

MOŻLIWOŚĆ RADIOLOKACYJNEGO WYKRYCIA JACHTÓW MORSKICH

Andrzej Szklarski

Katedra Nawigacji, Akademia Morska w Gdyni
ul. Jana Pawła II 3, 81-345 Gdynia, Poland

1. WSTĘP

W ciągu ostatnich lat można zauważyć wyraźne zwiększenie natężenia ruchu statków jak również zwiększenie liczby jachtów morskich poruszających się w rejonach o dużym natężeniu ruchu. Taki stan rzeczy powoduje, że coraz częściej dochodzi do sytuacji nadmiernego zbliżenia jachtów ze statkami. Można się również spodziewać, że w ciągu najbliższych lat zjawisko to będzie się powiększało. W związku z powyższym należy sobie zadać pytanie jak tego typu sytuacji unikać i jak im przeciwdziałać.

W przypadku statków praktycznie jedynymi urządzeniami antykolizyjnymi zdolnymi do wykrycia jachtu i określenie jego parametrów ruchu jest radar lub radar ARPA. Niestety nawet najnowocześniejsze urządzenia radiolokacyjne stosowane na statkach nie są urządzeniami doskonałymi. Ich możliwości wykrywcze zależą od wielu czynników w tym między innymi od skutecznej powierzchni odbicia obiektu wykrywanego.

Skuteczna powierzchnia odbicia zależy nie tylko od wymiarów geometrycznych obiektu lecz również od materiału z którego jest wykonany oraz jego kształtu.

W przypadku jachtów zbudowanych z drewna lub tworzyw sztucznych to często mimo sporych wymiarów geometrycznych skuteczna powierzchnia odbicia jest niewielka, a w niektórych przypadkach nawet bardzo mała i bez stosowania odpowiednich urządzeń nie wystarczająca do zapewnienia wykrycia jachtu przez radary nawigacyjne.

2. JAKOŚĆ WYKRYCIA

Jednym z najważniejszych problemów radiolokacji jest ocena jakości wykrycia obiektu, a szczególnie obiektu znajdującego się pod przykryciem zakłóceń. Ze względu na losowy charakter zakłóceń oraz możliwość fluktuacji parametrów sygnału użytecznego decyzja o wykryciu obiektu może być prawidłowa lub błędna. Od prawidłowości podjętej decyzji

zależy tzw. jakość wykrywania, która z kolei jest zależna od następujących prawdopodobieństw:

1. Prawdopodobieństwo wykrycia P_d – występuje wówczas gdy sygnał użyteczny na wejściu odbiornika występuje i podejmuje się decyzję „obiekt jest”.
2. Prawdopodobieństwo fałszywego spokoju P_{fa} – występuje wówczas gdy sygnał użyteczny na wejściu odbiornika występuje i podejmuje się decyzję „obiektu nie ma”.
3. Prawdopodobieństwo fałszywego alarmu P_{fa} – występuje wówczas gdy sygnał na wejściu odbiornika nie występuje i podejmuje się decyzję „obiekt jest”.
4. Prawdopodobieństwo poprawnego niewykrycia P_{fa} – występuje wówczas gdy sygnał na wejściu odbiornika nie występuje i podejmuje się decyzję „obiektu nie ma”.

Ponieważ $P_d + P_d' = 1$ oraz $P_{fa} + P_{fa}' = 1$ to do oceny jakości wykrywania wystarczy znajomość P_d oraz P_{fa} .

Użytkownicy radarów są bardzo wymagający pod względem oczekiwanych wartości P_d i P_{fa} . Najczęściej oczekiwana wartość P_d zawarta jest w przedziale $0,5 \div 0,95$ a P_{fa} w przedziale $10^{-8} \div 10^{-4}$. W przypadku, gdy użytkownik korzysta z urządzeń radiolokacyjnych umożliwiających automatyczne śledzenie echa np. ARPA to P_d powinno wynosić 0,95 gdyż tylko wówczas istnieje pewność ciągłego i stabilnego śledzenia celu i wypracowania danych o jego ruchu. W radiolokacji morskiej najczęściej przyjmuje się, że prawdopodobieństwo fałszywego alarmu $P_{fa} = 10^{-6}$.

