

Tadeusz STUPAK¹
Ryszard WAWRUCH²

WPLYW ZAKŁÓCEŃ GENEROWANYCH PRZEZ FARMY ELEKTROWNI WIATROWYCH NA PRACĘ RADARÓW STATKOWYCH I UKŁADÓW ŚLEDZENIA

Elektrownie wiatrowe budowane na morzu są bardzo dobrze wykrywane za pomocą radarów statkowych, ale również są źródłem zakłóceń. W referacie przedstawiono obrazy radarowe farm i generowanych przez nie zakłóceń, omówiono zasady regulacji obrazu radarowego podczas żeglugi w pobliżu i wewnątrz farmy. Przeanalizowano również wpływ tych zakłóceń na pracę ARPA.

DISTURBANCES' GENERATED BY WIND ELECTRICITY FARM INFLUENCE ON SHIPS' RADAR AND TRACKING UNITS WORK

Wind electricity build on a Sea are very good detected by ships' radar, but they are quell of disturbances. In the article radar picture of wind farm and disturbances generated by it are shown. The principles of radar regulation during sailing close to farm or inside are discussed. Influence these disturbances on ARPA work are analyzed here too.

1. WSTĘP

Energia wiatru jest obecnie najszybciej rozwijającym się źródłem pozyskiwania energii na świecie, z rocznym przyrostem około 29%. [8]

Duńska farma wiatrowa Vindeby została zbudowana jako pierwsza na morzu w 1991. Wiele morskich farm wiatrowych jest obecnie projektowanych, lub budowanych. Na morzu spotykane sztuczne wysokie konstrukcje to głównie platformy wiertnicze. Są one zwykle ustawione z dala od brzegów, są dobrze widoczne i oświetlone. Mogą być wykorzystywane jako znaki nawigacyjne. Wokół nich ze względów bezpieczeństwa wyznaczono strefy ochronne zamknięte dla żeglugi. Na naszych wodach Przedsiębiorstwo Petrobaltic eksploatuje złoża ropy i gazu z platform ustawionych na północ od Rozewia. Doświadczenia na temat bezpieczeństwa platform mogą być wykorzystane podczas projektowania farm.

¹Akademia Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny 81 345 Gdynia, Al. Jana Pawła II 3 tel.: tel:+48 58 69 01 135,
e-mail: stupak@klif.am.gdynia.pl

²Akademia Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny 81 345 Gdynia, Al. Jana Pawła II 3 tel.: tel:+48 58 69 01 127,
e-mail: wawruch@am.gdynia.pl

2. WPLYW FARM WIATROWYCH NA OBRAZ RADAROWY

Elektrownia wiatrowa to konstrukcja stalowa o wysokości nieraz ponad 100m instalowana w strefie przybrzeżnej, lub na akwenach o małych głębokościach, która wytwarzaną energią elektryczną musi dostarczyć na ląd. Sama konstrukcja jest dobrze widoczna i właściwie oświetlona może być wykorzystywana jako znak nawigacyjny, ale z drugiej strony będzie utrudniała obserwację innych obiektów i znaków np. na lądzie, lub innych operujących w jej pobliżu jednostek.



Rys.1. Obraz farmy elektrowni na ekranie radaru KH 3000 (Zdjęcie autora)

Właściwości odbijania promieniowania mikrofalowego przez konstrukcję elektrowni wiatrowej są bardzo dobre, ponieważ jest to duży obiekt wykonany z dobrze odbijających materiałów. Samo obracające się śmigło ma powierzchnię około 40 m², jednak jego ustawienie jest zmienne zależnie od kierunku wiatru. Należy się spodziewać, że skuteczna powierzchnia odbicia będzie różna dla różnych kierunków. Turbina wiatrowa składa się cylindrycznej wieży o średnicy np. około 5m i wysokości 70 metrów wykonanej ze stali. Stanowi ona bardzo dobry reflektor radarowy odbijający we wszystkich kierunkach. Dodatkowe pomosty i drabinki dają konstrukcję o skutecznej powierzchni odbicia równą 80 m². Trzy obracające się śmigła stanowią powierzchnię odbicia około 200 m², a dolny betonowy podest dodatkowo powoduje powierzchnię odbicia 16 m², co w sumie daje skuteczną powierzchnię odbicia około 300 m². Z powodu tak dużej powierzchni odbicia konstrukcje turbin wiatrowych na morzu powodują powstawanie na ekranie radaru odbić pośrednich i wielokrotnych, a w małych odległościach sygnał odbity od elektrowni może być rejestrowany również na kierunkach listków bocznych. Farma wiatrowa na ekranie radaru jest obserwowana jako zbiór ech regularnie rozmieszczonych w czworoboku (Rys. 1).

