

Monitoring tła akustycznego na obszarze morskiej farmy wiatrowej „Bałtyk Środkowy II”

Raport końcowy z wynikami badań



Polenergia Bałtyk II Sp. z o.o.

Raport końcowy

2015

Niniejszy raport przygotowano zgodnie z systemem zarządzania DHI,
który jest zgodny z ISO 9001 (zarządzanie jakością)



DNV Business Assurance, Danmark A/S

Monitoring tła akustycznego na obszarze morskiej farmy wiatrowej „Bałtyk Środkowy II”

Raport końcowy z wynikami badań

Przygotowany dla Polenergia Bałtyk II Sp. z o.o.
Reprezentowanej przez Marta Porzuczek



Kierownik projektu	Frank Thomsen
Autorzy	Monika Kosecka, Irmina Plichta, Henriette Schack, Frank Thomsen, Daniel Świątek
Kontrola jakości	Andreas Brogaard Buhl

Nr projektu	30800051-4
Data zatwierdzenia	27 kwietnia 2015 r.
Wersja/korekta	Końcowa 2.0
Klasyfikacja	Poufne

SPIS TREŚCI

SŁOWNIK	i
SKRÓTY	ii
1	Streszczenie1
2	Wprowadzenie.....3
2.1	Cel badań5
3	Opis obszaru projektu7
4	Metodyka i działania podjęte w okresie badań.....11
4.1.	Zbieranie danych..... 11
4.1.1	Inne działania..... 17
4.1.2	Przegląd przeprowadzonych działań i uzyskanych wyników 18
4.2	Metodyka analizy danych 20
4.2.1	Analiza nagrań tła akustycznego..... 20
4.2.2	Analiza statystyczna 21
5	Wyniki.....23
5.1	Tło akustyczne 23
5.1.1	Poziom natężenia dźwięku tła akustycznego 23
5.1.2	Poziom natężenia tła akustycznego przy różnych stanach morza 33
6	Dyskusja36
6.1	Ocena jakości danych i otrzymanych wyników 36
6.2	Tło akustyczne w obszarze MFW BŚ II w zależności od pory roku i prędkości wiatru 36
6.3	Porównanie uzyskanych wyników z innymi obszarami..... 38
6.4	Poziom natężenia tła akustycznego w odniesieniu do słuchu morświnów 39
7	Wnioski.....43
8	Bibliografia45
9	Tabele47
10	Rysunki.....49

SŁOWNIK

czasowe przesunięcie progu słuchu	tymczasowe podwyższenie progu słuchu na danej częstotliwości, spowodowane urazem komórek słuchowych
decybel (dB)	logarytmiczna jednostka miary natężenia dźwięku / ciśnienia akustycznego. Wartość decybela dla ciśnienia akustycznego wynosi $20 \log_{10} (P / P_0)$, gdzie P = pomierzona wartość ciśnienia, a P ₀ = ciśnienie referencyjne
dźwięk impulsywny	krótkotrwałe sygnały emitowane w sekwencjach (pulsach), często o wysokim poziomie ciśnienia akustycznego
herc (Hz)	jednostka częstotliwości; 1 Hz = 1 cykl na sekundę. 1 kiloherc (kHz) = 1000 cykli na sekundę
Paskal	jednostka ciśnienia, równa jednemu Newtonowi na metr kwadratowy
pasmo oktauwowe	relacja dwóch dźwięków o stosunku częstotliwości akustycznych 2:1
pasmo 1/3 oktauwowe	odległość wynosząca 1/3 oktawy; trzy sąsiadujące ze sobą pasma 1/3 oktauwowe tworzą oktawę.
poziom widmowej gęstości mocy	$10 \log_{10}$ kwadratu ciśnienia akustycznego, w pasmach 1 Hz; jednostka = dB re 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$
poziom natężenia dźwięku (SPL)	ciśnienie akustyczne wyrażone w decybelach (dB)
poziom źródłowy	ciśnienie akustyczne przy standardowej odległości wynoszącej 1 m; jednostka: dB re 1 μPa przy odległości 1 m (czasem zapisywanej jako @1m)
strata propagacyjna	spadek mocy dźwięku wraz z odległością od źródła dźwięku
trwałe przesunięcie progu słuchu	trwałe podwyższenie progu słuchu na danej częstotliwości, spowodowane uszkodzeniem komórek słuchowych

SKRÓTY

Bft	Beaufort
dB	Decybel
GES	Dobry stan środowiska
Hz	Herc
kg	Kilogram
km	Kilometr
m	Metr
MSFD	Dyrektywa ramowa w sprawie strategii morskiej UE

NM	Mila morska
MFW	Morska farma wiatrowa
MFW BŚ II	Morska farma wiatrowa Bałtyk Środkowy II
OOŚ	Ocena oddziaływania na środowisko
PWSE	Polska wyłączna strefa ekonomiczna
PSZW	Pozwolenie na wznoszenie i wykorzystywanie sztucznych wysp, konstrukcji i urządzeń w polskich obszarach morskich
PSD	Widmowa gęstość mocy
UTC	Uniwersalny czas koordynowany

1 Streszczenie

1 Morskie farmy wiatrowe cieszą się coraz większą popularnością na całym świecie. Także w Polsce stały się przedmiotem zainteresowania jako potencjalne źródła energii odnawialnej. Dlatego też powstały plany zbudowania morskiej farmy wiatrowej na terenie PWSE. Na jedną z potencjalnych lokalizacji takiej farmy wskazano obszar BŚ II w pobliżu Ławicy Słupskiej.

Ponieważ budowa i eksploatacja morskiej farmy wiatrowej łączy się z różnymi działaniami, które mogą wywierać wpływ na ekosystem morski, należy kompleksowo ocenić wszelkie potencjalne oddziaływania. Wśród gatunków, które mogą okazać się najbardziej wrażliwe na zakłócenia wynikające z budowy i eksploatacji morskiej farmy wiatrowej, są ssaki morskie. W polskim Bałtyku występują cztery gatunki ssaków morskich – morświn (*Phocoena phocoena*), foka szara (*Halichoerus grypus*), foka pospolita (*Phoca vitulina*) i foka obrączkowana (*Pusa hispida*).

Aby ocenić wpływ inwestycji na te zwierzęta, potrzebna jest wiedza na temat tła akustycznego na danym obszarze. Celem pomiarów tła akustycznego jest opisanie sytuacji bazowej (punktu 0) w odniesieniu do podwodnego tła akustycznego w środowisku morskim. Pomoże to określić poziom natężenia podwodnego hałasu na terenie BŚ II. Określone poziomy tła akustycznego zostaną następnie wykorzystane dla OOS – określone zostaną zmiany sytuacji bazowej tła akustycznego związane z budową MFW i jej funkcjonowaniem.

2 Niniejszy raport dotyczy monitoringu tła akustycznego, prowadzonego w ramach OOS dla planowanej MFW na obszarze BŚ II, pomiędzy kwietniem 2013 r. i majem 2014 r. Monitoring przeprowadzono za pomocą rejestratora akustycznego SM2M (Wildlife Acoustics). Ponieważ nie ma żadnych krajowych standardów dotyczących pomiarów tła akustycznego w Polsce, za wytyczne przyjęto niemieckie standardy BSH, jako te, które zostały ustanowione dla rejonu sąsiadującego z polskimi wodami. Dodatkowo skorzystano też z porad ekspertów należących do grupy roboczej ds. hałasu podwodnego działającej w ramach Dyrektywy ramowej w sprawie strategii morskiej UE (MSFD) oraz ostatnich raportów opisujących najlepsze praktyki w zakresie zbierania danych dot. podwodnego tła akustycznego i jego analiz. Przeprowadzono porównanie uzyskanych wyników w zależności od pory roku oraz różnych stanów morza.

W okresie monitoringu jeden rejestrator akustyczny nagrywał dźwięki na trzech lokalizacjach zmieniając tym samym swoje położenie, czego celem było pomierzenie tła akustycznego w różnych częściach obszaru badawczego. Urządzenie nagrywało wszystkie podwodne dźwięki w zakresie częstotliwości 2 Hz-22 kHz. Jest on wystarczający do zarejestrowania większości dźwięków podwodnych o niskiej i średniej częstotliwości generowanych na skutek działalności człowieka, takich jak ruch łodzi, palowanie, badania sejsmiczne czy dźwięki emitowane na skutek podwodnych eksplozji. Urządzenie rejestrowało 15-minutowe nagrania co godzinę.

Wszystkie zebrane dane akustyczne zostały sprawdzone pod względem jakości przed analizą. Dla celów analizy przygotowano podpróbki 1-minutowych nagrań dla 4 pór roku – wiosny (kwiecień - maj 2013, marzec - maj 2014), lata (czerwiec - sierpień 2013), jesieni (wrzesień - listopad 2013) i zimy (grudzień 2013 – luty 2014). Rozmiar próbki z każdego sezonu wynosił 10% danych zebranych dla danej pory roku. Ponieważ nagrania zawierały zakłócenia związane z dźwiękami wydawanymi przez osprzęt urządzeń (szekle) do dalszych analiz wybrano 5-sekundowe fragmenty o najmniejszych zakłóceniach. Nie było jednak możliwe wyodrębnienie ich z wszystkich 1-minutowych podprób, ponieważ niektóre zostały odrzucone ze względu na zbyt duży hałas pochodzący od osprzętu. Wybrane nagrania stanowiły 6.6% - 9% nagrań dla poszczególnych pór roku. Na podstawie próbek określono poziomy widmowej gęstości mocy (PSD) w pasmach 1 Hz, aby określić główne częstotliwości będące komponentem tła akustycznego oraz ogólną głośność próbki.

Obliczenia PSD dostarczyły informacji na temat rozdziału energii akustycznej w różnych pasmach częstotliwości. Dodatkowo przeprowadzono analizę pasm 1/3 oktawowych, gdyż większość ssaków morskich słyszy dźwięki odpowiadające tymże pasmom. Wyliczone zostały ponadto poziomy natężenia tła akustycznego w pasmach 1/3 oktawowych dla częstotliwości 63 i 125 Hz, jako częstotliwości wskazane w Dyrektywie ramowej w sprawie strategii morskiej UE. Ponadto, w celu porównania uzyskanych wyników z wynikami innych badań, obliczono szerokopasmowe natężenie tła akustycznego (2 Hz - 10 kHz).

Zgodnie ze standardami BSH dokonano również analizy porównawczej poziomów natężenia tła akustycznego dla różnych stanów morza. Celem analizy było porównanie poziomów natężenia dźwięku w próbkach dla częstotliwości 63 Hz i 125 Hz, jak również wyliczenie szerokopasmowego poziomu natężenia dźwięku dla dwóch różnych stanów morza. Pierwsza kategoria objęła stopnie 1-3 w skali Beauforta (prędkość wiatru 3 - 5,4 m/s), a druga stopnie 4-6 (prędkość wiatru 5,5 - 13,8 m/s). Na podstawie danych zebranych przez Instytut Morski w Gdańsku, wybrano losowo 100 próbek dla każdej kategorii (stanu morza) z podzbioru próbek obejmujących wszystkie pory roku.

3 Podczas monitoringu tła akustycznego na obszarze BŚ II zebrano 36365 nagrań. Dane objęły 378 dni, co stanowi 100% okresu badawczego. W trakcie badań zebrano kompletne i w pełni wiarygodne dane.

Dla wszystkich pór roku większość energii akustycznej (pasma 1 Hz) skupiona była poniżej 1 kHz. Rozdział energii w pasmach 1/3 oktawowych do 16 kHz był względnie równy we wszystkich porach roku.