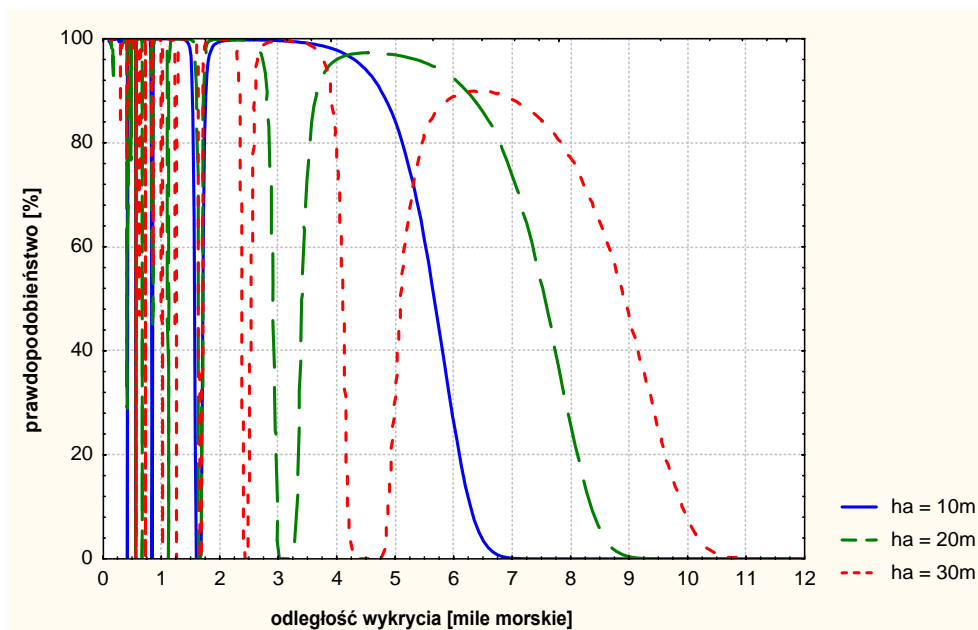
W celu wykonania obliczeń P_d , autor referatu skorzystał z programu CARPET 2.0 którego producentem jest TNO Physics and Electronics Laboratory (TNO-FEL) w Holandii. Program ten umożliwia obliczanie prawdopodobieństwa obiektu z uwzględnieniem wpływu zakłóceń pasywnych, aktywnych oraz wpływu środowiska. Dodatkowo program uwzględnia również wpływ współczynnika interferencji na zasięg radiolokacyjny oraz na tworzenie się wielolistkowej charakterystyki promieniowania w płaszczyźnie pionowej.

3. WYNIKI OBLICZEŃ TEORETYCZNYCH

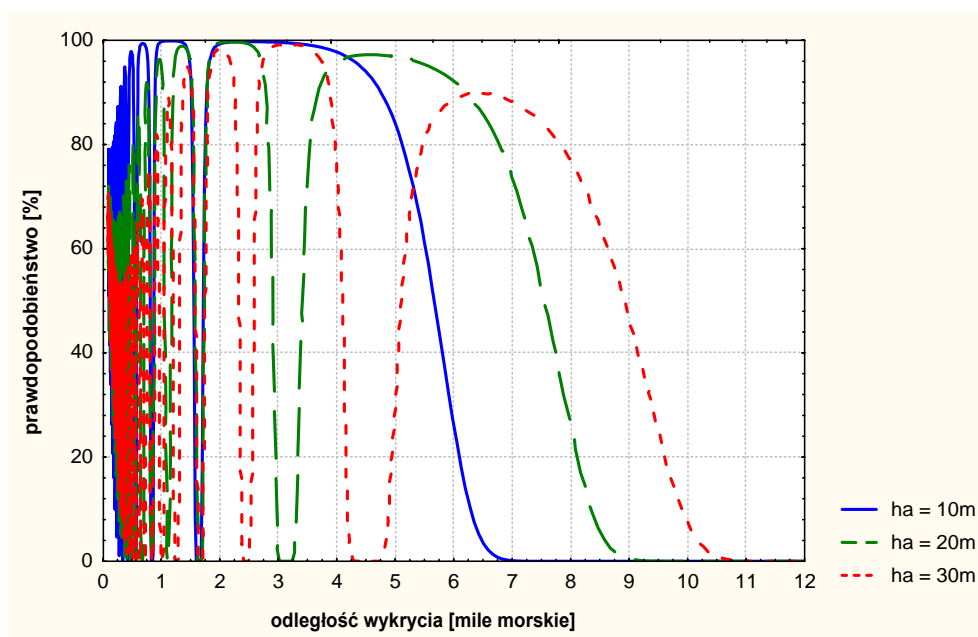
Punktem wyjścia do wykonania obliczeń teoretycznych jest oszacowanie średniej wielkości skutecznej powierzchni odbicia jachtu nie posiadającego reflektora radarowego. W tym celu wykorzystano wyniki badań prowadzonych na wodach Zatoki Gdańskiej w ramach badań własnych prowadzonych przez autora oraz prac dyplomowych studentów Akademii Morskiej. W prowadzonych badaniach wykorzystano jachty typu słup oraz jol z kadłubami drewnianymi oraz z tworzyw sztucznych o długości 9 do 13.5 m. Maszty badanych jachtów wykonane są z aluminium. Do badań wykorzystano sprzęt radiolokacyjny Akademii Morskiej oraz Urzędu Morskiego.

