

ŚWIERCZYŃSKI Sławomir, WAŹ Mariusz, STUPAK Tadeusz

## MOBILNA PLATFORMA POMIAROWA DLA BADANIA SKUTECZNEJ POWIERZCHNI ODBICIA

### *Streszczenie*

*Duże budowle offshore stawiane na akwenach wodnych stanowią niebezpieczeństwo dla bezpiecznej żeglugi. Jednym z niekorzystnych czynników występowania farm wiatrowych są zakłócenia w funkcjonowaniu systemów radiolokacyjnych. W artykule przedstawiono mobilną platformę pomiarową do badania oddziaływania turbiny wiatrowej na działanie radaru nawigacyjnego. Wstępne wyniki eksperymentów zostały również przedstawione.*

### WSTĘP

W strefie przybrzeżnej, bardzo silnie eksploatowanej przez człowieka, pojawia się coraz więcej budowli i różnego rodzaju dużych konstrukcji hydrotechnicznych. Lokalizacja, rozmieszczenie oraz ich wielkość wpływa na bezpieczeństwo żeglugi jednostek tam manewrujących. Nierzadko wielkie konstrukcje stawiane są w pobliżu intensywnych tras żeglugowych. Samo ich pojawienie się spowodowało zmiany w sposobie manewrowania, modyfikacji ustalonych tras, częstości wyznaczania pozycji obserwowanej, która powinna dowiązać się do występowania nowego niebezpieczeństwa nawigacyjnego. W pobliżu takich budowli w strefie przybrzeżnej wymagane jest także zwiększenie intensywności prowadzenia obserwacji wzrokowej i technicznej z udziałem systemów radiolokacyjnych. Z reguły obserwowane obiekty widoczne są z dużych odległości. Zależy to z ich konstrukcji, rozmiarów. Dla radarów znaczenie ma także materiał, z którego wykonano daną konstrukcję. Wynika to z właściwości odbijających wiązkę radarową. Z jednej strony silne echo radarowe od takich konstrukcji jest pożądane gdyż zawsze widoczny obiekt na radarze (w różnych warunkach hydrometeorologicznych i propagacji fali radiowej) wpływa na prowadzenie nawigacji. Z drugiej strony, może okazać się, że silne echo radarowe od obiektu, może wprowadzać zakłócenia prowadzenia obserwacji, oraz identyfikacji kluczowych elementów mających wpływ na bezpieczeństwo prowadzenia żeglugi. Należy zastanowić się nad wpływem pojawienia się na wskaźnikach radarowych silnych ech radarowych na zobrazowanie pozostałych obiektów występujących w ich pobliżu (np. małych obiektów nawodnych). Określenie minimalnej odległości rozróżnienia obiektów występujących w ich pobliżu może być w tym zagadnieniu kluczowe. Powyższe zagadnienia powinny być brane pod uwagę na etapie projektowania nowych konstrukcji oraz planowania ich rozmieszczenie na akwenie w strefie przybrzeżnej. W tym celu niezbędne jest prowadzenie badań (pomiarów) skutecznej powierzchni odbicia, mocy sygnału echa radarowego na tle szumów, możliwości rozdzielczych obiektów pobliskich, osłabienia sygnału od obiektów zlokalizowanych w dalszej odległości za projektowaną budowlą (konstrukcją) itp. Poniżej przedstawiono przykładową platformę pomiarową służącą do prowadzenia tych badań.

Proponowana platforma jest mobilna. Zainstalowana została na samochodzie osobowym i składa się z radaru, analizatora widma, oscyloskopu i komputera z interfejsami umożliwiającymi rejestrację sygnałów wizyjnych i obrazów radarowych.

W badaniach skoncentrowano się na farmach wiatrowych i badano wpływ oddziaływania pojedynczych elektrowni wiatrowych (wiatraków) a także całych farm wiatrowych na funkcjonowanie radaru nawigacyjnego. Było to celowe chociażby z tego względu, że w najbliższej przyszłości planowana jest budowa farm wiatrowych, które będą umiejscowione na morzu w polskiej strefie przybrzeżnej.

Trzeba mieć na uwadze, że oprócz dużych zalet z powstawania farm wiatrowych (pozyskanie darmowej ekologicznej energii) występują też negatywne aspekty dotyczące wpływu oddziaływania ich na środowisko poprzez efekty akustyczne generowane przez łopaty, w tym hałas infradźwiękowy i niskoczęstotliwościowy, wpływ na ptaki, nietoperze i zwierzęta morskie, problemy z widocznością, odbijanie fal i częstek, zakłócenia komunikacji elektromagnetycznej, podwodny hałas i wibracje oraz wpływ na działanie radarów.