Stwierdzono statystycznie istotną różnicę w poziomach natężenia tła akustycznego dla poszczególnych pór roku, oprócz wiosny 2013 i lata, z najwyższymi wartościami poziomu natężenia dźwięku dla nagrań z okresu zimowego 2013/2014. Wystąpiła znacząca różnica pomiędzy poszczególnymi porami roku dla częstotliwości 125 Hz, najwyższe poziomy hałasu odnotowano zimą a najniższe latem, podobnie dla wiosny i jesieni. Wyjaśnieniem takiego stanu rzeczy jest fakt, iż propagacja dźwięku w Bałtyku jest lepsza przy niższych temperaturach.

Analiza szerokopasmowego poziomu natężenia dźwięku w próbkach przy różnych warunkach atmosferycznych (różne stany morza) wyraźnie wykazała istotny wpływ prędkości wiatru na uzyskane wyniki. Wyższe poziomy odnotowano przy większej prędkości wiatru. Jest to w zgodzie z wynikami innych badań przeprowadzonych w Bałtyku oraz południowej części Morza Północnego oraz Morza Bałtyckiego. Porównując poziomy tła akustycznego z obszaru badawczego z wynikami uzyskanymi w innych częściach Morza Bałtyckiego i Morza Północnego można stwierdzić, iż obszar BŚ II charakteryzuje się średnim poziomem natężenia tła akustycznego.

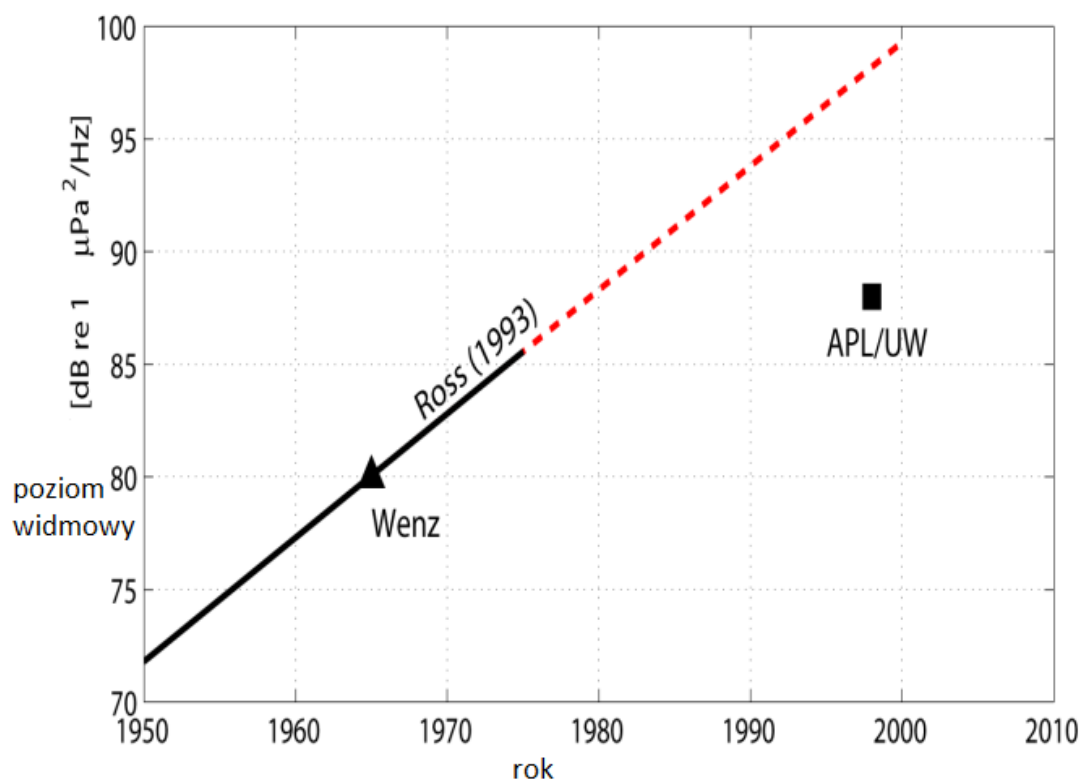
4 Wyniki badania pokazują, że poziomy natężenia tła akustycznego na obszarze BŚ II są typowe dla terenów przybrzeżnych, z odnotowywalnymi różnicami wartości w zależności od pory roku oraz warunków panujących na morzu. W oparciu o wyniki pomiarów w okresie zimowym, gdy uzyskano najwyższe wartości poziomu natężenia tła akustycznego, można stwierdzić, że poziomy te przekraczają znane progi słuchu w wodzie fok pospolitych oraz obrączkowanych (Nedwell et al, 2004), a prawdopodobnie także fok szarych, chociaż dla tego ostatniego gatunku nie jest dostępny audiogram. Przy częstotliwościach powyżej 500 Hz tło akustyczne na obszarze BŚ II może być wykrywane przez morświny. Warto zauważyć, że poziomy natężenia dźwięku wykazane w badaniu nie przekraczają wartości progowych dla utraty słuchu fok i morświnów. Może jednak zachodzić zjawisko maskowania dźwięków wydawanych przede wszystkim przez foki. Podsumowując, tło akustyczne odnotowane na obszarze badawczym ma potencjalnie niewielki wpływ na foki i morświny.

2 Wprowadzenie

Niniejszy raport dotyczy badania środowiska akustycznego na obszarze MFW BŚ II, w pobliżu Ławicy Słupskiej na zlecenie Polenergia Bałtyk II Sp. z o.o. Wyniki badania stanowią część OOS i dostarczają informacji na temat istniejącego poziomu tła akustycznego w badanej części Bałtyku.

Budowa MFW wiąże się z różnymi działaniami, wśród których wymienić można palowanie, przygotowanie dna morskiego, usuwanie i nanoszenie osadów, układanie kabli i ruch łodzi. Czynności te generują hałas podwodny mogący wywierać wpływ na ssaki morskie i ryby, dlatego też należy ocenić stopień tego wpływu. Również etap eksploatacji farm wiatrowych wiąże się z emisją hałasu podwodnego, lecz w znacznie mniejszym stopniu niż podczas procesu budowy. Aby ocenić zmiany poziomu natężenia hałasu spowodowane budową i eksploatacją MFW, niezbędne jest zbadanie sytuacji bazowej (poziomu zero) w odniesieniu do tła akustycznego.

Podwodne tło akustyczne jest nieustannie obecnym szumem w środowisku morskim. Jego źródłami mogą być stworzenia żyjące w morzu (np. kłapiące krewetki, ryby), a także działania prowadzone przez człowieka – ruch łodzi, pogłębianie dna czy dźwięki związane z budową i eksploatacją MFW. Przeprowadzone badania wykazały, że poziom hałasu nieustannie wzrasta w niektórych rejonach, głównie na skutek wzrostu natężenia ruchu statków (OSPAR, 2009; Rysunek Rys. 1).

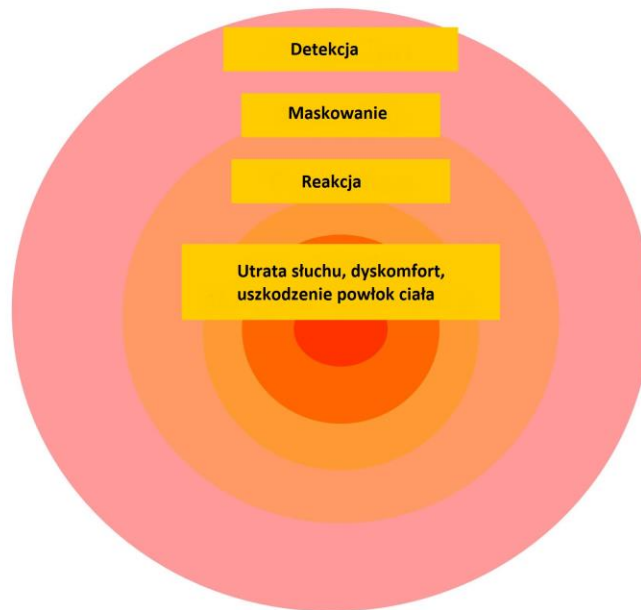


Rys. 1 Poziom natężenia tła akustycznego w paśmie 100-200 Hz, pomierzony w Kalifornii, w latach 50-tych (Ross, 1993) oraz poziom pomierzony przez APL/UW (Laboratorium Fizyki Stosowanej, Uniwersytet w Waszyngtonie) w latach 90-tych w tym samym rejonie (Andrew et al., 2011), pokazujący spodziewane i rzeczywiste wzrosty tego parametru jako efekt zwiększonej aktywności dużych łodzi na tym obszarze

Zwiększony poziom hałasu podwodnego może wpłynąć na ssaki morskie na wiele sposobów – powodować zmiany w behawiorze, maskować ważne z biologicznego punktu widzenia dźwięki, jak na przykład wokalizacje fok pospolitych, i w efekcie skutkować stresem, co może doprowadzić do zmian fizjologicznych w organizmie zwierzęcia (OSPAR 2009; Rysunek Rys. 2). Zakres, w którym

dźwięki generowane na skutek konstrukcji i eksploatacji MFW są wykrywalne przez ssaki morskie, zależny jest bezpośrednio od relacji pomiędzy dźwiękiem generowanym przez te działania a tłem akustycznym w danym obszarze (Thomsen et al. 2006).

Teoretyczne strefy wpływu hałasu podwodnego na organizmy morskie



(Richardson et al. 1995)

Rys. 2 Teoretyczne strefy wpływu hałasu podwodnego na organizmy morskie (Richardson et al. 1995; OSPAR 2009).

Dla każdego projektu morskiego zaleca się zatem opisanie sytuacji bazowej w zakresie hałasu podwodnego, a także opisanie zmian poziomu hałasu, wywołanych procesem konstrukcji i funkcjonowania danej inwestycji morskiej. Wskazanie monitoringu hałasu podwodnego jest również wymienione w Dyrektywie ramowej w sprawie strategii morskiej UE (Van der Graaf et al., 2012; Dekeling et al., 2013b). Celem Dyrektywy jest ochrona, konserwacja i – w miarę możliwości – przywracanie środowiska morskiego do stanu pierwotnego z zamiarem zachowania bioróżnorodności oraz zapewnienia czystości, produktywności i dobrego stanu mórz i oceanów. Dyrektywa wymaga od krajów członkowskich uzyskania „dobrego stanu środowiska” (GES) ich części terytorium morskiego najpóźniej do roku 2020. Aneks nr 1 Dyrektywy zawiera listę 11 deskryptorów definiujących GES. W opisie jednego z nich stwierdzono, iż „wprowadzanie do środowiska morskiego energii, w tym hałasu podwodnego, nie może być na poziomie wpływającym negatywnie na środowisko morskie”. W oparciu o porady grupy ekspertów (Tasker et al. 2010), UE zdefiniowała dwa wskaźniki, które bardziej szczegółowo opisują GES. Drugi z nich dotyczy ciągłych dźwięków o niskiej częstotliwości (szczegóły – EC 2010). Wymaga pomiarów tła akustycznego, najlepiej na poziomie regionalnym, co umożliwiłoby duży postęp w zakresie identyfikacji tendencji związanych z presją na środowisko morskie wywieraną różnymi lokalnymi czynnikami np. ruchem