Na podstawie uzyskanych wyników autor szacuje, że wartość średnia skutecznej powierzchni odbicia jachtów waha się w przedziale od 0.1 do 0.3 m² [2]. Do obliczeń prawdopodobieństwa wykrycia jachtu bez reflektora przyjęto wielkość maksymalną 0.3 m². Obliczenia wykonano wykorzystując program CARPET 2.0. Obliczenia wykonano dla stanu morze 0, 2, 4, 6 i 8 z uwzględnieniem parametrów technicznych radaru Pathfinder ST MK II pracującego z anteną siedmiostopową umieszczoną na wysokości $h_a = 10, 20$ i 30 m n.p.m.

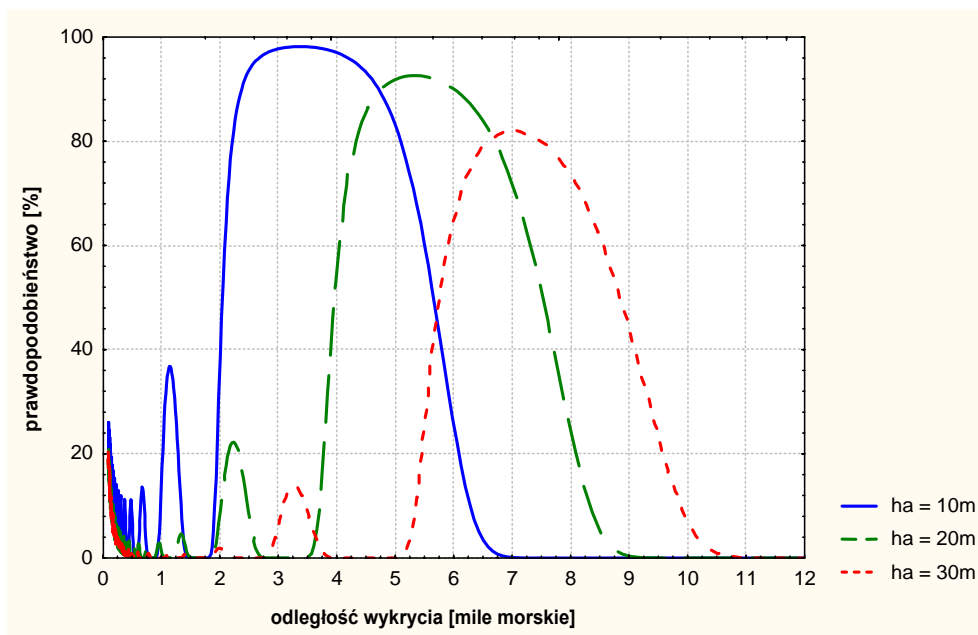
Wyniki obliczeń przedstawiono w formie graficznej na rysunkach 1, 2, 3, 4.