## **1. ZAKŁÓCANIE PRACY RADARÓW PRZEZ FARMY WIATROWE**

Na morzu spotykamy wysokie konstrukcje budowlane, które są ustawiane daleko od brzegów. Są one dobrze widoczne i oświetlone, ale stanowią zagrożenie dla bezpiecznej żeglugi. Do takich obiektów możemy zaliczyć platformy wiertnicze i elektrownie wiatrowe. Wokół takich obiektów ze względów bezpieczeństwa wyznaczono strefy ochronne zamknięte dla żeglugi. Mogą one być wykorzystywane jako znaki nawigacyjne [4]. Morskie turbiny wiatrowe instalowane są w strefie przybrzeżnej, lub na akwenach o małych głębokościach, zamieniają wiatr na energię elektryczną, którą trzeba dostarczyć na ląd. Wielkość wiatraków zależy od mocy jaką ma wytworzyć turbina wiatrowa i jej wysokość sięga często ponad 100m. Sama konstrukcja jest dobrze widoczna i właściwie oświetlona może być wykorzystywana jako znak nawigacyjny, ale z drugiej strony taka wysoka konstrukcja stalowa będzie utrudniała obserwację innych obiektów i znaków np. na lądzie, lub innych operujących w jej pobliżu jednostek. Zbudowana z materiałów dobrze odbijających fale elektromagnetyczną stanowi obiekt o dużej skutecznej powierzchni odbicia dla pracy radarów. Obracające się śmigło ma powierzchnię około 40 m<sup>2</sup>, jednak jego ustawienie jest zmienne i zależne od kierunku wiatru, co oznacza, że skuteczna powierzchnia odbicia będzie różna dla różnych kierunków. Turbina wiatrowa składa się z cylindrycznej wieży o średnicy np. około 5m i wysokości 85 metrów wykonanej ze stali. Taka konstrukcja stanowi bardzo dobry reflektor radarowy odbijający we wszystkich kierunkach. Dodatkowe pomosty i drabinki dają konstrukcję o skutecznej powierzchni odbicia równą 80 m<sup>2</sup>. Trzy obracające się śmigła stanowią powierzchnię odbicia około 200 m<sup>2</sup>, a dolny betonowy podest dodatkowo powoduje powierzchnię odbicia 16 m<sup>2</sup>, co w sumie daje skuteczną powierzchnię odbicia około 300 m<sup>2</sup>[4]. Średnice łopat nowoczesnych turbin osiągają nawet 154 m, gdzie każde z trzech śmigieł turbiny ma długość 75 metrów a powierzchnia ich płatów sięga 18 600 metrów kwadratowych [www1]. Duże powierzchnie odbicia od konstrukcji 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. Olbrzymie łopaty wiatraków odbijają fale i tym samym zagłuszają inne echa radarowe. Z badań Brytyjskiego Ministerstwa Obrony wynika, że samoloty przelatujące nad farmami wiatrowymi stają się "niewidoczne" dla wojskowych radarów. Badania dowiodły, że turbiny wiatrowe tworzą przestrzeń wolną od fal wykrywanych przez radary [strona www.]

## 2. MOBILNA PLATFORMA POMIAROWA

Wykonanie pomiarów wpływu elektrowni wiatrowych na działanie promieniowania mikrofalowego na akwenach wodnych wymaga dużego przedsięwzięcia logistycznego. Do pomiarów powinno się wykorzystać dwie jednostki pływające. Pierwsza jako rejestrator danych z radarem, druga jako obiekt porównawczy dla tła farm wiatrowych, poruszający się wokół turbin wiatrowych. Jest to przedsięwzięcie kosztowne i ponadto niebezpieczne, gdyż jednostki zmuszone byłyby do manewrowania w pobliżu elektrowni, w rejonie niebezpiecznym i zamkniętym dla żeglugi, wymagającym odpowiedniej zgody. Problemem jest też brak farm wiatrowych w polskiej strefie przybrzeżnej.

Częściowym rozwiązaniem takiego problemu jest wykonanie pomiarów na lądzie. Lądowe turbiny wiatrowe mają podobną konstrukcję do morskich, budowane są z podobnych materiałów, więc można przyjąć, że dla promieniowania mikrofalowego stanowią podobny obiekt.

