

17th SYMPOSIUM ON HYDROACOUSTICS

Jurata May 23-26, 2000



POMIARY DŹWIĘKÓW FOKI SZAREJ

GREY SEAL VOCALIZATION

Stefan Jan Malinowski¹, Ignacy Gloza,² Jacek Domagalski¹

¹ Poligon Kontrolno - Pomiarowy MW

² Akademia Marynarki Wojennej
Gdynia

Animals produce a wide range of sounds that can travel at great distances underwater. During the presentation you will listen to the real hydrophone recordings which were made here in Hel. The paper & recordings present the results of sound imitated by grey seals. Signature sounds differ between the individuals. Seals have a well-developed sense of hearing, especially in the water. In the air, their hearing ability is greatly reduced. They have large eyes and their underwater vision is better than a human's, but even blind mammals are healthy, because the most important sense in the water is hearing. Researchers know that seals have an acute sense of smell on land. This sense is important for mothers identifying their pups. The results of the measurements show that the sound intensity method is worth using, especially in pools, shallow water, and to identify and find the direction of a sound source.

WSTĘP

W dniach 22 –25 lutego 2000 r. na prośbę kolegów ze Stacji Morskiej Instytutu Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego z pobliskiego Helu, badających biologię i ekologię organizmów morskich, rozpoczęliśmy wstępne badania dźwięków podwodnych wydawanych przez foki szare.

Foki niezwykle rzadko goszczą dzisiaj u polskich wybrzeży, chociaż jak się szacuje w samym tylko Morzu Bałtyckim fok szarych (*Halichoerus grypus*) jest pięć tysięcy. Pozostałe dwa gatunki tu występujące to foka pospolita (*Phoca vitulina*) i foka obrączkowana (*Phoca hispida*). Foka szara jest naturalnym drapieżnikiem, dorosłe osobniki osiągają 2.5 m długości, masę ciała do 300 kg. Ryby stanowią podstawowe ich pożywienie, a codziennie zjadają ich około 5-6 % wagi ciała, czyli nawet do kilkunastu kilogramów. Śsak ten może pozostawać pod wodą ponad 20 min i nurkować na głębokość do 200 m.

Emitowane przez foki dźwięki, i generowane efekty hydrodynamiczne występujące podczas pływania, oddziałują między innymi na tło akustyczne i hydrodynamiczne właściwych kanałów broni podwodnej.

Do dnia dzisiejszego niewiele wiadomo na temat sposobów porozumiewania się fok szarych i metod ich podwodnej lokacji. Jest jednak wysoce prawdopodobne, że ze względu na niskie tłumienie sygnałów akustycznych w wodzie istnieje jakiś system przekazywania

informacji i ustalania ich wzajemnej pozycji w toni wodnej. Ssaki morskie tworzą dźwięki w różnorodny sposób, który wynika z konkretnej sytuacji, zachowania, czy sposobu wzajemnego rozpoznawania się zwierząt. Niektórzy naukowcy twierdzą nawet, że wśród tych sygnałów są wyuczone przez opiekuna dźwięki odbierane jako ostrzegawcze, a także znane są przypadki naśladowania mowy ludzkiej. Jednym z takich przykładów jest foka o imieniu Hoover, przebywająca w basenach New England Aquarium, która tak doskonale naśladuje głos ludzki, że w wydawanych przez nią dźwiękach można rozpoznać nawet akcent z Nowej Anglii. Rozpoznawanie dźwięków w wodzie jest bardzo istotne, gdyż znane są przypadki doskonałego funkcjonowania ślepych fok, które pozbawione wzroku potrafiły zajmować się potomstwem i uczyć je przetrwania w naturalnych warunkach.

Ssaki morskie wykorzystują także istniejące w morzu kanały akustyczne do komunikowania się na dalekie odległości. Sygnały te jednakże znacznie różnią się od sposobu porozumiewania się w rozumieniu ludzkim, ponieważ są one często raczej nośnikiem kodu identyfikującego jednostkę.