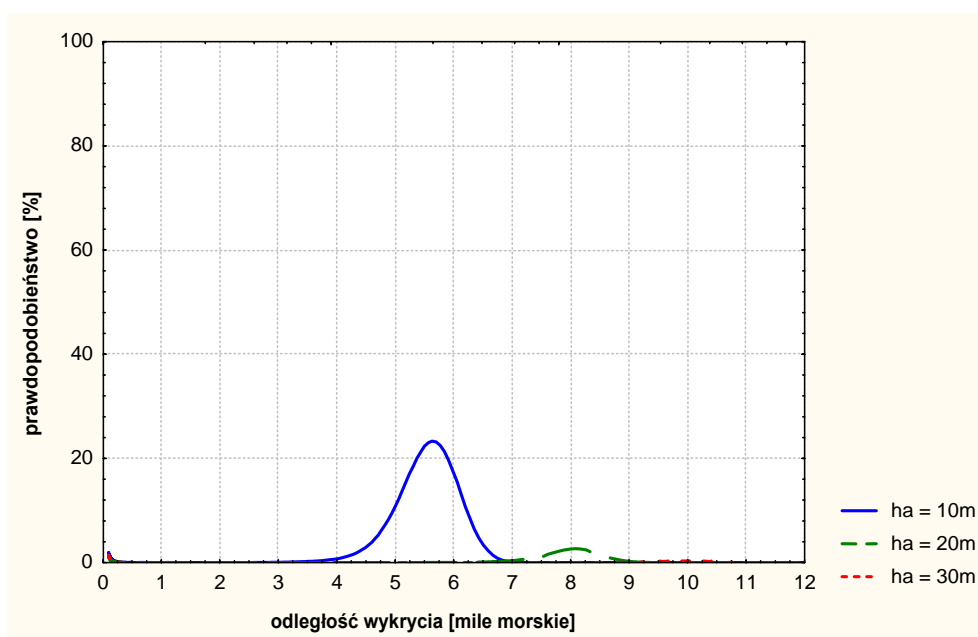
Rys. 1. Prawdopodobieństwo wykrycia jachtu dla stanu morza 0



Rys. 2. Prawdopodobieństwo wykrycia jachtu dla stanu morza 2



Rys. 3. Prawdopodobieństwo wykrycia jachtu dla stanu morza 6



Rys. 4. Prawdopodobieństwo wykrycia jachtu dla stanu morza 8

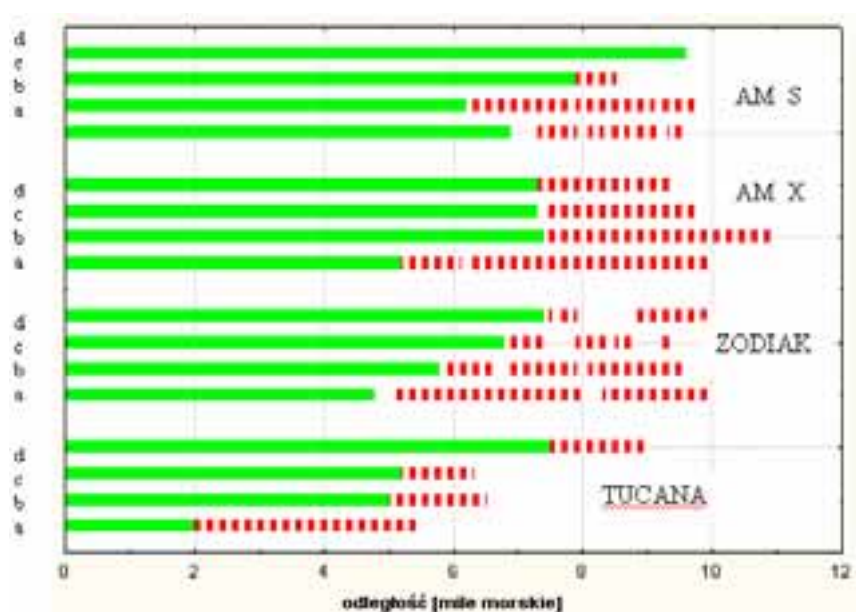
4. WYNIKI OBSERWACJI W WARUNKACH RZECZYWISTYCH

Na potrzeby niniejszego referatu wykorzystano wyniki obserwacji prowadzonych przez statki Urzędu Morskiego m/v Tucana i m/v Zodiak (rys.5) oraz radary Katedry Nawigacji Technicznej Akademii Morskiej typu Racal Decca pracujące w paśmie X i S.