Do pomiaru i analizy wpływu lądowych elektrowni wiatrowych na działanie radarów nawigacyjnych i brzegowych stacji radiolokacyjnych można wykorzystać mobilną platformę pomiarową, którą przedstawia rysunek nr 1.



**Rys. 1.** Mobilna platforma pomiarowa

Źródło: [Opracowanie własne]

Platforma składa się z radaru nawigacyjnego oraz urządzenia służącego do rejestracji i przetwarzania pierwotnych sygnałów wizyjnych (oscyloskop), komputera z kartą PC-Radar Kit umożliwiającą rejestrację obrazów radarowych w postaci cyfrowej. Do badań wykorzystano radar Furuno Model 821. Rozmiary radaru i jego waga pozwalają na jego montaż na dachu samochodu osobowego. Uzyskano w ten sposób mobilność całego zestawu pomiarowego. Wykorzystując nowoczesną technologię informatyczną i pomiarową obraz wizji może zostać zarejestrowany na twardym dysku komputera. W prowadzonych badaniach do rejestracji sygnału wizyjnego wykorzystano oscyloskop i laptopa. Nowoczesne oscyloskopy cyfrowe umożliwiają obserwowany sygnał rejestrować. Zapisany on jest w wewnętrznej pamięci oscyloskopu. Większość produkowanych dzisiaj oscyloskopów, posiada port USB, co umożliwia podłączenie ich do komputera stacjonarnego lub przenośnego (laptopa). Konfigurację taką przedstawia rysunek 2.

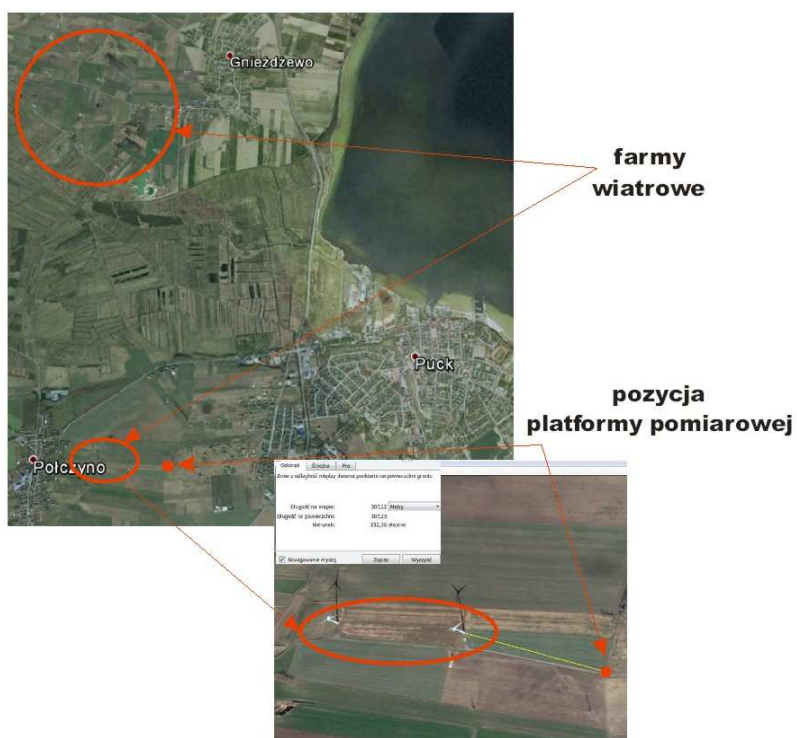


**Rys. 2.** Zestaw pomiarowy do rejestracji sygnału wizji z radaru

Źródło: [Opracowanie własne]

Na komputerze można zainstalować specjalistyczne oprogramowanie umożliwiające „komunikację” z oscyloskopem. Uruchomiona aplikacja umożliwi na ekranie komputera obserwować sygnały, które są wyświetlane na wyświetlaczu oscyloskopu. Obserwowany za pomocą oscyloskopu sygnał można zapisać na twardej dysku laptopa.

Na początku wykonano badania tła wiatraków. Badania przeprowadzono w pobliżu farmy wiatrowej umiejscowionej na zachód od miejscowości Gniezdzewo i Połczyno k/Pucka. Wysokość turbin wiatrowych: 50 m, średnica łopat 43 m (długość łopaty ok 21m). Wybrano pozycję radaru tak aby widoczne były co najmniej dwie turbiny (jedna za drugą). Samochód z radarem umiejscowiony był w odległości ok 307m od najbliższej turbiny. Kolejna turbina znajdowała się w odległości ok. 587 m od radaru.