1. STANOWISKO POMIAROWE

Uwzględniając wcześniejsze uwagi staraliśmy się pomierzyć dźwięki wydawane przez foki w możliwie szerokim zakresie częstotliwości, a więc aparaturę tak dobrano aby zarejestrować sygnały akustyczne od 1Hz do 60 kHz. Badania wykonano dwiema metodami:

- a) pomiar ciśnienia hydroakustycznego,
- b) pomiar natężenia dźwięków.

Pierwsza metoda jest klasycznym sposobem pomiaru szumów podwodnych. Drugi sposób pomiaru rozszerza wiedzę na temat źródła i propagacji dźwięku i jest szczególnie uzasadniony przy badaniach akustycznych w płytkich akwenach, a więc i w basenach, ponieważ w takim środowisku fala o niskiej częstotliwości jest wyjątkowo zniekształcona. Pomiaru natężenia dźwięku (po uśrednieniu mocy akustycznej) dokonuje się co najmniej parą hydrofonów, a w rezultacie uzyskuje się przestrzenny rozkład pola akustycznego. Metoda ta polega na jednoczesnej rejestracji prędkości fali akustycznej i ciśnienia w dwóch punktach. Wstępne próby stosowania jej w środowisku wodnym przeprowadza się w Marynarce Wojennej.

W państwach o wysokim rozwoju technologicznym metodę tę stosuje się do następujących badań:

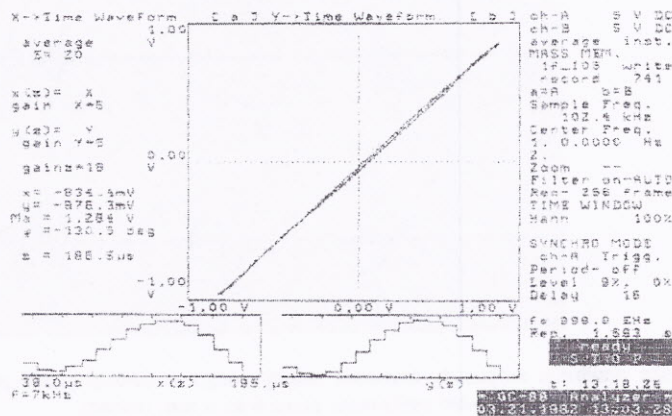
- a) lokalizacji okrętów podwodnych i nawodnych,
- b) diagnozowania hałasów,
- c) przestrzennego rozkładu pola dźwiękowego,
- d) pomiarów akustycznych w pobliżu głośnych zakłóceń,
- e) badań hydroakustycznych w płytkich akwenach,
- f) określania charakterystyki akustycznej okrętów i trałów

Sonda pomiarowa natężenia dźwięku składała się z dwóch hydrofonów oddalonych od siebie na odległość Δr . W przypadku gdy mierzymy tylko jedną składową natężenia, stosujemy układ pomiarowy złożony z dwóch hydrofonów. Natomiast za pomocą trzech sond usytuowanych w trzech osiach kartezjańskiego układu współrzędnych wykonujemy pomiar, gdy potrzebna jest znajomość wektora natężenia dźwięku.

Naszymi detektorami była para hydrofonów pomiarowych firmy Bruel & Kjaer typu 8101. W pierwszym etapie pomiarów hydrofony oddalone były od siebie na odległość 10 cm ponieważ mierzono wyższe częstotliwości, następnie rozstawiono je szerzej, tj. na 50 cm, aby zbadać niższy zakres. Największy błąd jest wynikiem niedopasowania fazowego dla małych

odległości między hydrofonami i przy niskich rejestrowanych częstotliwościach. Dlatego hydrofony zostały tak dobrane, aby niedopasowanie fazy było jak najmniejsze $\phi \rightarrow 0$. Przy takich samych skutecznościach czujników i tej samej fazie, a więc i długości drogi fal dźwiękowych pomierzone ciśnienie akustyczne jest jednakowe w obu hydrofonach.