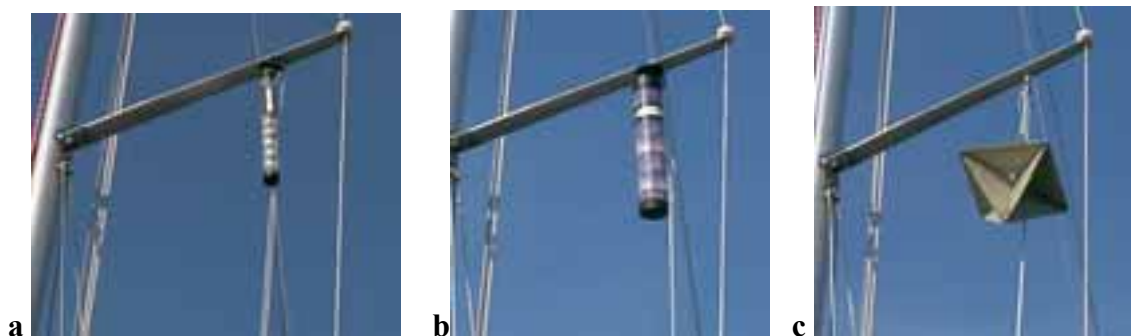
Rys. 5. Statku Urzędu Morskiego w Gdyni użyte do badań

Celem pomiarów zrealizowanych na obszarze Zatoki Gdańskiej było określenie możliwości wykrycia i śledzenia za pomocą radaru nawigacyjnego małych jednostek pływających bez reflektora radarowego oraz wyposażonych w bierne reflektory. Pomiary przeprowadzono dla dwóch jednostek pływających. Były to jachty „Almak” i „Polski Len” – siostrzana jednostka do zatopionego jachtu „Bieszczady”. W obu przypadkach jednostki bez zainstalowanego reflektora radarowego wypływały z Basenu Jachtowego w Gdyni w kierunku wschodnim. Na urządzeniach radarowych sprawdzano: ciągłość śledzenia i wykrycia jachtu. Wyniki obserwacji przedstawiono graficznie na rysunku 6.



Rys. 6. Wyniki obserwacji jachtów w warunkach rzeczywistych [2]

Na rysunku ciągłą zieloną linią oznaczono obszar stabilnego śledzenia jachtu, a przerywaną czerwoną linią, obszar w którym występowały obszary silnych fluktuacji i zaników sygnału. Małymi indeksami oznaczono: a – jacht bez reflektora, b – jacht z reflektorem Mobri M-2 o skutecznej powierzchni odbicia deklarowanej przez producenta równej 2 m^2 , c – jacht z reflektorem kolumnowym o skutecznej powierzchni odbicia deklarowanej przez producenta równej 4 m^2 , d – jacht z reflektorem standardowym o powierzchni skutecznej deklarowanej przez producenta równej 10 m^2 .



Rys. 7. Widok badanych reflektorów [3]
a – Mobri M2, b – kolumnowy, c – standardowy

Obserwacje w warunkach rzeczywistych prowadzono w dobrych warunkach hydrometeorologicznych. Siła wiatru wynosiła $3/4 \text{ }^0\text{B}$, a stan zatoki 1.

Studenci Akademii Morskiej prowadzą również obserwacje podczas odbywania praktyk eksploatacyjnych na statkach. W ramach gromadzenia materiałów do pracy inżynierskiej takie obserwacje prowadził również inż. Jarosław Dawid podczas praktyki na tankowcu m/t Nordic Akarita bandery norweskiej (rys.8).



Rys. 8. m/t Nordic Akarita

Obserwacje radarowe prowadzono w czasie wachty nawigacyjnej w dniach od 5 maja 2004 do 1 września 2004 na Morzu Północnym, Kanale Angielskim oraz Zatoce Biskajskiej. Statek m/t Nordic Akarita jest dużym zbiornikowcem o nośności ponad 107 tys. MT i następujących parametrach:

- długość 246.7 m
- szerokość 42.0 m
- wysokość 47.0 m

- zanurzenie letnie 15.2 m
- wolna burta 6.3 m
- prędkość eksploatacyjna 13.5 knt

Na mostku znajdują się dwa radary – ARPA firmy Raytheon

- Pathfinder ST Mk II pasma X
- Pathfinder ST Mk II pasma S

Wysokość umieszczenia anten to ok.: 33 – 40 m od lustra wody zależnie od stanu załadowania.

Poniżej przedstawiono kilka wybranych przykładów.

Obserwacja jachtu w dniu 22.05.2004 [3]

Stan morza 2/3. Brak opadów.

Statek płynął kursem pod wiatr i falę.