**Rys. 3.** Miejsce pomiarów

Źródło: [Opracowanie własne]

Przed dokonaniem rejestracji ustawiono optymalne zobrazowanie na radarze. Wytłumiono znaczne echa pochodzące od ukształtowania powierzchni lądu w celu lepszej identyfikacji ech pochodzących od turbin wiatrowych na tle obiektów znajdujących się w ich pobliżu.

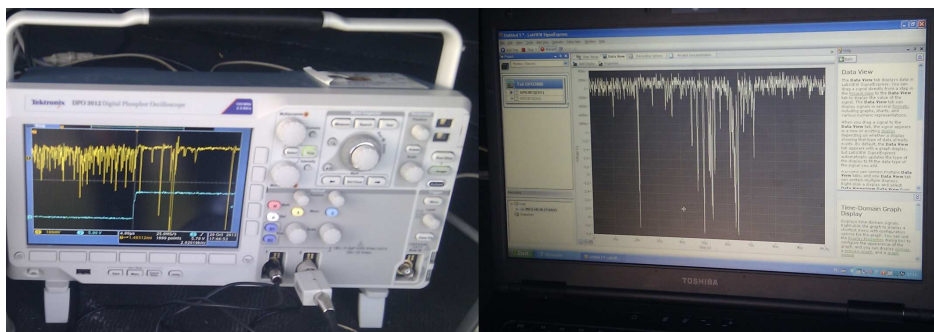


Sprawdzono poprawność identyfikacji mierząc odległości między wiatrakami i porównując je z danymi pozyskanymi z mapy. Rysunek nr 4 przedstawia sytuację opisaną powyżej.



**Rys. 4.** Echa od turbin wiatrowych na wskaźniku Furuno 821  
Źródło: [Opracowanie własne]

Kolejnym etapem badań było zarejestrowanie sygnału wizji pochodzące od wiatraków za pomocą oscyloskopu podłączonego do laptopa. Do rejestracji wykorzystano oprogramowanie NI LabVIEW SignalExpress Tektronix firmy National Instruments. (rys. 5).



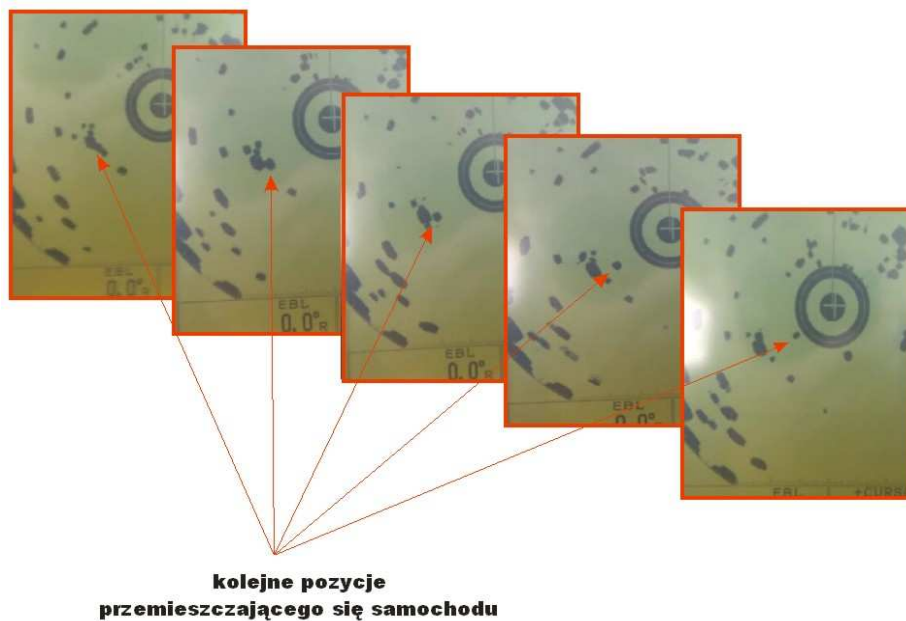
**Rys. 5.** Echa od turbin wiatrowych zarejestrowane przez oscyloskop  
Źródło: [Opracowanie własne]

W celu pomiaru echa od wiatraków wyłączono układ obrotów anteny, którą ustawiono na azymut stojących turbin. (rys 6.)