Pomiaru przesunięcia fazowego pomiędzy dwoma sygnałami o tej samej częstotliwości można wykonać kilkoma metodami. Zdecydowaliśmy się na wykorzystanie metody, która wykorzystuje właściwości figury Lissajous. Przy niedopasowaniu fazowym na ekranie otrzymuje się obraz elipsy. Jeżeli przesunięcie fazowe między napięciami jest równe zeru, to na ekranie pojawi się prosta nachylona w prawo. Dokładność pomiaru przesunięcia fazowego jest największa przy jednakowych amplitudach obu napięć i zależy od dokładności odczytu przejścia obrazu elipsy w prostą. Rysunek na następnej stronie przedstawia wykorzystywane w badaniach hydrofony typu 8101 dopasowane fazowo.



Rys. 1. Wyznaczenie kąta przesunięcia fazowego metodą elipsy

Zestaw instrumentów do pomiarów i rejestracji dźwięków w hydrosferze składał się z dwóch wzmacniaczy pomiarowych typu 2636 i rejestratora magnetycznego typu 7006. Analizę wykonywano wykorzystując dwukanałowy analizator widma pracujący w czasie rzeczywistym z możliwością podziału częstotliwości od 1/24 oktawy poprzez 1/12 oktawy aż do 1 tercji i całej oktawy. Wszystkie zastosowane tu przyrządy są produkcji duńskiej firmy Bruel & Kjaer.

Pomiar ciśnienia akustycznego jest wykonywany od szeregu lat dzięki wykorzystaniu hydrofonu piezoelektrycznego (zmiana ciśnienia powoduje powstanie ładunku elektrycznego proporcjonalnego do tej zmiany). Teoretycznie metoda pomiaru ciśnienia jest prosta, ale jej stosownie obarczone jest szeregiem ograniczeń. Szczególnie wiele problemów stwarza badanie ciśnienia hydroakustycznego w basenach i wodach przybrzeżnych. Z jednej strony istnieje konieczność pomiarów hydroakustycznych na niskich częstotliwościach, a z drugiej strony nie mamy możliwości precyzyjnego określenia poziomu i charakteru dźwięku fal o długości kilkuset, kilkudziesięciu, a nawet kilkunastu metrów. Uwzględniając stosunkowo małe gabaryty basenu należy więc zastosować inną metodę pomiarową, w której wymiary nie odgrywają znaczącej roli. Jest nią pomiar natężenia dźwięku.

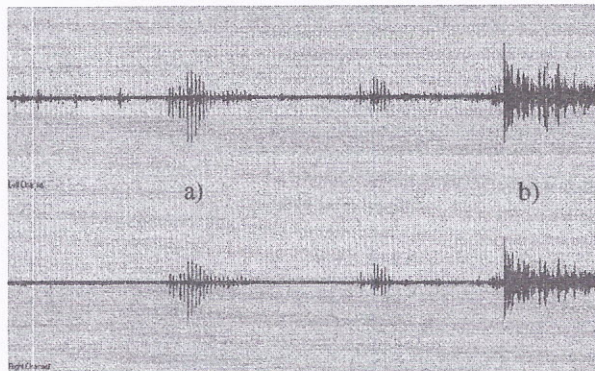
Natężenie fali hydroakustycznej umożliwia przekazanie pełniejszej informacji o polu dźwiękowym i jego źródle, niż sam pomiar ciśnienia akustycznego. Szczególnie jest to zauważalne w polu bliskim, ponieważ tutaj ciśnienie akustyczne zobrazowane jest w postaci

szeregu maksimów i minimów, które występują wzdłuż kierunku rozchodzenia się fali dźwiękowej.

