienionych powyżej części składowych otrzymano sumaryczną wartość SPO pławy ok 16,8 m<sup>2</sup>. Pomijając stosunkowo obszerny opis zastosowanej metody badawczej i wykorzystanych technik związanych z modelowaniem skutecznej powierzchni, po uwzględnieniu warunków rzeczywistych odgrywających istotną rolę kształtowaniu bezpieczeństwa żeglugi otrzymano przewidywaną odległość wykrycia około 5,42 Mm dla typowej pławy nawigacyjnej PM - 2.





Rys. 4. Pława typu PM-2 (GN)  
źródło: <http://ais.strefa.pl/i/GD.jpg>

W celu przeanalizowania otrzymanego wyniku należy porównać go z rzeczywistymi odległościami detekcji tego typu pławy otrzymanych w wyniku własnych pomiarów wykonanych na Zatoce Gdańskiej przeprowadzonych z pokładu ORP Wodnik.

Tabela 2. Zestawienie rzeczywistych i przewidywanych odległości wykrycia pław nawigacyjnych

Pława	Rzeczywista odległość wykrycia [nmile]	Rzeczywista odległość wykrycia [nmile]	Wymagana odległość wykrycia wg IMO [nmile]	Typ pławy <sup>12</sup>
GN	4,8	5,42	4,9	PM - 2
HEL	4,4			PM - 2
ZN	4,8			PM - 2
GD	5,8			PM - 2

źródło: opracowanie własne

Jak widać, szacowane wyniki są zbieżne zarówno z pomiarami wykonanymi w warunkach rzeczywistych jak i z wymaganiami stawianymi przez IMO. Z uwagi na powyższe można wysunąć wniosek, iż predykcja odległości wykrywania obiektów takich jak pływające oznakowanie nawigacyjne jest możliwa. Rozważając jednak ten problem, należy jednak zdawać sobie sprawę, że złożoności zagadnienia jakim jest propagacja fali elektromagnetycznej w warunkach rzeczywistych i jak wiele czynników rzutuje na pracę radaru na morzu.

Przedstawiając definicję bezpieczeństwa morskiego zaznaczono istotny wpływ warunków hydrometeorologicznych. W czasie analizowania problemu wykrywalności obiektów nawodnych przez radary nawigacyjne można zauważyć ten sam, determinujący wpływ wyżej wskazanych czynników. Są one bezpośrednio odpowiedzialne za otrzymywane zobrazowanie radarowe, co w sposób oczywisty przekłada się na bezpieczeństwo żeglugi. Takie zjawiska pogodowe jak deszcze, mgła i w mniejszym stopniu śnieg zmniejszają maksymalną odległość wykrycia obiektów na morzu.

## WNIOSKI

Odnosząc się całościowo do poruszonego problemu wpływu maksymalnej odległości wykrycia obiektów nawodnych na bezpieczeństwo żeglugi możemy zauważyć istotną rolę jaką odgrywa właściwa obserwacja prowadzona na statku. Jej kwestii poświęcone są zarówno przepisy MPDM, jak również wcześniej wspomniana konwencja STCW, co znalazło swoje odzwierciedlenie w zapisach dotyczące wymagań sprzętowych znajdujących się w Konwencji SOLAS. Obserwacja radarowa, prowadzona w sposób ciągły, właściwy, z uwzględnieniem

<sup>12</sup> Informacje z Bazy Oznakowania Nawigacyjnego Urzędu Morskiego w Gdyni

ograniczeń pracy radaru oraz przede wszystkim panujących aktualnie warunków hydrometeorologicznych pozwala na możliwie szybką i skuteczną detekcję obiektów nawodnych, zarówno oznakowania nawigacyjnego jak i jednostek pływających. Oficer wachtowy posiadając dzięki odpowiednio prowadzonej obserwacji obszernie i pełne informacje o aktualnej sytuacji wokół, może podjąć szybkie i skuteczne działanie w celu uniknięcia sytuacji nadmiernego zbliżenia, a w jej konsekwencji kolizji. Szeroko rozumiana i często wspomniana w nomenklaturze morskiej dobra praktyka morska bardzo często odnosi się do właściwej i uważnej obserwacji realizowanej przez cały skład wachty, za pomocą wszelkich dostępnych środków.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Kopacz Z., Morgaś W., Urbański J., *Bezpieczeństwo morskie i ochrona żeglugi oraz zarządzanie nimi; próba identyfikacji i specyfikacji przedmiotu*, „Przegląd Hydrograficzny nr 4”, Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej, Gdynia 2016.
- [2] Kwiecińska A., *Predykcja odległości wykrycia obiektów za pomocą radarów nawigacyjnych na potrzeby zwiększenia bezpieczeństwa żeglugi*, Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia 2016.
- [3] Mahafza B., *MATLAB Simulations for Radar System Design*, CRC Press LLC, Boca Raton, 2004.
- [4] Marszałkowski J., *Radiolokacja morska cz. I*, Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia 2004.
- [5] Rymarz W., *Międzynarodowe prawo drogi morskiej*, Trademar, Gdynia 1995.
- [6] Konwencja SOLAS Rozdział V <http://www.imo.org/en/OurWork/facilitation/documents/solas%20v%20on%20safety%20of%20navigation.pdf>
- [7] Międzynarodowa Konwencja o wymaganiach w zakresie wyszkolenia marynarzy, wydawania im świadectw oraz pełnienia wachty STCW 78/95 <http://www.abc.com.pl/du-akt/-/akt/dz-u-2013-1092>

- [8] Pietrzak A., *Współczesne bezpieczeństwo morskie*, <http://www.nowastrategia.org.pl/wspolczesne-bezpieczenstwo-morskie>
- [9] Stupak T., Wawrucha R., Wąż M., *Analiza porównawcza parametrów radarów statkowych*  
[https://www.logistyka.net.pl/bank-wiedzy/pozostale-zagadnienia/item/download/75190\\_7222a8e0d2bbbe5eab0e269ccea638c0](https://www.logistyka.net.pl/bank-wiedzy/pozostale-zagadnienia/item/download/75190_7222a8e0d2bbbe5eab0e269ccea638c0)

## **THE DISTANCE DETECTION OF OBJECTS USING NAVIGATION RADAR AND NAVIGATION SAFETY**

### **ABSTRACT**

The distance of detection is one of the most important parameters significantly affecting the safety of navigation. The device enabling the determination of this factor is a navigation radar. The aim of this article is to discuss the possibility of predicting the maximum detection distance of surface objects such as buoys. As a result, the possibility of predicting the maximum detection distance was confirmed which in further order gives an officer on the watch more time to make a right decision.