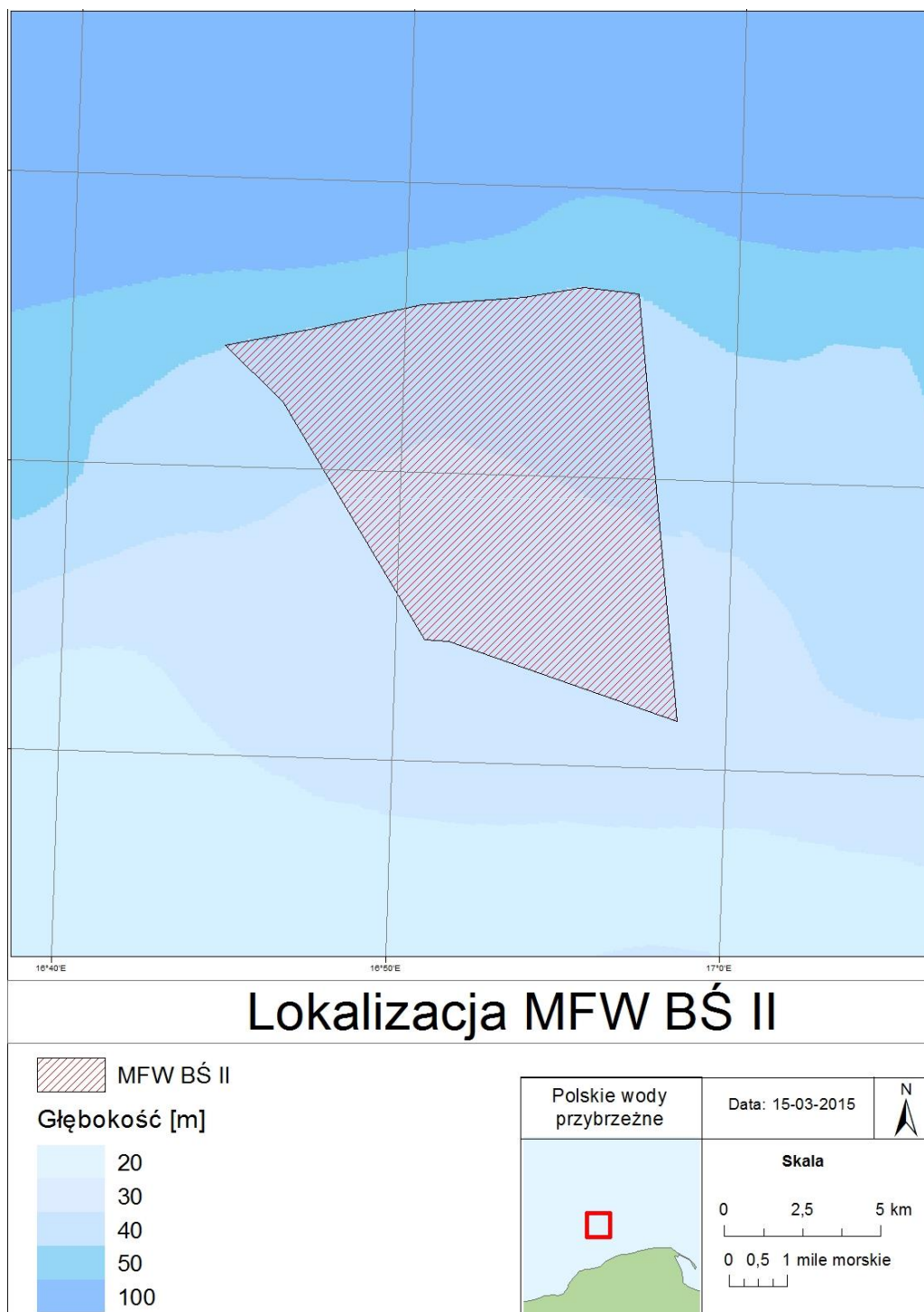
statków (Tasker et al. 2010, van der Graaf et al. 2012). Szczegółowe wymagania w zakresie takiego monitoringu zostały niedawno zaktualizowane (Dekeling et al., 2013a).

2.1 Cel badań

Celem badań było opisanie sytuacji bazowej (punktu zero) w zakresie tła akustycznego dla obszaru BŚ II. Uzyskane wyniki dot. poziomu natężenia hałasu podwodnego zostaną następnie wykorzystane do OOS. Dzięki nim możliwe będzie opisanie zmian względem sytuacji bazowej, spowodowanych procesem budowy MFW i jej funkcjonowaniem. Do określenia warunków akustycznych wykorzystano podwodne rejestratory o długim czasie pracy. Celem było rozmieszczenie na badanym obszarze kilku stacji monitorujących, na których zbieranie danych odbywać się będzie kolejno, w celu uchwycenia zmian przestrzennych hałasu podwodnego w rejonie badań. Tło akustyczne powinno być monitorowane przez pełny rok + jeden miesiąc (niepełny). Założono iż podczas monitoringu przestrzegane będą wytyczne zawarte w BSH 2011 oraz wytyczne opracowane przez grupę roboczą ds. podwodnego hałasu w ramach MSFD, której członkiem jest jeden z autorów niniejszego raportu (F. Thomsen), co zapewniło bezpośredni dostęp do wszystkich materiałów dotyczących metodyki wykonywania badań (Van der Graaf et al., 2012). Oprócz analizy całego zarejestrowanego spektrum częstotliwości, analizę planowano wykonać także w pasmach częstotliwości określonych jako istotne przez MSFD (63 Hz i 125 Hz). Planowano również określić zmiany dot. hałasu podwodnego, zależne od pory roku.

3 Opis obszaru projektu

Polenergia Bałtyk II Sp. z o.o. planuje budowę MFW „Bałtyk Środkowy II” w Polskiej Wyłącznej Strefie Ekonomicznej Morza Bałtyckiego. Projekt „Bałtyk Środkowy II” ma znajdować się poza granicami polskich wód terytorialnych, ok. 37 km od brzegu (Rysunek Rys. 3).



Rys. 3 Położenie MFW BŚ II

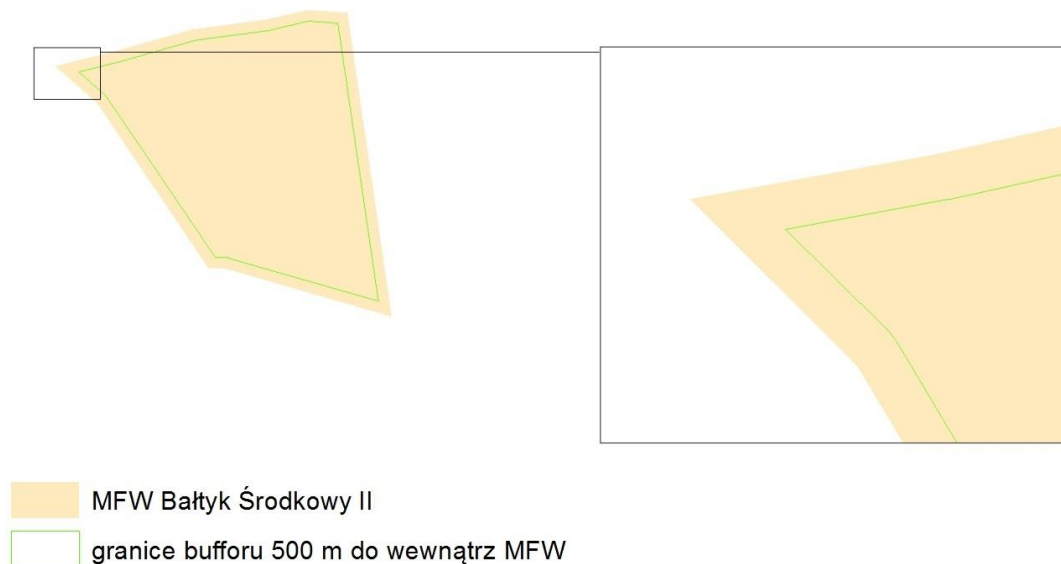
Tab. 1 Współrzędne geograficzne punktów granicznych obszaru MFW BŚ II

Położenie MFW BŚ II (WGS 84)		
Punkt	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna
A	55°00'50,524"N	16°58'30,687"E
B	55°02'06,260"N	16°51'35,533"E
C	55°02'07,171"N	16°50'52,962"E
D	55°06'08,711"N	16°46'23,733"E
E	55°06'11,836"N	16°46'19,179"E
F	55°07'06,218"N	16°44'36,995"E
G	55°07'25,002"N	16°47'08,284"E
H	55°07'54,264"N	16°50'28,666"E
I	55°08'05,318"N	16°53'34,432 "E
J	55°08'17,668"N	16°55'19,624"E
K	55°08'12,077"N	16°56'59,967"E

Według PSZW, otrzymanego 15 stycznia 2011 r., całkowita powierzchnia MFW wynosi ok. 122 km².

Obszar ten, zgodnie z PSZW, pomniejszony jest o 500-metrową strefę buforową, uniemożliwiającą umieszczanie jakichkolwiek elementów konstrukcyjnych MFW. Obszar strefy buforowej wynosi ok. 23 km².

Zatem obszar morski przeznaczony na wdrożenie projektu, zgodnie z PSZW, po pomniejszeniu o strefę buforową, wynosi ok. 99 km²(Rys. 4).



Rys. 4 Granice obszaru MFW BŚ II wraz ze strefą buforową (Polenergia Bałtyk II Sp. z o.o.)

MFW BŚ II położona jest w strefie charakteryzującej się klimatem umiarkowanym, wilgotnym – typowym dla południowego Bałtyku.

4 Metodyka i działania podjęte w okresie badań

4.1. Zbieranie danych

Tło akustyczne mierzono za pomocą rejestratora akustycznego SM2M firmy Wildlife Acoustics (Rys. 5) Urządzenie nagrywa wszystkie podwodne dźwięki o częstotliwości od 2 Hz do 40 kHz. Urządzenie wyposażono w podwodny mikrofon (hydrofon) rejestrujący wszystkie dźwięki w wybranym zakresie częstotliwości (w tym przypadku 2 Hz – 22 kHz, zgodnie z zaleceniami grupy roboczej ds. hałasu podwodnego [Van der Graaf et al., 2012]). Dane przechowywane są na karcie chipowej, a następnie zgrywane na komputer.

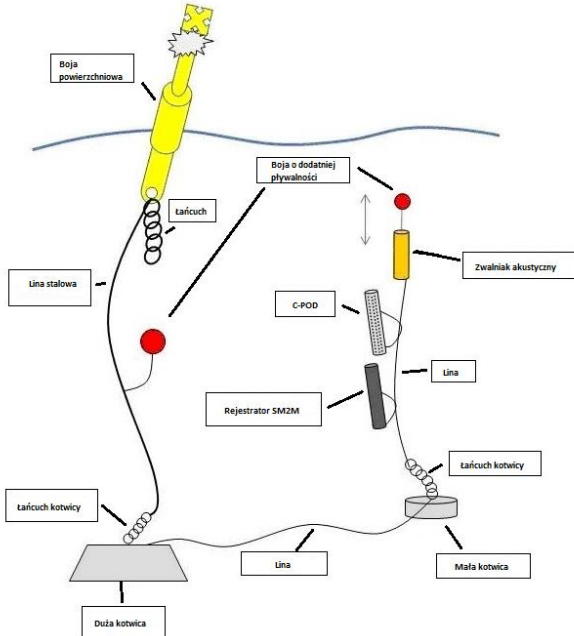
Rejestrator wykrywa dźwięki z pobliskich źródeł (np. przepływające łodzie) oraz pochodzące z dalekich źródeł dźwięki o niskiej częstotliwości – gdyż jak wiadomo tego typu dźwięki mogą być słyszalne na duże odległości pod wodą. Dlatego zarejestrowane dane dotyczące hałasu podwodnego zawierają informacje na temat tła akustycznego na obszarze badawczym i w dużym rejonie poza nim. Całkowity zakres detekcji jest trudny do określenia, ponieważ dźwięki z daleko położonych źródeł łączą się ze sobą i są przez to niemożliwe do zidentyfikowania. Teoretycznie dźwięki zarejestrowane przez hydrofon o natężeniu wyższym od tła akustycznego na danym obszarze mogą być wyodrębnione z nagrania. W przypadku dźwięków generowanych przez łodzie poziom natężenia dźwięku pasma 1/3 oktawowego dla 125 Hz może sięgać 170 dB re 1 μ Pa (np. WODA, 2013). Zakładając stratę propagacyjną na poziomie 15 log R i poziom tła akustycznego o natężeniu 100 dB re 1 μ Pa, dźwięk ten można odróżnić od innych zarejestrowanych przez hydrofon dźwięków z odległości około 40 km. Dźwięk pochodzący z dalej położonego źródła zostanie zarejestrowany, ale nie będzie możliwe jego wyodrębnienie z nagrania.