Występują dwa przypadki obserwacji radarowych z udziałem elektrowni wiatrowych, a mianowicie, gdy statek znajduje się poza obszarem farmy i gdy operuje wewnątrz tego pola.

Rys. 2 przedstawia obraz radarowy zarejestrowany na statku „Dar Młodzieży” płynącym na Morzu Północnym w pobliżu farmy elektrowni wiatrowych, która jest widoczna w górnej części ekranu i ma kształt czworoboku składającego się z wielu dobrze widocznych ech równomiernie rozmieszczonych. W centrum ekranu znajduje się kilka ech innych statków płynących w pobliżu, sygnał raconu, oraz zakłócenia od powierzchni morza. W sektorze 280° – 295° pojawiają się echa opadów atmosferycznych. Zakłócenia obrazu spowodowane obiciami pośrednimi konstrukcji elektrowni występują w sektorze pomiędzy 300° do około 315° . Występowanie wielu odbić fałszywych utrudnia obserwację radarową i rozprasza uwagę obserwatora, który ma znacznie większą liczbę ech do analizy, co w sytuacji dużego natężenia ruchu w tym rejonie może prowadzić do niebezpiecznych sytuacji. Szczególnie dużo zakłóceń na ekranie radaru jest generowanych, jeżeli statek przepływa w niewielkiej odległości od tych konstrukcji, ponieważ występuje na nim bardzo dużo ech, z czego część jest efektem fałszywych odbić od konstrukcji statku własnego i powoduje powstanie wielu ech o znacznej szerokości niewielkiej jasności, które są pośrednim obrazem części farmy.

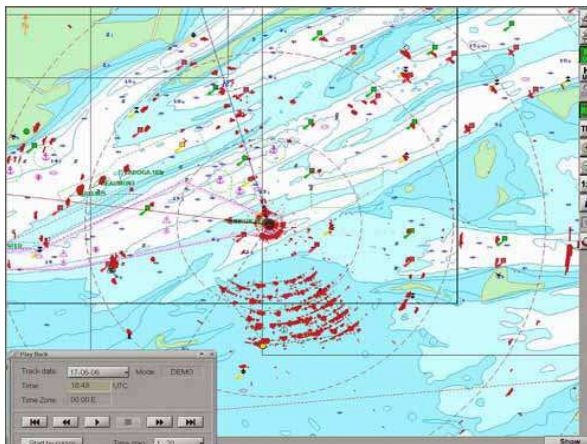


Rys.2 Farma na Morzu Północnym ($55^{\circ} 43'N$, $007^{\circ} 24'E$) (zdjęcie autora)

Na rys. 3 pokazano sytuację, gdy echa pośrednie z prawej burty statku wyglądają jak rzeczywiste obiekty, natomiast w pobliżu samej farmy pojawiają się echa o dużej szerokości kątowej pochodzące od statku operującego w pobliżu farmy.



Rys. 3. Obraz radaru pasma X [6]



Rys. 4 Obraz radarowy farmy prezentowany na ECDIS [6]

Na rys. 4 pokazano obraz radarowy farmy zarejestrowany na mapie elektronicznej. Jego jakość jest bardzo niska i interpretacja tego, co widzimy na ekranie praktycznie jest nie możliwe. Sygnały radarowe odbite od konstrukcji farmy są nieostre i mają dużą szerokość kątową, co powoduje, że cały obszar jest jednym dużym echem o rozmytych konturach, ponadto pojawiają się zakłócenia obrazu, co bardzo utrudnia wykrywanie ech ważnych dla bezpieczeństwa.