Obserwacja na radarze pasma S

Pierwszą fazę obserwacji jachtu rozpoczęto, gdy znajdował się on z prawej burty przed dziobem. Jacht zbliżał się do statku płynąc z wiatrem. Problemy z obserwacją echa radarowego i początek dużych fluktuacji zaczęły się w odległości 2.6 Mm. Zmiana na radarze zakresu obserwacji z 6 Mm na 3 Mm pozwoliły na dobrą obserwację echa radarowego zbliżającego się jachtu, do odległości 1.8 Mm gdzie nastąpił zanik echa.

Drugą fazą obserwacji rozpoczęto gdy jacht znalazł się na kursie oddalającym z lewej burty statku. Echo radarowe zostało wykryte na zakresie 3 Mm na odległości 1 Mm. Przełączenie zakresu obserwacji na 6 Mm spowodowało zanik echa. Na tym zakresie słabe i silnie fluktuujące echo pojawiło się na odległości 1.3 Mm. Dopiero na odległości 2.4 Mm ustały fluktuacje echa i można je było stabilnie śledzić. Sytuacja taka trwała do odległości 5 Mm kiedy to echo zaczęło słabnąć i fluktuować. Pierwszy zanik echa wystąpił na odległości 5.8 Mm, a na odległości 6 Mm wystąpił całkowity zanik echa.

Obserwacja na radarze pasma X

Wystąpiły bardzo duże problemy ze znalezieniem echa na ekranie radarowym i wyodrębnienia go wśród zakłóceń odbić sygnału od fal morskich. Echo zostało zidentyfikowane tylko na podstawie obrazu radaru 10 cm. Nie zauważono pojawienia się echa w drugiej fazie obserwacji tzn. w momencie oddalania się jachtu od statku.

Obserwacja jachtu w dniu 22.05.2004 [3]

Stan morza 2/3. Brak opadów.

Statek płynął pod wiatr i fale.

Jacht zbliżał się z kierunku lewej burty od dziobu statku. Zaobserwowano tylko pierwszą fazę, czyli zbliżanie się do statku.

Echo radarowe zauważono w odległości ok. 3 Mm i obserwowano je na ekranie radaru można do odległości ok. 2 Mm, na której obserwacja radarowa okazała się niemożliwa ze względu na zakłócenia od fal. Nie zaobserwowano echa radarowego w fazie oddalania się.

Obserwacja jachtu w dniu 30.05.04 [3]

Stan morza 1. Brak opadów.

Statek płynął kursem z wiatrem o prędkości poniżej 10 węzłów.

Pierwsza faza obserwacji to zbliżanie jachtu z lewej burty od dziobu. Bardzo słabe echo zauważono na radarze pasma S na zakresie 12 Mm w odległości 13 Mm (wskaźnik ustawiono z przesuniętym punktem startu podstawy czasu). Akwizycja była możliwa od 12 Mm (echo słabe fluktuujące). W odległości 4.8 Mm widoczna poprawa, echo średnie, stałe, możliwa ciągła obserwacja.

Na radarze X słabe fluktuujące echo wykryto na odległości 12 Mm. Na odległości 7 Mm zauważono zanik fluktuacji i wzrost echa. Na odległości 3.6 Mm amplituda echa zaczęła maleć i nastąpił stopniowy wzrost fluktuacji a na odległości 1.3 Mm całkowity zanik echa.

Drugą fazę obserwacji rozpoczęto gdy jacht znalazł się na kursie oddalającym od rufy statku z prawej burty. Słabe echo jachtu wykryto na odległości 1.3 Mm. Na odległości 2.5 Mm wystąpiła wyraźna poprawa sygnału echa. Na odległości 2.8 Mm zauważono silne fluktuacje, a następnie poprawę sygnału. Na odległości 5.5 Mm wystąpiły silne fluktuacje echa a na odległości 5.6 Mm echo zostało zgubione przez ARPA jednak możliwa była obserwacja wzrokowa. Na odległości 6.1 Mm nastąpił całkowity zanik echa.

Na radarze X słabe i silnie fluktuujące echo zostało wykryte na odległości 1.8 Mm. Słabe silnie fluktuujące echo obserwowano do odległości 2.5 Mm, na której nastąpił całkowity zanik.

Obserwacja jachtu w dniu 17.06.04 [3]

Stan morza 3. Brak opadów.