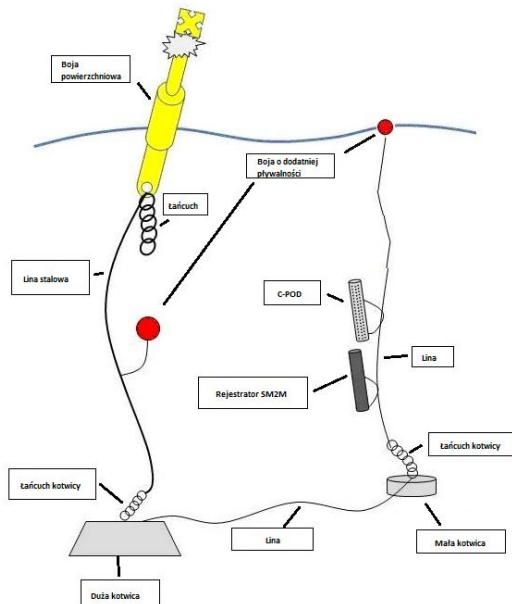
Rys. 5 Rejestrator akustyczny firmy Wildlife Acoustics

Do umieszczenia urządzenia akustycznego w wodzie wykorzystano system bezpiecznego kotwiczenia (Rys. 1). Żółta boja ostrzegawcza z migającą lampą (2 nm zasięgu) oznaczała umiejscowienie ciężkiego (600 kg) bloku kotwiczącego, którego celem była ochrona systemu przed dryfowaniem spowodowanym prądami lub przemieszczeniem na skutek działalności rybackiej (np. trałowaniem). Połączono go 50-metrową liną Tajfun z mniejszą (90 kg) kotwicą. Do mniejszej kotwicy przyczepiono linę (10 m) z dwiema pętlami (5 m i 7 m ponad podłożem). Urządzenie C-POD (do monitoringu aktywności morswinów) przytwierdzono do górnej pętli na każdej stacji, urządzenie SM2M do pętli dolnej. Początkowo, ze względu na ułatwienie podejmowania sprzętów z wody i bezpieczeństwo systemów, w systemach kotwicznych wykorzystywano zwalniaaki akustyczne (Rys. 5.) Po uruchomieniu systemu zwalniającego zanurzona w toni wodnej boja o dodatniej pływalności (rozmiar: 28 cm) wypływała na powierzchnię, a mniejszą kotwicę można było wydobyć wraz z urządzeniem C-POD i rejestratorem SM2M. Jednak ze względu na to, że pojawiały się problemy z

systemem zwalniającym w zwalnikach akustycznych, w późniejszych etapach projektu zmieniono konstrukcję systemu kotwicznego na prostszy. Zamiast zwalników akustycznych wykorzystano boje i liny o dodatniej pływalności. System ten był łatwiejszy w obsłudze i umożliwił wydobywanie urządzeń w sposób mniej skomplikowany (Rys. 7).



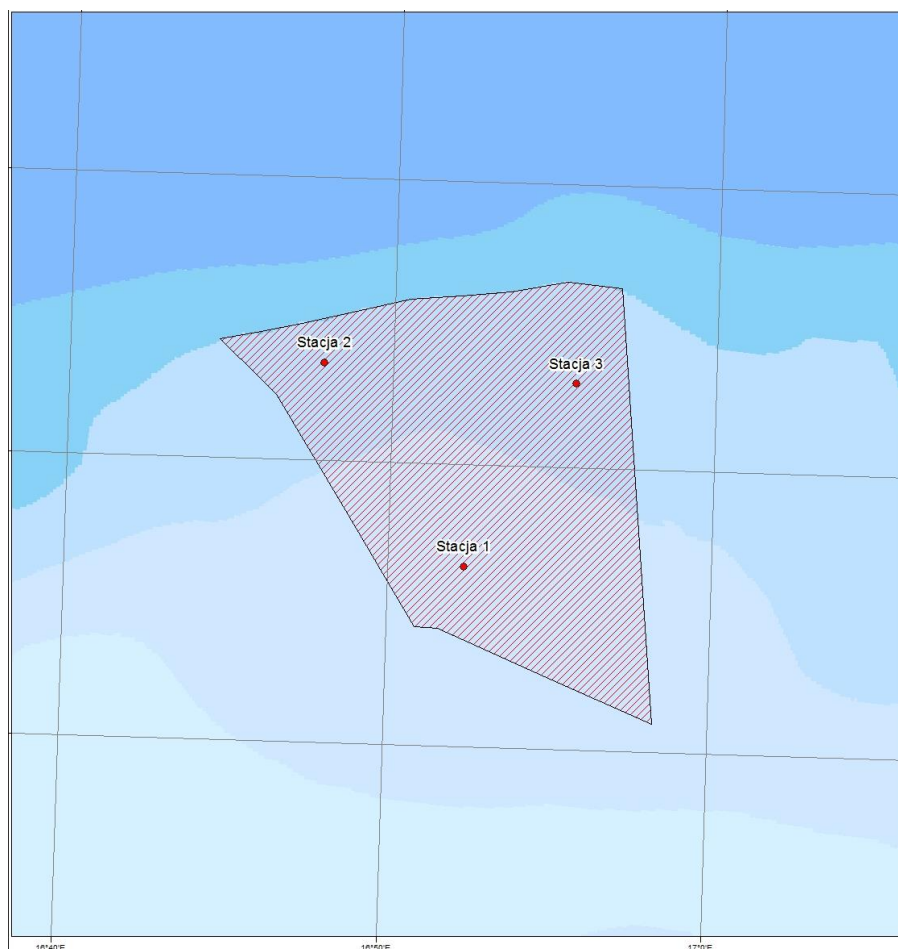
Rys. 6 Schemat zastosowanego na obszarze badawczym systemu kotwiczenia z zastosowaniem zwalników akustycznych



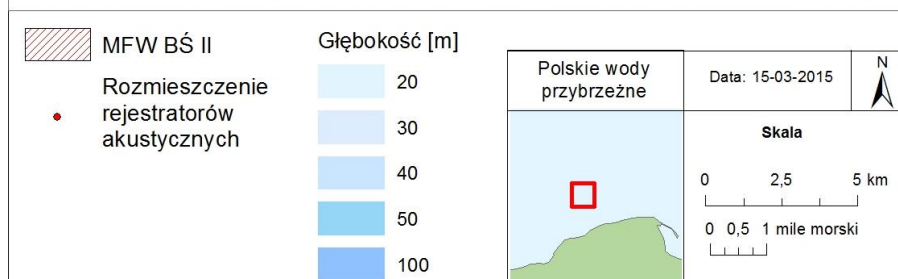
Rys. 7 Schemat zastosowanego na obszarze badawczym systemu kotwiczenia po wymianie zwalników akustycznych na boje i liny o dodatniej pływalności

Monitoring akustyczny na obszarze BŚ II rozpoczęto 26 kwietnia 2014 r., kiedy system kotwiczenia z rejestratorem akustycznym umieszczono na badanym obszarze. Ulokowanie urządzenia odbyło się z użyciem statku należącego do Instytutu Morskiego – „r/v IMOR”.

Podczas kampanii pomiarowej rejestrator zmieniał położenie pomiędzy trzema stacjami – nr 1, 2 i 3, celem takiego monitoringu było sprawdzenie poziomu natężenia hałasu podwodnego w różnych częściach obszaru badawczego. Odległości pomiędzy stacjami wyniosły około 7,5 i 8,75 km. Urządzenie znajdowało się na głębokości ok. 30 m. Lokalizacje stacji pomiarowych wyznaczono tak, aby jak najdokładniej pokryć powierzchnię obszaru BŚ II. Rys. 8 przedstawia położenie stacji oraz ich współrzędne geograficzne.



Rozmieszczenie rejestratorów akustycznych w obszarze MFW BŚ II



Stacja	Współrzędne geograficzne (WGS84)	
	Szerokość	Długość
1	55°03'12.43217 N	16°52'21.26416 E
2	55°06'44.29745 N	16°47'51.05783 E
3	55°06'30.08819 N	16°55'40.99386 E

Rys. 8 Mapa obszaru badawczego BŚ II z zaznaczonymi na czerwono lokalizacjami rejestratora akustycznego oraz ich współrzędnymi geograficznymi. Rejestrator wykrywa dźwięki o niskiej częstotliwości na całym obszarze przedstawionym na mapie

Położenie rejestratora akustycznego zmieniano podczas rejsów serwisowych. Wykonywano wówczas także prace konserwacyjne i zbierano dane. Prace konserwacyjne prowadzono z prywatnej łodzi – „m/y Doktor Lubecki”. Początkowo planowano ich wykonywanie co sześć tygodni, aby ograniczyć ryzyko utraty danych. Jednak w trakcie projektu niezbędne okazało się wprowadzenie zmian w grafiku, ponieważ warunki pogodowe uniemożliwiały pracę na morzu. Jednakże karty pamięci i baterie używane w rejestratorach SM2M umożliwiają rejestrowanie danych przez znacznie dłuższe okresy (nawet kilka miesięcy). Odstęp 6-tygodniowy ustalono ze względów bezpieczeństwa, ale dłuższe odstępy czasu między rejsami serwisowymi były jak najbardziej dopuszczalne. Szczegółowe informacje na temat rejsów znajdują się w Tabeli Tab. 2.

Monitorowanie hałasu podwodnego zakończono 8 maja 2014r., kiedy zebrano ostatni zestaw danych (Tab. 2). Okres zbierania danych był zgodny z uprzednio ustalonym czasem trwania kampanii pomiarowej.