Podczas żeglugi w pobliżu farm wiatrowych na ekranie radaru występują zakłócenia obrazu spowodowane występowaniem ech od listków bocznych w postaci szerokich kątowo wielu ech, zwiększenie długości echa, odbicia sygnału od konstrukcji statkowych powodują pojawianie się ech fałszywych – pośrednich, występowanie wielokrotnych odbić sygnały od konstrukcji turbin i statku – wielokrotne odbicia, oraz powodowanie przez konstrukcje turbin cieni radarowych.

Nie stwierdzono różnic w obrazie radarowym prezentującym farmy wiatrowe pomiędzy radarami pracującymi w paśmie S i X. Stwierdzono na podstawie informacji uzyskanych od pilotów prowadzących statki w rejonie farmy, że nie występują problemy z manewrowaniem statkiem w pobliżu konstrukcji turbin wiatrowych, jeżeli odległość do turbin nie jest mniejsza niż 1 mila morska.

Zanotowano wiele przypadków ograniczenia zasięgu działania radaru lub urządzeń AIS prezentowanych na mapie elektronicznej. Wielu kapitanów statków donosiło o przewadze informacji prezentowanych na małym ekranie urządzenia AIS w stosunku do prezentacji na mapie elektronicznej dla unikania z sytuacji nadmiernego zbliżenia. Należy pamiętać, że AIS jest instalowany na statkach powyżej 300 GT, więc nie wszystkie jednostki transmitują informacje o sobie.

2.1 Obserwacje na małych statkach

Innego rodzaju wymagania, możliwości i ograniczenia mają duże statki, a innego małe. Dlatego przeprowadzono również eksperymenty nawigacyjne na małym statku operującym

w rejonie farmy elektrowni wiatrowych. Wykorzystano statek przedsiębiorstwa Marico Marine o nazwie Morven o długości 20m.



Rys. 5 Obraz radarowy na zakresie 3 Mm [8]

Obserwacja obrazu radarowego na małym statku stwarza inne ograniczenia niż spotyka się na statku handlowym. Przede wszystkim ekran jest mniejszy, a mniejsze wymiary anteny powodują, że echa mają szerokość większą. Zarejestrowano obraz radaru, gdy motorowy jacht znajdował się wewnątrz farmy. Obraz radarowy jest zorientowany względem dziobu (Head up), co na skutek myszgowania powoduje zwiększenie kąтового wymiaru ech. Statek porusza się w kierunku SW. Praktycznie środek ekranu i sektor rufowy jest tak jasny, że w tym obszarze nie widać żadnych ech. Turbiny wiatrowe widoczne są w postaci bardzo jasnych ech. Bliskie konstrukcje wiatraków powodują generację ech o dużej szerokości.

Obserwacje radarowe prowadzone na statku Moren były z wykorzystaniem radaru FURUNO FR 2125 BB (pasma X) z nadajnikiem o mocy szczytowej 25 kW i 8 stopowej antenie (2,4m). Na obrazie tym występuje wiele ech i pośrednich, które prawie uniemożliwiają korzystanie z niego (Rys. 5). Statek operujący wewnątrz farmy powinien używać radaru na zakresie nie większym niż 1,5 Mm.

Na podstawie przedstawionych poprzednio obrazów radarowych oraz zebranych doświadczeń można stwierdzić, że farmy wiatrowe są wykrywane za pomocą radarów statkowych niezależnie, w jakim paśmie pracują z dużej odległości i mogą służyć jako orientacyjny znak nawigacyjny. Dobrze widoczny i łatwy do identyfikacji na radarze jest sam obszar farmy, więc wykorzystując radar można bez trudu utrzymywać statek w odpowiednio dużej odległości od niej. Jednak silny sygnał radarowy odbity od konstrukcji turbin powoduje powstawanie na ekranie radaru dodatkowych ech odbić pośrednich, wielokrotnych, jak również rejestrowane są sygnały na kierunkach listków bocznych, co poważnie zaciemnia obraz radarowy, gdy statek przepływa w pobliżu farmy, lub operuje wewnątrz tego obszaru. Ze względu na dużą liczbę rejestrowanych odbić fałszywych, należy wówczas używać mniejszego poziomu wzmocnienia ogólnego, co

utrudnia obserwację radarową małych jednostek. Należy zauważyć, że farma wiatrowa będzie powodowała występowanie cieni radarowych to znaczy, że za tym obrazem mogą nie być wykrywane inne obiekty.