**Rys. 6.** Ustawienie anteny radarowej na azymut stojących wiatraków  
 Źródło: [Opracowanie własne]

Kolejnym krokiem w badaniach było określenie rozróżnialności kątowej i odległościowej małych obiektów występujących w pobliżu turbin. Badania miały pokazać w jakiej odległości od turbiny jest możliwe rozróżnienie drugiego obiektu i czy obecność turbiny nie wpływa na zmianę tych parametrów określonych przez producenta. Jako obiekt porównawczy wybrano samochód osobowy, który stanowił doskonały „reflektor” radarowy. Odległości rozróżnienia tych obiektów wynosiła ok 30 m (Rozróżnialność kątowa - ok 50 m, a rozróżnialność odległościowa 22 m).



**Rys.7.** Badanie możliwości rozdzielczych obiektów występujących w pobliżu turbin wiatrowych  
 Źródło: [Opracowanie własne]

### **3. PERSPEKTYWY DALSZYCH BADAŃ**

Wykorzystana platforma badawcza jest prototypowym narzędziem pomiarowym do badania skutecznej powierzchni odbicia. W artykule przedstawiono tylko jedną z możliwości zastosowania jej do pomiarów turbin wiatrowych i ich wpływu na działanie systemów radiolokacyjnych. Obecnie platforma jest modyfikowana i wyposażana będzie w dodatkowy

radar BridgeMasterE oraz analizator widma z antena kierunkową umożliwiającym pomiary w pasmie 9kHz - 13.2GHz (rys. 8). Zastosowanie kolejnego radaru z lepszymi parametrami technicznymi pozwoli na uogólnienie wniosków wynikających z przeprowadzonych badań. Natomiast analizator widma w dalszej perspektywie zostanie wykorzystany do pomiaru i analizy mocy sygnału systemu radiolokacyjnego w rejonie farm wiatrowych (zwłaszcza za turbinami wiatrowymi).



**Rys.6.** Radar BridgeMasterE oraz analizator widma Agilent Technologies - E4405B

Źródło: [<http://www.marinetalk.com/articles-marine-companies/art/Approval-for-Flat-Screen-Radars-LIT00194054TU.html>]; [[http://www.livingstonrental.pl/p\\_agilent-technologies/radiowe-i-wcz/analizatory-widma/agilent-technologies-e4405b/](http://www.livingstonrental.pl/p_agilent-technologies/radiowe-i-wcz/analizatory-widma/agilent-technologies-e4405b/)]

## PODSUMOWANIE

Pomiar skutecznej powierzchni odbicia wiąże się ściśle z detekcją obiektów za pomocą radaru. Pomiaru tego parametru można dokonać za pomocą zaproponowanej w artykule mobilnej platformy. Zaproponowane narzędzie pomiarowe umożliwia wykonanie badań obiektów wielkogabarytowych w warunkach „lądowych” i przewiduje się, że otrzymane wyniki będą adekwatne do uzyskanych w warunkach morskich.

Dodatkowo możliwe jest badanie mocy sygnału echa radarowego na tle szumów, rozróżnialności obiektów pobliskich, osłabienia sygnału od obiektów znajdujących się za konstrukcją wielkogabarytową itp.

## BIBLIOGRAFIA

1. Czuplewski K., Świerczyński S.: *Pozyskiwanie informacji nawigacyjnej na potrzeby VTS*, Europejska Konferencja Nawigacyjna, 04.2012 Gdańsk.
2. Stupak T., Wawruch R.: *Wpływ zakłóceń generowanych przez farmy elektrowni wiatrowych na pracę radarów statkowych i układów śledzenia*. Logistyka nr 6 2010
3. Wąż M., Czuplewski K.: *Automatyzacja nawigacji radarowej*. Zasztyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, Expo-Ship 2008.
4. [www1] <http://technowinki.onet.pl/morska-elektrownia-wiatrowa-o-najwiekszych-na-swiecie-lopatach-rozpoczela-dzialalnosc/sfxj1> - Stan na dzień 03.11.2013r

# MOBILE PLATFORM FOR RADAR CROSS SECTION MEASUREMENT

## *Abstract*

*Great offshore structures placed in the areas of water pose a hazard to safe navigation. One of the negative factors for the presence of wind farms is their interference in the operation of radar. This paper presents a mobile measurement platform for research of wind turbines influence on the vessel radar work. The result of preliminary experiments are presented here too.*

## *Autorzy:*

**mgr inż. Sławomir ŚWIERCZYŃSKI** – Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni,

**dr inż. Mariusz WAŻ** – Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni,

**dr inż. Tadeusz STUPAK** – Akademia Morska w Gdyni,