Rys. 9 Urządzenie akustyczne gotowe do umieszczenia w wodzie



Rys. 10 Zanurzenie systemu kotwiczącego

Tab. 2 Szczegółowe informacje w zakresie zbierania danych przez rejestrator akustyczny na terenie BŚ II w okresie badawczym

Rok	Miesiąc	Data rejsu	Numer stacji	Numer rejestratora SM2M	Wydobycie	Zanurzenie	Uwagi	
2013	kwiecień	26.04.2013	1	681168		+	Pierwsze zanurzenie sprzętu	
	czerwiec	12.06.2013	1	681168	+			
			2	681168		+	Pokrycie metalowych części system kotwiczącego od małej kotwicy gumą	
	lipiec	9.07.2013	2	681168	+			
			3	681168		+		
	sierpień	21.08.2013	3	681168	+			
			1	681170		+		
	październik	3.10.2013						Serwis niemożliwy z powodu złych warunków pogodowych
	grudzień	13.12.2013	1	681170	+			
2					+			
		2	681170	+				
		3		681168		+		
2014	luty	3.02.2014	3				Nie serwisowano (pława niewidoczna na powierzchni, brak możliwości trałowania z powodu braku odpowiedniego sprzętu na statku)	
			1	681170		+	Zanurzenie dodatkowego urządzenia	
	marzec	24.03.2014	1	681170	+			
			2	681170		+	Dodatkowe urządzenie	
			3	681168	+	+		
	maj	8.05.2014	2	681170	+		Dodatkowe urządzenie; nie odzyskano danych z powodu awarii urządzenia*	
			3	681168	+		Wydobycie/usunięcie sprzętu; pomyślne zebranie danych	

*Bez wpływu na badania

Urządzenie SM2M nagrywa dźwięki w ustalonym uprzednio zakresie częstotliwości i w określonych odstępach czasu (Rys. 11). Przez cały okres badań urządzenie nagrywało przez 1 minutę co 15 minut. Zakres częstotliwości nagrywanych prób wynosił – od 2 Hz do 22 kHz. Był on wystarczający do rejestracji większości dźwięków pochodzenia antropogenicznego o niskiej i średniej częstotliwości, takich jak palowanie (głównie 100-500 Hz), badania sejsmiczne (10-120 Hz), podwodne eksplozje (6-21 Hz) (Van der Graaf et al., 2012), a także dźwięki generowane przez ruch statków (>1000 Hz) (OSPAR, 2009).



Rys. 11 Ustawianie parametrów rejestrowania danych akustycznych przez urządzenie SM2M przed jego umieszczeniem w wodzie

4.1.1 Inne działania

W całym okresie trwania projektu BŚ II, w celu poprawy wykorzystywanej metodyki oraz zwiększenia efektywności działań prowadzonych w ramach OOS, pracownicy DHI odbyli szereg dyskusji wewnętrznych oraz z innymi zaangażowanymi podmiotami (np. Instytut Morski w Gdańsku, Envia, właściciele łodzi).

Wśród najczęściej poruszanych kwestii znalazło się usprawnienie systemu kotwiczącego, w celu zwiększenia jego efektywności. Często poruszonym tematem była modyfikacja systemu kotwiczącego tak, aby urządzenie SM2M nie nagrywało dźwięków od niego pochodzących. W celu eliminacji tego zagrożenia przyjęto rozwiązanie polegające na przykryciu metalowych części systemu kotwiczącego gumą. Założenie to zrealizowano podczas prac serwisowych. Niestety okazało się ono nieskuteczne, ponieważ źródłem hałasu okazała się główna kotwica, której nie można było wydobyć. Aby sprawdzić, czy dźwięk generowany przez system kotwiczący wpłynie na poziom hałasu podwodnego zarejestrowany przez urządzenie, przeprowadzono dodatkową analizę, która wykazała brak znaczących różnic pomiędzy ogólnymi poziomami natężenia dźwięku dla nagrań z hałasem pochodzącym od systemu kotwiczącego i bez niego (więcej informacji – pkt 6.1 niniejszego raportu).

Inne diskutowane tematy to m.in. bezpieczeństwo na pokładzie oraz usprawnienia jednostki „Doktor Lubecki” wykorzystywanej do serwisowania urządzeń pomiarowych.

Przez cały okres trwania projektu wiele uwagi poświęcano zwiększaniu kwalifikacji osób w niego zaangażowanych oraz poszerzaniu wiedzy na tematy z nim związane. Z tego względu pracownicy DHI uczestniczyli w różnych kursach, konferencjach i warsztatach odbywających się na całym świecie.

4.1.2 Przegląd przeprowadzonych działań i uzyskanych wyników

Niesprzyjające warunki atmosferyczne, występujące dość często w obszarze badawczym, oraz problemy związane z utratami sprzętu, spowodowały brak możliwości przeprowadzenia działań projektowych w pełni zgodnie z pierwotnymi planami. Jednak wprowadzone zmiany były niewielkie i polegały jedynie na aktualizacji harmonogramu serwisu instrumentów i nie miały wpływu na jakość i wiarygodność zebranych danych. Monitoring został zrealizowany w planowanym okresie i zebrano kompletne, dobrej jakości dane zgodnie z wytycznymi BSH (BSH 2007, 2011). Tab. 3 **Error! Reference source not found.** stanowi podsumowanie przeprowadzonych działań i zebranych danych. Tabela Tab. 4 **Error! Reference source not found. Error! Reference source not found. Error! Reference source not found. Error! Reference source not found.** zawiera informacje dotyczące kompletności i jakości zebranych danych.

Tab. 3 Przegląd działań w zakresie monitorowania tła akustycznego na obszarze BŚ II; przeprowadzone działania i komentarze

Zaplanowane działania w zakresie monitoringu tła akustycznego dla celów OOŚ na obszarze MFW BŚ II	Przeprowadzone działania monitoringu tła akustycznego dla celów OOŚ na obszarze BŚ II	Komentarze
<p>Pomiary tła akustycznego od kwietnia 2013 r. do maja 2014 r. przy zastosowaniu rejestratora SM2M (Wildlife Acoustics), ze zmianą lokalizacji co 6 tygodni, podczas rejsów serwisowych.</p>	<p>Pomiary tła akustycznego prowadzono od 26 kwietnia 2013 do 8 maja 2014 r. przy zastosowaniu rejestratora SM2M (Wildlife Acoustics), którego położenie było zmieniane pomiędzy trzema punktami – stacjami nr 1, 2 i 3.</p> <p>Montaż urządzenia w czasie rejsu 26 kwietnia 2013 i dziewięć rejsów serwisowych: 12 czerwca 2013, 10 lipca 2013, 21 sierpnia 2013, 3 i 15 października 2013, 13 grudnia 2013, 3 lutego 2014, 24 marca 2014 i 8 maja 2014.</p>	<p>Monitoring tła akustycznego w planowanym zakresie.</p> <p>Rejsy serwisowe odbywały się w zmiennych odstępach czasowych ze względu na niekorzystne warunki atmosferyczne, niezbędna była zmiana harmonogramu rejsów</p> <p>Zebrano kompletne dane z całego okresu monitoringu.</p>

Tab. 4 Zestawienie danych zebranych podczas monitoringu tła akustycznego na obszarze BŚ II

Monitoring tła akustycznego na obszarze BŚ II		
Przydatne dane	Jakość przydatnych danych	Utracone dane
100%	Dobra	0%

4.2 Metodyka analizy danych

4.2.1 Analiza nagrań tła akustycznego

Dane akustyczne, uzyskane dzięki rejestratorowi SM2M, zostały zgrane do pamięci komputera i wstępnie sprawdzone pod względem jakości. Celem kontroli jakości było sprawdzenie czy dane zawierają nagrania i potwierdzenie poprawności działania urządzenia. Następnie wykonano spektrogramy i przyjrano się kształtom fali wybranych próbek w celu sprawdzenia czy nagrania nie zostały przesterowane (= nagranie sygnału o zbyt wysokiej amplitudzie) i czy dźwięki generowane przez urządzenie bądź system kotwiczący nie obniżyły jakości nagrań. Sprawdzono też ewentualną obecność niestandardowych dźwięków w nagraniach.

Aby określić zmiany sezonowe poziomów natężenia tła akustycznego do analizy ilościowej wybrano losowo 1-minutowe próbki nagrań dla 4 pór roku – wiosny (kwiecień – maj 2013 i marzec – maj 2014), lata (czerwiec – sierpień 2013), jesieni (wrzesień – listopad 2013) i zimy (grudzień 2013 – luty 2014). Dla wszystkich pór roku, próbki zawierały hałas generowany przez osprzęt systemu kotwiczącego. W celu zminimalizowania wpływu tego źródła na natężenie hałasu, z każdej 1-minutowej próbki wybrano 5 sekundowych fragmentów zawierających najmniej zakłóceń (test Mann-Whitney, $p > 0.05$). Do selekcji użyto wbudowanego programu Matlab (Mathworks, Natick, MA, USA). Niektóre 1-minutowe próbki, z których nie było możliwe wyseleksjonowanie 5-sekundowych fragmentów, zostały odrzucone. W tabeli Tab. 5 zaprezentowano ilość próbek wybranych dla każdej pory roku oraz ilość próbek odrzuconych ze względu na zawartość zakłóceń generowanych przez osprzęt systemu kotwiczącego.

Tab. 5 Przegląd zebranych i przeanalizowanych danych z monitoringu tła akustycznego.

Pora roku	Okres pomiarów	Oryginalna ilość próbek	Ilość próbek użytych do analiz	% całkowitej ilości nagrań
wiosna	26 kwiecień – 31 maj 2013	343	308	9.0%
	1 marzec – 8 maj 2014	657	433	6.6%
lato	1 czerwiec – 31 sierpień 2013	886	536	6.0%
jesień	1 wrzesień – 30 listopad 2013	874	595	6.8%
zima	1 grudzień 2013 – 28 luty 2014	870	582	6.7%

Czas trwania próbki został wybrany ze względów praktycznych, jako że poziom natężenia dźwięku w nagraniu zmienia się nieznacznie w krótkim czasie a wyliczenia natężenia dźwięku prościej wykonać dla mniejszej próbki. 5-sekundowy czas trwania próbki jest zgodny z powszechną praktyką opisaną przez grupę ekspertów ds. hałasu podwodnego, działającą w ramach MSFD (Dekeling i in. 2013a), oraz z wytycznymi zawartymi w BSH 2011. W oparciu o próbki, wyliczono widmowe gęstości mocy (PSD). Przedstawiają one częstotliwość na osi X oraz poziom natężenia dźwięku na osi Y (jednostka: dB re 1 μ Pa / Hz). Są one przydatne do określenia głównych częstotliwości tła akustycznego oraz ogólnego poziomu natężenia dźwięku próbki. Widmowe gęstości mocy wyliczono dla pasm 1 Hz oraz 1/3 oktaowych. Wyliczenia hałasu w pasmach 1 Hz dostarczyły informacji na temat rozdziału energii akustycznej w różnych pasmach częstotliwości. Większość zbadanych ssaków morskich odbiera dźwięki o częstotliwości bliższej pasmom 1/3 oktaowym. Poziomy te są zatem bardzo ważne przy omawianiu wpływu hałasu na ssaki morskie (Thomsen et al. 2006). Dodatkowo obliczono poziomy natężenia hałasu w pasmach 1/3 oktaowych 63 i 125 Hz, wymieniane w Dyrektywie ramowej w sprawie strategii morskiej UE jako wskaźniki tła akustycznego w środowisku morskim. Aby porównać wyniki z rezultatami innych badań, obliczono szerokopasmowy poziom natężenia dźwięku w zakresie 2 Hz - 5 Hz poprzez zsumowanie średniego poziomu natężenia dźwięku dla poszczególnych pasm 1/3 oktaowych:

$$\text{SPL SUM} = 10\log((10^{(B1/10)}) + (10^{(B2/10)}) + \dots + 10^{(B32/10)}).$$

Dodatkowo, zgodnie z zaleceniami BSH, przeanalizowano zależność pomiędzy poziomem natężenia tła akustycznego a stanem morza. Celem analizy było porównanie poziomów natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 Hz i 125 Hz, jak również wyliczenie średniego poziomu szerokopasmowego natężenia dźwięku dla dwóch różnych stanów morza. Pierwsza kategoria objęła stopnie 1-3 w skali Beauforta (prędkość wiatru 3 - 5,4 m/s), a druga stopnie 4-6 (prędkość wiatru 5,5 - 13,8 m/s). Na podstawie danych zebranych przez Instytut Morski, wybrano losowo 100 próbek dla każdej kategorii (stanu morza) z podzbioru próbek obejmujących wszystkie pory roku.