2.2 Regulacja obrazu radarowego

Obraz na ekranie radaru płynącego w obrębie farmy turbin wiatrowych, lub w jej pobliżu jest odmienny od normalnego obrazu radaru statku w morzu i powinien być inaczej regulowany. Jeżeli wzmocnienie zostanie ustawione na małym poziomie, to turbin jest bardzo dobrze czytelny, występuje pewna liczba odbić fałszywych, ale nie utrudniają one obserwacji, ale mogą nie być widoczne małe obiekty. Automatyczny poziom jest w tych warunkach nieużyteczny, ponieważ echa od konstrukcji turbin mają za duży poziom i powoduje to rozmycie konturów i trudno prowadzić obserwację na takim ekranie.

Jak możemy wnioskować na podstawie obserwacji, gdy statek nawiguje w pobliżu turbin wiatrowych regulacja obrazu radarowego ma być wykonywana ze szczególną ostrożnością, ponieważ zbyt duży poziom wzmocnienia sygnału radarowego spowoduje, że obraz stanie się nieczytelny, a przy zbyt małym wzmocnieniu będą dobrze widoczne echa turbin, ale nie będą rejestrowane echa innych małych jednostek, co stwarza poważne niebezpieczeństwa dla żeglugi.

Można ustalić zalecenia na temat ustawiania obrazu radarowego w zasięgu widzialności farmy turbin wiatrowych:

- Ustawienie wysokiego poziomu wzmocnienia sygnału radaru, jaki jest zwykle używany spowoduje rejestrację ech od listków bocznych obrazu turbin;
- Użycie automatycznego nastawienia poziomu wzmocnienia, lub ustawienia go na średnim poziomie spowoduje redukcję zakłóceń spowodowanych listkami bocznymi, ale spowoduje to zmniejszenie zasięgu wykrywania małych jednostek, lub oznakowania nawigacyjnego;
- Ustawienie minimalnego poziomu wzmocnienia pozwala na obserwację radarową farmy bez zakłóceń, ale spowoduje nie wykrywanie małych statków i oznakowania nawigacyjnego.

Zbliżając się do farmy turbin wiatrowych obraz na radarze 10 cm (pasma S) do odległości 1,5 mili był lepszy niż na radarze pracującym w paśmie X (3 cm). Jednak w odległości 0,6 mili już sytuacja była diametralnie odmienna. Radar S rejestrował wysoki poziom zakłóceń spowodowanych sygnałami odbieranymi na kierunkach listków bocznych. Antena radaru pracującego na dłuższej fali ma z konieczności gorszą charakterystykę, ponieważ poziom listków bocznych maleje wraz ze wzrostem wymiarów anteny liczonej w stosunku do długości fali. Redukcja wzmocnienia radaru powoduje, że wykrywanie tratw czy łodzi ratunkowych nie jest możliwa, dlatego spowoduje to utrudnienia podczas prowadzenia akcji SAR w pobliżu farmy. Może to również utrudniać wykorzystanie radaru do celów antykolizyjnych.[4]

Obecnie testowane są nowe typy radarów i należy zwracać uwagę na te problemy producentom, co obecnie postuluje Komitet Bezpieczeństwa Morskiego IMO.

2.3 Wpływ zakłóceń generowanych przez farmy na układy śledzenia

Ze względu na liczne echa występujące na ekranie radaru mogą występować zakłócenia śledzenia ech statków takie same, jakie pojawiają się w innych obszarach, gdzie występują liczne echa. W tym wypadku, jeżeli dwa echa przechodzą blisko, ARPA może zamienić echa, lub zgubić ze śledzenia. W tym obszarze nie należy używać automatycznej akwizycji, ponieważ będą wprowadzane do śledzenia echa pośrednie, które następnie zostaną zgubione i będzie generowanych dużo alarmów rozprasających pracę operatora.