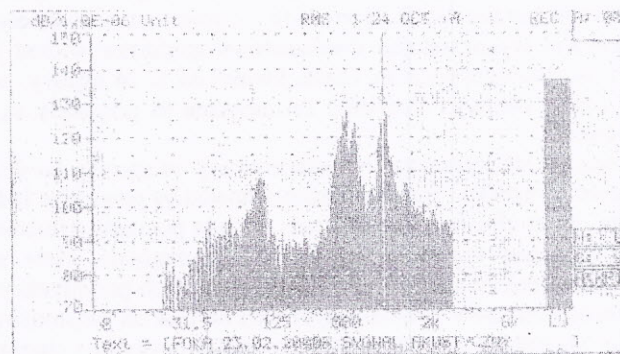
2. WYNIKI BADAŃ DŹWIĘKÓW FOKI SZAREJ

W dalszej części opracowania przedstawiamy wyniki pomiarów dźwięków występujących w basenie fokarium (o głębokości od około 2 do 2,5 m) w postaci zapisów widmowych i przebiegu czasowego dwóch podstawowych rodzajów sygnałów wydawanych przez foki.

Przebiegi czasowe sygnału hydroakustycznego zarejestrowanego w Stacji Morskiej Instytutu Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego w Helu



Rys. 2. Powyższe przebiegi amplitudy ciśnienia akustycznego w funkcji czasu przedstawiają dwa podstawowe rodzaje dźwięków emitowane przez foki w toni wodnej:
a) „basowe terkotanie” b) „buczenie”

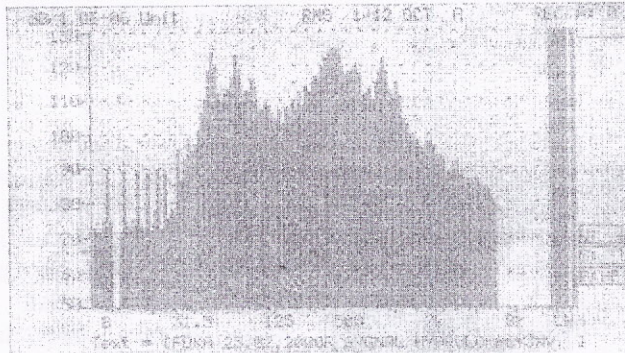


Rys. 3. Widmo 1/12 oktawowe dźwięku „basowe terkotanie”

Podczas pomiaru ciśnienia akustycznego obowiązują dwa warunki: pierwszy to konieczność wykonywania badań w strefie pola dalekiego, a drugi – pole hydroakustyczne powinno być swobodne. Warunek drugi może być spełniony w warunkach bezdechowych lub

połysowych (pole akustyczne jest doskonale rozproszone). Oczywiście w naszych badaniach warunki te nie zostały spełnione.

Maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego występują w dwóch przedziałach częstotliwości tj. od 40 – 80 Hz i 200 – 1000 Hz.

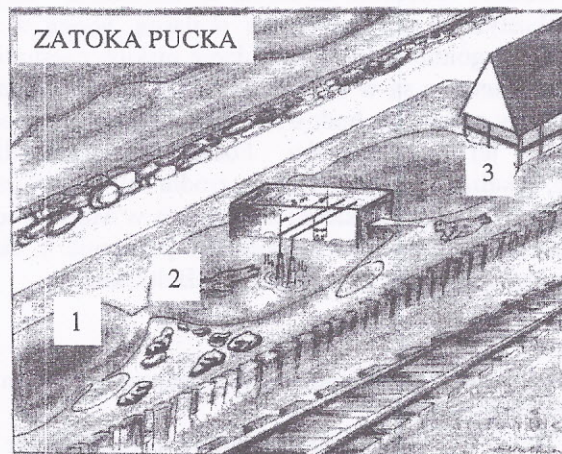


Rys. 4. Widmo 1/24 oktawowe dźwięku typu „buczenie”

Jak już wcześniej wspomniano podczas pomiaru ciśnienia akustycznego w wodzie mierzone pole powinno być swobodne, czyli pozbawione odbić od dna i bocznych płaszczyzn basenu. Dlatego wyniki przedstawione w niniejszym opracowaniu należy traktować jako wstęp do późniejszych gruntownych badań.