Kierunek wiatru od dziobu statku lekko z lewej burty

W pierwszej fazie jacht zbliżał się do statku kursem równoległym od dziobu z prawej burty. Jacht znajdował się w zakłóceniach od fal. Słabe ale niefluktuujące echo wykryto na radarze S na odległości 5.1 Mm. Na odległości 4.7 Mm amplituda echa zaczęła maleć a na odległości 4.1 Mm wystąpiły pierwsze fluktuacje, przy czym nadal było śledzone przez ARPA. Począwszy od odległości 3.1 Mm – echo coraz mniejsze i zmieszane z zakłóceniami, ale widoczne. Na 2.0 Mm – echo bardzo słabe, ale śledzone przez ARPA. 1.7 Mm – bardzo małe, w zakłóceniach. W odległości 1.45 Mm – duże fluktuacje. W odległości 1.3 Mm – echo zanika wśród zakłóceń. W odległości mijania równej 1.25 Mm echo jachtu ma wygląd taki sam jak zakłócenia od fali.

Na radarze pasma X słabe echo wykryto w odległości 4.7 Mm. Echo akwizowano do ARPA. Na odległości 2.0 Mm pojawiły się pierwsze fluktuacje. Na odległości 1.6 Mm, po wyłączeniu układu śledzenia echo niewidoczne i niemożliwe do wyróżnienia z sygnałów zakłóceń od fal.

Drugą fazę obserwacji pominięto.

Obserwacja kutra w dniu 19.08.04 [3]

Stan morza 7. Przelotne opady.

Statek utrzymywał kurs pod wiatr i dużą falę.

Od dziobu z lewej burty zbliżał się kontrkusem duży kuter rybacki. Dobrze widoczne na radarze S echo kutra było śledzone do odległości 4 Mm. Na odległościach mniejszych

pojawiły się fluktuacje ale echo było możliwe do obserwacji. Na radarze X, w odległości 4.0 Mm echo zostało zgubione przez ARPA.

Drugą fazę obserwacji pominięto.

Obserwacja jachtu w dniu 08.08.04 [3]

Stan morza 1. Brak opadów.

Jacht płynął na przecięcie kursu statku z prawej burty od dziobu. Obserwację rozpoczęto gdy jacht znajdował się na odległości 7 Mm. Echo śledzono do odległości 2 Mm, na której pojawiły się fluktuacje, a na odległości 1.8 Mm zanik echa.

Drugą fazę obserwacji pominięto.

Obserwacja jachtu w dniu 01.09.04 [3]

Stan morza 3. Brak opadów.

Zbliżanie się jachtu do statku. Początek obserwacji na radarze S oraz X na odległości 5 Mm. Echo słabo widoczne, zmieszane z zakłóceniami. Na odległości 4 Mm poprawa widoczności na radarze pasma S, lecz echo było nadal zmieszane z zakłóceniami. Na radarze X echo nadal małe, słabe, ale nadające się do obserwacji. W odległości 3.0 Mm – sytuacja podobna do tej, przy odległości 4 Mm. Echo na X dwa razy mniejsze niż na 10 cm, słabo widoczne, zmieszane z zakłóceniami.

Obserwacja grupy jachtów w dniu 22.05.04 [3]

Stan morza 3 - 4.

Statek płynął kursem pod wiatr i falę.

Napotkano na morzu grupę jachtów, które brały udział w regatach morskich. Wszystkie były podobnej klasy ok. 10 metrów długości, nie zaobserwowano jachtów dwumasztowych. Jachty zbliżały się do statku z lewej burty od dziobu i szły na przecięcie jego kursu.

ARPA zgubiła echa radarowe na radarze S pracującym na zakresie 6 Mm na odległości 2.5 Mm i w tym momencie obserwacja radarowa była mocno utrudniona. Przy 2.3 Mm nastąpił bardzo duży zanik ech praktycznie uniemożliwiający poprawną obserwację radarową.

W fazie oddalania się jednostek obserwowano moment pojawienia się jachtów nieco za lewym trawersem statku. Pierwsze echa nastąpiło przy odległości 1.6 Mm a przy 2.2 Mm były na tyle silne i stabilne, że mogły być śledzone przez ARPA.