4.2.2 Analiza statystyczna

Porównanie kilku próbek z zestawów dla różnych pór roku wykonano przy użyciu jednoczynnikowej analizy wariancji (Test Kruskala-Wallisa; Zar, 1984).

W celu porównania próbek zebranych dla różnych stanów morza zastosowano Test U Manna-Whitneya (Zar, 1984).

5 Wyniki

5.1 Tło akustyczne

Podczas monitoringu tła akustycznego na obszarze BŚ II zebrano 36365 nagrań (rozmiar całkowity: 179,85 GB). Dane objęły 378 dni, czyli 100% okresu badawczego. Przegląd zebranych danych akustycznych przedstawiono w Tab. 6.

Tab. 6 Przegląd danych akustycznych zebranych w czasie monitoringu na obszarze badawczym BŚ II.

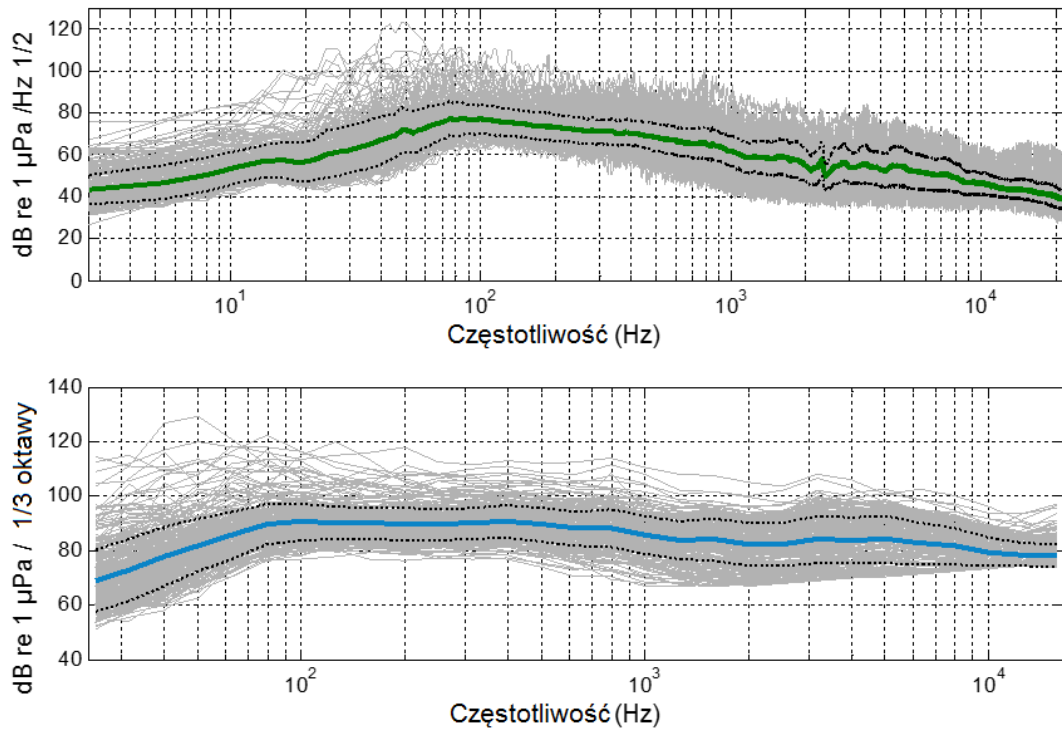
pora roku	liczba nagrań	rozmiar nagrań [GB]	Okres
wiosna 2013	3428	16.9	26.04. - 31.05.2013
lato 2013	8849	43.71	1.06. - 31.08.2013
jesień 2013	8730	43.2	1.09. - 30.11.2013
zima 2013/2014	8690	43.04	1.12.2013 - 28.02.2014
wiosna 2014	6668	33	1.03. - 8.05.2014
Razem	36365	179.85	378 dni (100% okresu badań)

5.1.1 Poziom natężenia dźwięku tła akustycznego

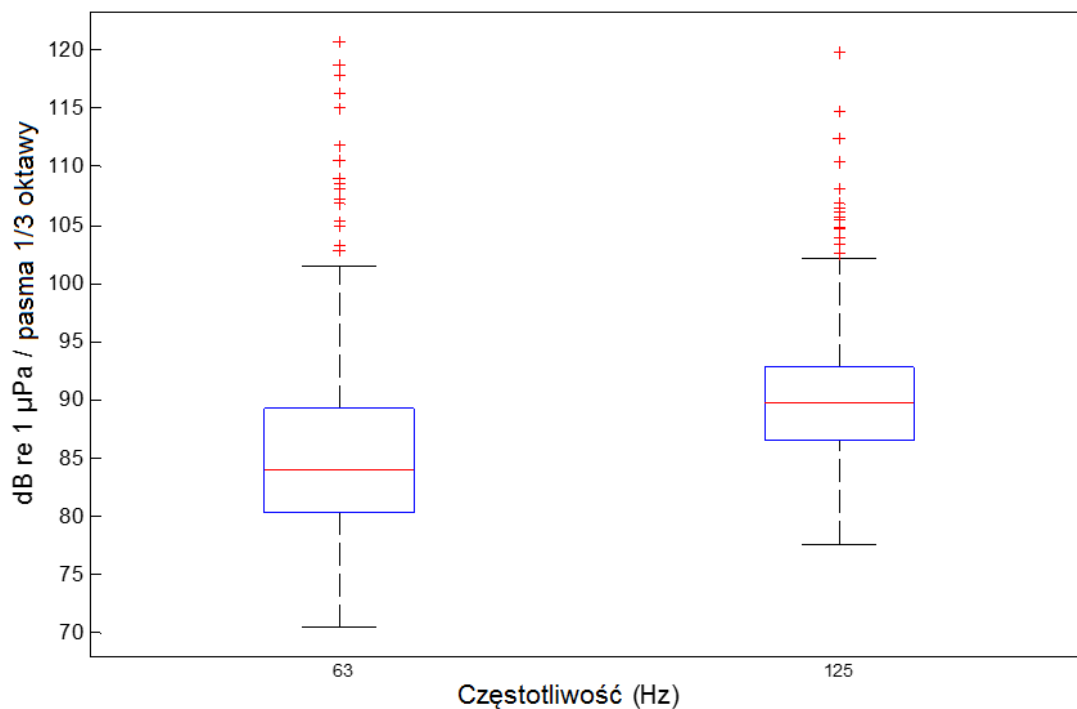
Dla analizy ilościowej danych dla każdej pory roku obliczono widmową gęstość mocy (PSD) na podstawie reprezentatywnego podzbioru próbek (patrz: Tab. 5), dzięki czemu uzyskano informacje na temat rozdziału energii akustycznej w różnych pasmach częstotliwości. Wartości PSD na obszarze badań przeanalizowano dla różnych pór roku.

5.1.1.1 Wiosna

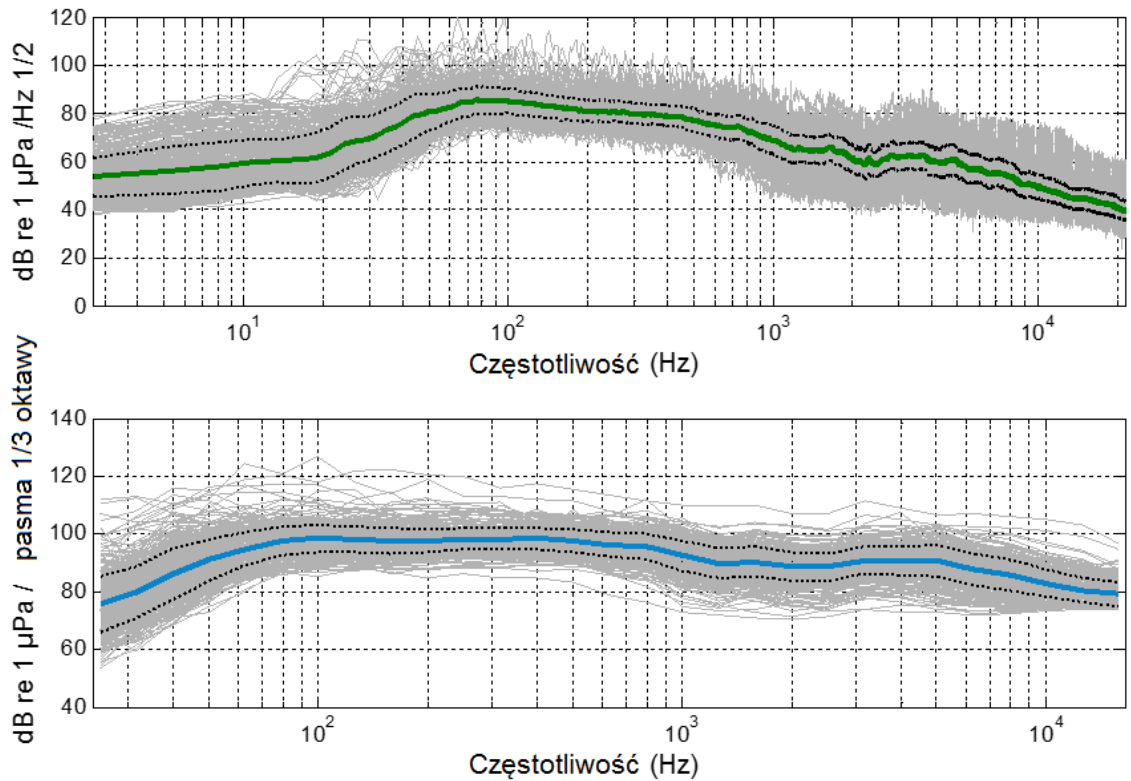
Ponieważ dane dla sezonu wiosennego zebrano dwukrotnie – w roku 2013 i 2014 – obydwa zestawy zostały wykorzystane do analizy oraz porównane. Uzyskane wartości PSD przedstawiono na Rys. Rys. 12 -Rys. 15.



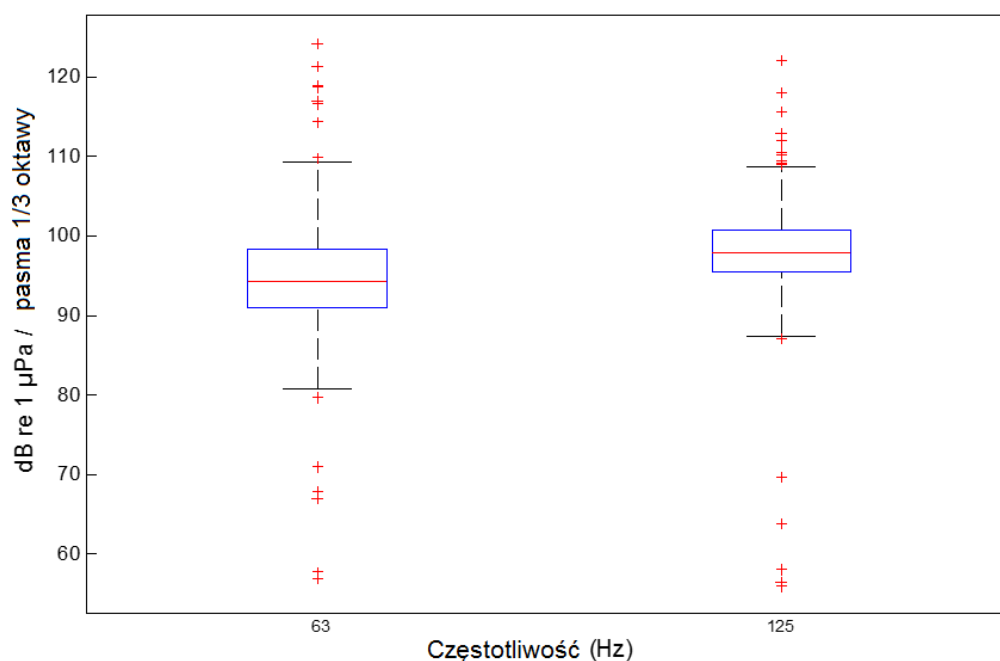
Rys. 12 Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu wiosny (26 kwiecień – 31 maj 2013 (liczba próbek = 308). Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy pojedynczych próbek. Zielona linia – średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe od średniej. Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu wiosennego 2013.). Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy pojedynczych próbek, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy.