Jak widać na wykresach w niskoczęstotliwościowej części pasma akustycznego występują bardzo charakterystyczne wartości dyskretne, które wyraźnie mają różny obraz w zależności od rodzaju emitowanego dźwięku. Tego typu dyskretne prążki opisują cechy osobnicze, wyróżniając zarejestrowaną przez nas fokę od innych, mających nieco inną charakterystykę akustyczną.

3. FOKARIUM STACJI MORSKIEJ W HELU



Rys. 5. Widok basenów Stacji Morskiej w Helu.

Powyższy rysunek przedstawia miejsce i sposób umieszczenia hydrofonów pomiarowych w basenie nr 2 o głębokości od około 2 do 2,5m.

Foki to zwierzęta, które nie tylko ogląda się z przyjemnością, lecz także są zainteresowane są najbliższym otoczeniem. Przekonaliśmy się o tym już po kilku godzinach gdy zdążyły rozplątać na centymetr przycięte sznurki mocujące układ pomiarowy.

4 WNIOSKI



Na szczęście obecnie większość z nas rozumie, że foka szara jest nie tylko potrzebna w ekosystemie morza, lecz także spełnia pozytywną, bo oczyszczającą, rolę naturalnego drapieżnika trzeciego rzędu. Stacja Morska Instytutu Oceanografii, która opiekuje się tymi wodnymi ssakami i chroni je, powinna być naszym zdaniem także zainteresowana ewentualnymi badaniami hydroakustycznymi, które mogą być pomocne przy opracowaniu modelu

sygnału ostrzegającego przed zbliżającym się niebezpieczeństwem i odstrasżającego te zwierzęta. Badania dźwięków ostrzegawczych można by w przyszłości wykorzystać do wyselekcjonowania i zdefiniowania takiego widma, które w aktywnych systemach wykorzystywane by było do generowania dźwięku umożliwiającego celowe płoszenie fok i morświnów z torów wodnych i miejsc łowieckich. Tego typu urządzenia, emitujące nieprzyjemny sygnał akustyczny, mogłyby być montowane w sieciach rybackich i na obiektach pływających.

Natomiast rozwój pasywnych systemów hydroakustycznych musi iść w kierunku pomiaru wektora natężenia dźwięku, tj. określenia amplitudy, kierunku i zwrotu. Ciśnienie akustyczne jest wielkością skalarną, ubogą w informacje o polu hydroakustycznym. Szczególnie ważne jest badanie niskich częstotliwości, które tylko w sposób nieznaczny tłumione są w toni wodnej. Konieczność badań poniżej 100 Hz wynika z faktu, że okręty podwodne budowane współcześnie nie generują już dźwięków dyskretnych powyżej tej częstotliwości. Pomiar natężenia dźwięku umożliwia precyzyjną detekcję, lokalizację i identyfikację źródła fali akustycznej w hydrosferze, co w konsekwencji pozwala na szerokie jej stosowanie w Marynarce Wojennej, a także może służyć badaniom związanym z ustaleniem położenia i określeniem gatunku ssaków morskich występujących w akwenie Morza Bałtyckiego.

LITERATURA:

1. E. Kozaczka, L. Milanowski, Sound intensity measurement in water, Prace z X Sympozjum z Hydroakustyki.
2. J. Adin Mann, J. Tichy, Acoustic intensity analysis, J. Acoust. Soc. Am. July 1991.
3. L. Milanowski, Influence of detectors arrangement on the results of underwater sound intensity measurements, Prace z VII Sympozjum z Hydroakustyki.
4. E. Miasnikov, The Character of Noise Created by Submarines.