Dwadzieścia ech radarowych jachtów, biorących udział w regatach morskich, przestało być widoczne w odległości od statku ok.: 12 Mm. Początek zaniku i pierwsze fluktuacje zaczęły się przy 6.5 Mm.

5. WNIOSKI

Obliczenia teoretyczne wykazują, że na odległościach mniejszych od maksymalnej odległości wykrycia mogą występować strefy w których prawdopodobieństwo wykrycia jachtu może być znacznie mniejsze od maksymalnego. Wielkość tych stref zależy między innymi od: skutecznej powierzchni odbicia jachtu, wysokości instalacji anteny radaru oraz

stanu morza. Analiza obliczeń teoretycznych wykazuje, że im wyżej podniesiona antena tym większe strefy zaniku. W praktyce sprowadza się to do postawienia następującego wniosku. Im większy statek, im wyżej posadowiona antena radaru tym gorsze właściwości wykrywania małych obiektów pływających na małych odległościach. Można przyjąć, że przy wyższych stanach morza, a więc w warunkach sztormowych, jachty, a szczególnie jachty bez reflektora lub z reflektorem o niewielkiej skutecznej powierzchni odbicia są praktycznie niewidoczne na ekranach radarów statków morskich.

Fakt występowania stref zaniku potwierdzają obserwacje w warunkach rzeczywistych.

Z obserwacji prowadzonych na tankowcu m/t Nordic Akarita podczas normalnych wacht nawigacyjnych wynika, że większość obserwowanych jachtów wykrywano na odległościach poniżej 6 Mm, a całkowite zaniki echa występowały na odległościach poniżej 2 Mm. Należy przy tym pamiętać, że ze względu na zbieranie materiału do pracy dyplomowej jednego z praktykantów obserwację małych jednostek na tym statku prowadzono ze szczególną uwagą. W praktyce w warunkach dobrej widzialności oficer nawigacyjny na statku nie jest zobowiązany do prowadzenia ciągłej obserwacji radiolokacyjnej, a więc ekran radarowy obserwowany jest „od czasu do czasu”. W zależności od sytuacji przerwy w obserwacji ekranu radaru wynoszą od kilku do nawet kilkunastu minut a obserwacja trwa około minuty. Może się więc często okazać, że pomimo pojawienia się echa jachtu na wskaźniku ekranu jacht nie zostanie wykryty przez wachtę nawigacyjną.

Ciągłą obserwację prowadzono z wykorzystaniem radarów nawigacyjnych na statkach Urzędu Morskiego oraz w laboratorium radarowym Katedry Nawigacji Technicznej. Obserwacje te potwierdziły oczywistą zdawałoby się tezę, że wyposażenie jachtu w reflektor radarowy wyraźnie poprawia jego możliwości wykrycia przez radar. Pomimo oczywistości tej tezy warto przynajmniej części społeczności żeglarskiej uwidocznic ten bezsporny fakt. Jednocześnie obserwacje te potwierdziły niewielką przydatność reflektorów niekonwencyjnych Mobri M-2 i reflektora kolumnowego.

Możliwości wykrywania jachtów przez radary statkowe to zdaniem autora jedno z ważniejszych zagadnień związanych z bezpiecznym uprawianiem żeglarstwa morskiego. Wydaje się, że powinno się mu poświęcać więcej czasu na różnego rodzaju szkoleniach czy kursach żeglarskich zarówno tych obowiązkowych jak i nieobowiązkowych. Niestety z przykrością należy stwierdzić, że szkoleniami z tego zakresu nie jest zainteresowany ani Polski Związek Żeglarski, ani kluby ani większość środowiska żeglarskiego

BIBLIOGRAFIA

1. A.G. Huizing, A. Theil: *CARPET Version 2.0 Computer-Aided Radar Performance Evaluation Tool*, Developed at the TNO Physics and Electronics Laboratory,
2. A. Szklarski, *Opinia uzupełniająca do opinii „Możliwość wykrycia jachtu s/y Bieszczady przez radary pokładowe statku m/v Lady Elena” z dnia 06 września 2004.* Gdynia 2006.
3. J. Dawid. *Możliwości wykrycia jachtu za pomocą radaru statkowego.* Praca inżynierska, Akademia Morska, Gdynia 2005,
4. *Opracowanie Urzędu Morskiego w Gdyni przedstawione Izbie Morskiej w Gdańsku dotyczące wykrywalności jachtów,* Gdynia 2006.