Rys. 13 Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu wiosennego 26 kwietnia – 31 maja 2013r. (liczba próbek = 308). Czerwona linia - mediana, poziome granice niebieskich kwadratów - pierwszy i trzeci kwantyl, czarne znaczniki - wartości maksymalne i minimalne w podpróbie, czerwone krzyżyki - wyniki odstające od grupy



Rys. 14 Górný wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu wiosennego 1 marca – 8 maja 2014 r. (liczba próbek = 433). Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy dla poszczególnych próbek, zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy. Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu wiosennego 2014. Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy dla poszczególnych próbek , niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy.



Rys. 15 Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu jesiennego 1 marca – 8 maja 2014 r. (liczba próbek = 433). Czerwona linia - mediana, poziome granice niebieskich kwadratów - pierwszy i trzeci kwantyl, czarne znaczniki - wartości maksymalne i minimalne w podpróbie, czerwone krzyżyki - wyniki odstające od grupy

Jak pokazują Rys. 12 i Rys. 14, wiosną 2013 i 2014 większość energii akustycznej była skoncentrowana w zakresie częstotliwości do 1 kHz (wykresy górne). Wykresy dolne natomiast pokazują rozdział energii w pasmach 1/3 oktawowych do 16 kHz; rozdział ten był względnie równy zgodnie z przewidywaniami, jako że pasma 1/3 oktawowe zwiększają swoją szerokość wraz ze wzrostem częstotliwości (patrz także Madsen i in., 2006 – porównywalne wyniki dla Bałtyku i Morza Północnego).

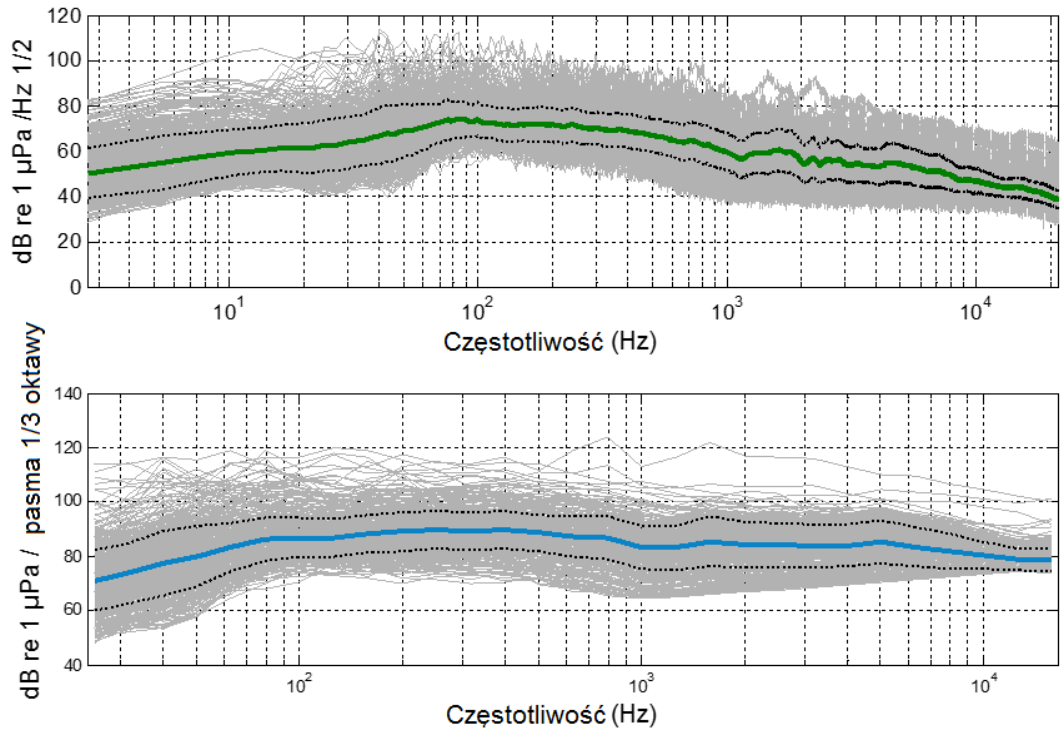
Na podstawie Rys. 13 i Rys. 15 można stwierdzić, że średni poziom szerokopasmowego natężenia dźwięku pasm 1/3 oktawowych (63 Hz – 10 kHz), wyniósł 102 dB re 1 μ Pa (mediana: 102 dB, maks. 126 dB, min. 90 dB re 1 μ Pa) dla wiosny 2013 oraz 110 dB re 1 μ Pa (mediana: 110 dB, maks. 131 dB, min. 81 dB re 1 μ Pa) dla wiosny 2014, natomiast średni poziom natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 i 125 Hz wyniósł odpowiednio 86 i 90 dB re 1 μ Pa dla wiosny 2013 oraz 95 i 98 dB re 1 μ Pa dla wiosny 2014.

Test U Manna-Whitneya wykazał istotne statystycznie różnice w poziomie natężenia tła akustycznego pomiędzy oboma sezonami. Poziom hałasu był znacznie wyższy ($p < 0.01$) w 2014 niż w 2013 zarówno dla częstotliwości 63 Hz i 125 Hz, jak i średnich szerokopasmowych poziomów hałasu.

5.1.1.2

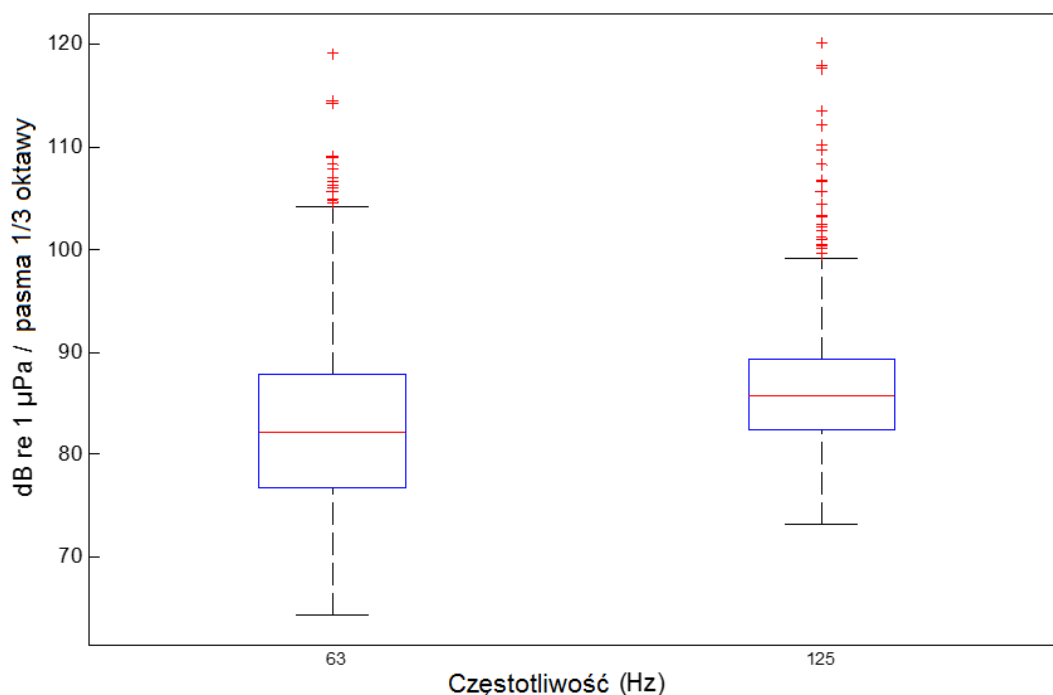
Lato

Wartości PSD, uzyskane dla sezonu letniego, przedstawiono na Rys. 16 i 17.



Rys. 16

Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu letniego 1 czerwca – 31 sierpnia 2013. (liczba próbek = 536). Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy dla poszczególnych próbek, Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy. Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu letniego 2013. Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy dla poszczególnych próbek. Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy.



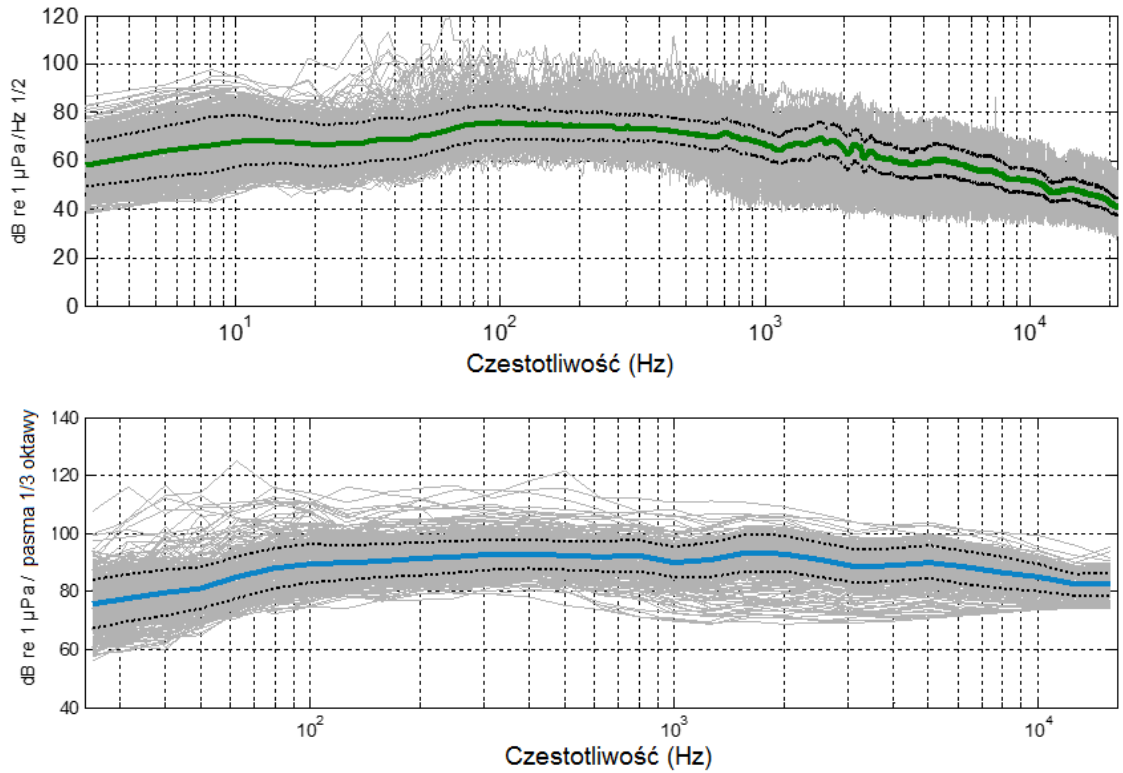
Rys. 17 Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu letniego 1 czerwca – 31 sierpnia 2013 (liczba próbek = 536). Czerwona linia - mediana, poziome granice niebieskich kwadratów - pierwszy i trzeci kwantyl, czarne znaczniki - wartości maksymalne i minimalne w podpróbie, czerwone krzyżyki - wyniki odstające od grupy.