3. WNIOSKI

Zdecydowany wpływ farmy produkcji energii wiatrowej występuje na systemy radiolokacyjne statku. Stwarza ona nowe problemy związane z regulacją i interpretacją obrazu radarowego. Podobne problemy występują na radarze niezależnie od pasma, w jakim pracuje. Jest to spowodowane dużą wysokością konstrukcji turbin generatorów wiatrowych i metalową konstrukcją, co powoduje, że skuteczna powierzchnia odbicia jest duża. Powoduje powstawanie ech pośrednich wielokrotnych i od listków bocznych, ale również generuje sektory cieni. Skutkiem jest trudne wykrywanie innych jednostek operujących w obszarze farmy, ale również przed nią. Nawigacja w pobliżu farmy wymaga innego regulowania obrazu radarowego, co może spowodować niewykrywanie innych jednostek. Detekcja sygnałów jednostek operujących w obszarze farmy nie zawsze jest możliwa. Problemy stwarza również śledzenie jednostek przez ARPA, jeżeli znajdują się one w pobliżu konstrukcji turbiny. Również zmniejszenie wzmocnienia sygnału radarowego może spowodować gubienie ze śledzenia ech ważnych nawigacyjnie przez ARPA.

Ze względu na duże wymiary i dobre właściwości odbijające, echo pochodzące od turbiny ma większe wymiary niż to wynika z jej wymiarów i właściwości radaru.

W odległościach poniżej 6 mil morskich od farmy należy spodziewać się możliwości występowania fałszywych odbić od obiektów farmy.

Duże statki przepływające w pobliżu farmy są obserwowane na radarze bez problemów z detekcją ich sygnałów.

Farma jest wykrywana za pomocą radaru statkowego z odległości powyżej 12 mil.

W małych odległościach od farmy (poniżej 1 Mm) radar pracujący w paśmie X jest bardziej przydatny niż radar pasma S ze względu na wyższe parametry anteny.

Należy liczyć się z ograniczeniami widzialności znaków nawigacyjnych w tym również raconów w rejonie farm wiatrowych.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Pyman M. A. F., Austin J. S., Lyon P. R., *Ship/Platform Collision Risk in the U.K. Sector*, IABSE Colloquium Copenhagen, 1983.
- [2] Fujii Y., *Integrated Study on Marine Traffic Accidents*, IABSE Colloquium Copenhagen, 1993
- [3] Macduff T., *The Probability of Vessel Collisions*, Ocean Industry, 1974, p. 144-148.
- [4] Pedersen P. T., *Probability of Grounding and Collision Events. Risk and Response*, 22nd WERGEMT Graduate School, 1995.

-
- [5] Karlsson M., Ramussen F. M., Frisk L., *Verification of ship collision frequency model*, Proceedings of the international symposium on advances in ship collision analysis, 1998, p. 117-121.
 - [6] *Guidance on Environmental Consideration for Offshore Wind Farm Development*, OSPAR Commission, 2008.
 - [7] *Horn rev. offshore wind farm*. Environmental Impact Assessment, summary of EIA report, ELSAMPROJEKT A/S, 2000.
 - [8] *Marine Guidance Note MGN 371 (M+F) Offshore Renewable Energy Installations (OREIs): Guidance on UK Navigational Practice, Safety and Emergency Response Issues*, Maritime and Coastguard Agency, Southampton, 2008.
 - [9] *Marine Guidance Note MGN 372 (M+F) Offshore Renewable Energy Installations (OREIs): Guidance to Mariners Operating in the Vicinity of UK OREIs*, Maritime and Coastguard Agency, Southampton, 2008.
 - [10] *Methodology for Assessing Risks to Ship Traffic from Offshore Wind Farms. VINDPILOT-Report to Vattenfall AB and Swedish Energy Agency*, SSPA Sweden AB, 2008.
 - [11] *Review of the Current State of Knowledge on the Environmental Impacts of the Location, Operation and Removal/Disposal of Offshore Wind Farms*, OSPAR Commission, 2006.
 - [12] *Steps taken to address navigational safety in the consent regime for establishment of wind farms off the UK coast*, Maritime and Coastguard Agency, Southampton, 2003.
 - [13] *The Background Document on Problems and Benefits Associated with Development of Offshore Wind Farms identifies some of the potential advantages and disadvantages of offshore wind farms*, OSPAR Commission, 2004.