Jak pokazuje Rys. 16, w okresie letnim większość energii akustycznej była skupiona w zakresie częstotliwości poniżej 1 kHz (wykres górny). Wykres dolny natomiast pokazuje rozdział energii do 11 kHz; rozdział ten był względnie równy.

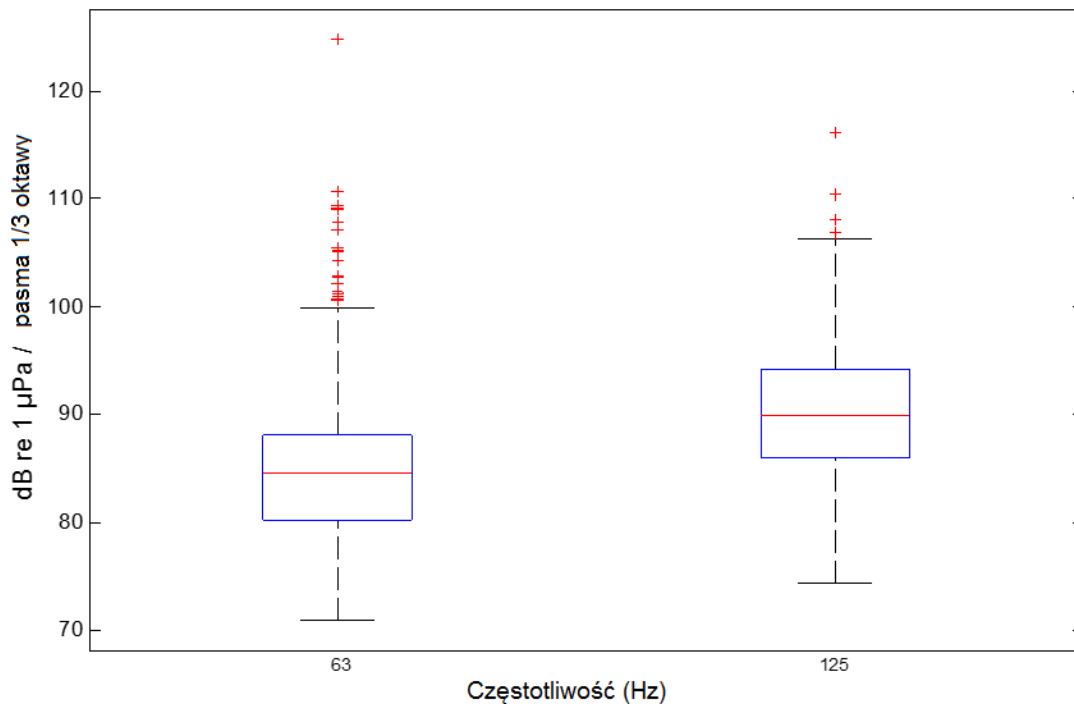
Rys. 17 przedstawia średni szerokopasmowy poziom natężenia dźwięku pasm 1/3 oktawowych (63 Hz – 10 kHz), który wyniósł 102 dB re 1 µPa (mediana: 102 dB, maks. 130 dB, min. 86 dB re 1 µPa). Średni poziom natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 i 125 Hz wyniósł odpowiednio 83 i 87 dB re 1 µPa.

5.1.1.3 Jesień

Wartości PSD, uzyskane dla sezonu jesiennego, przedstawia Rys. 18 i 19.



Rys. 18 Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu jesiennego 1 września – 30 listopada 2013 (liczba próbek = 595). Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy dla poszczególnych próbek, Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy. Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu jesiennego 2013. Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy dla poszczególnych próbek, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy



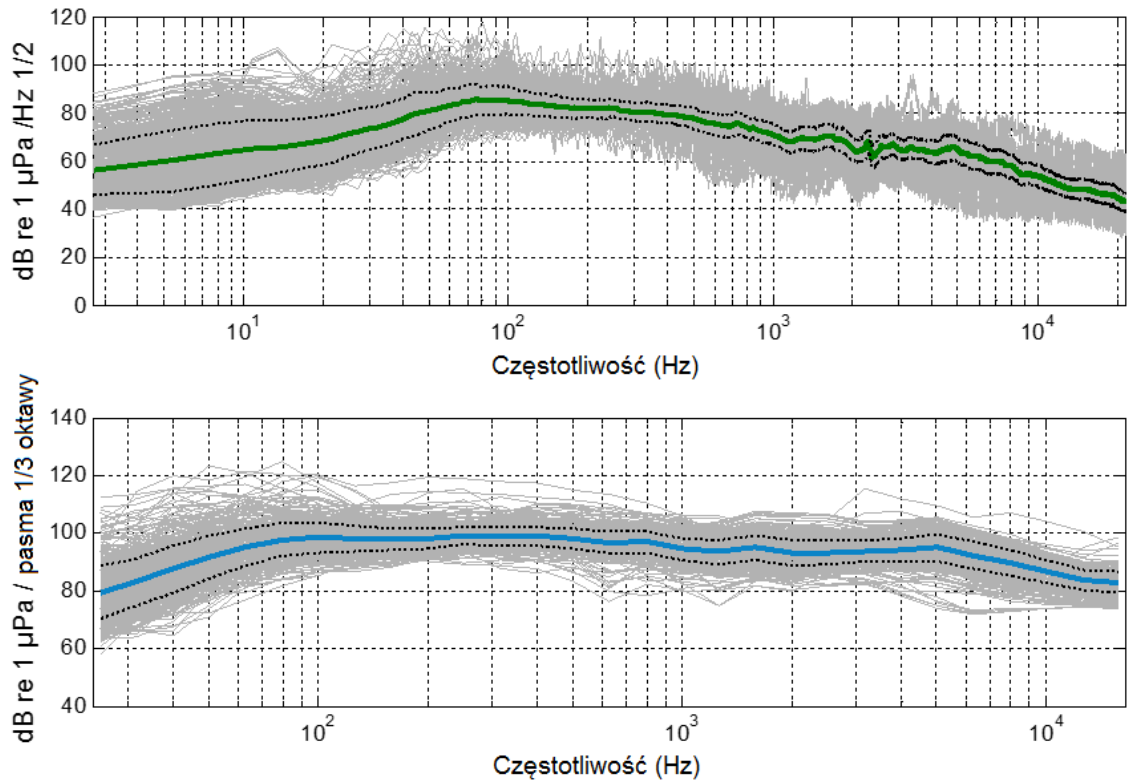
Rys. 19 Wykres pudełkowy pasm 1/3 oktawowych – 63 i 125 Hz; próbki z okresu 1 września – 30 listopada 2013 r. (n = 595). Czerwona linia - mediana, poziome granice niebieskich kwadratów - pierwszy i trzeci kwantyl, czarne znaczniki - wartości maksymalne i minimalne w podpróbce, czerwone krzyżyki - wyniki odstające od grupy. Dla próbek z sezonu wiosennego Rys.17 pokazuje rozdział energii zbliżony do zaobserwowanego w okresie jesiennym i zimowym.

Dla okresu jesiennego próbki przedstawione na Rys. 18 pokazują rozkład częstotliwości zbliżony do nagrań z okresu wiosny i lata.

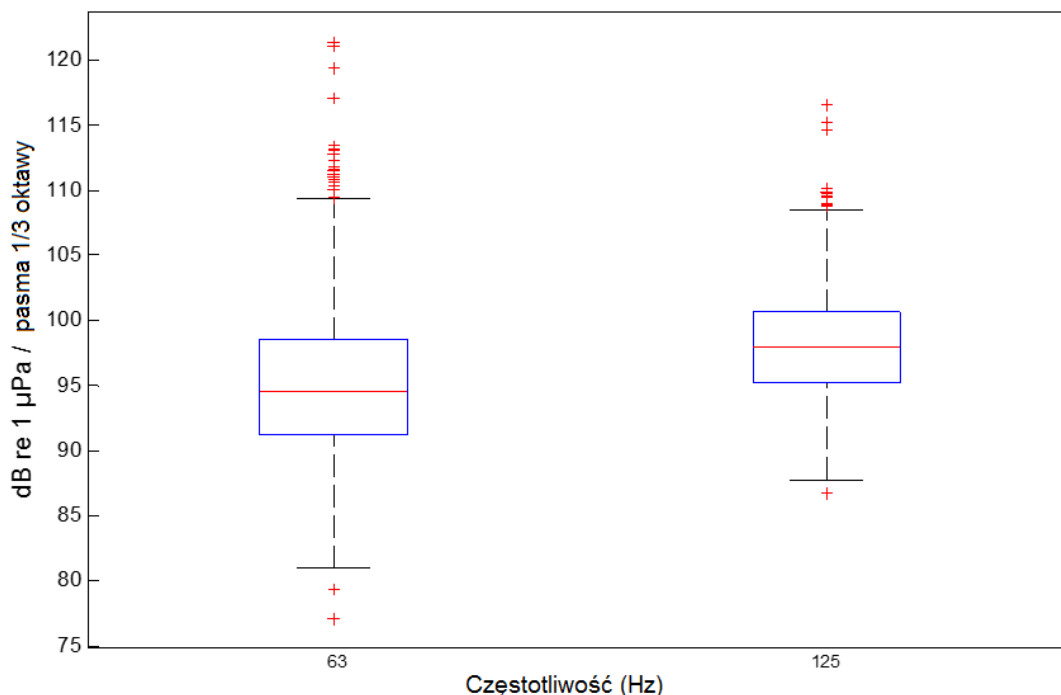
Rys. 19 wskazuje średni poziom szerokopasmowego natężenia dźwięku pasm 1/3 oktawowych (63 Hz – 10 kHz), który wyniósł 106 dB re 1 μ Pa (mediana: 106 dB, maks. 127 dB, min. 90 dB re 1 μ Pa). Średni poziom natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 i 125 Hz wyniósł odpowiednio 85 i 90 dB re 1 μ Pa.

5.1.1.4 Zima

Wartości PSD dla okresu zimowego przedstawiono na Rys. 20 i 21.



Rys. 20 Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu zimowego 1 grudnia 2013 – 28 lutego 2014 r. (liczba próbek = 582). Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy dla poszczególnych próbek, Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy. Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podprób nagrań z okresu zimowego 2013/14. Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy dla poszczególnych próbek, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy.



Rys. 21 Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu zimowego 1 grudnia 2013 – 28 lutego 2014 (liczba próbek = 582). Czerwona linia - mediana, poziome granice niebieskich kwadratów - pierwszy i trzeci kwantyl, czarne znaczniki - wartości maksymalne i minimalne w podpróbie, czerwone krzyżyki - wyniki odstające od grupy

Jak pokazuje Rys. 20, w okresie zimowym większość energii akustycznej była skoncentrowana w zakresie częstotliwości poniżej 1 kHz (wykres górny). Wykres dolny natomiast pokazuje rozdział energii dla pasm 1/3 oktawowych i powyżej 1 kHz; rozdział ten był względnie równy.

Rys. 21 wskazuje średni poziom szerokopasmowego natężenia dźwięku pasm 1/3 oktawowych (63 Hz – 10 kHz), który wyniósł 111 dB re 1 µPa (mediana: 111 dB, maks. 129 dB, min. 100 dB re 1 µPa). Średni poziom natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 i 125 Hz wyniósł odpowiednio 95 i 98 dB re 1 µPa.

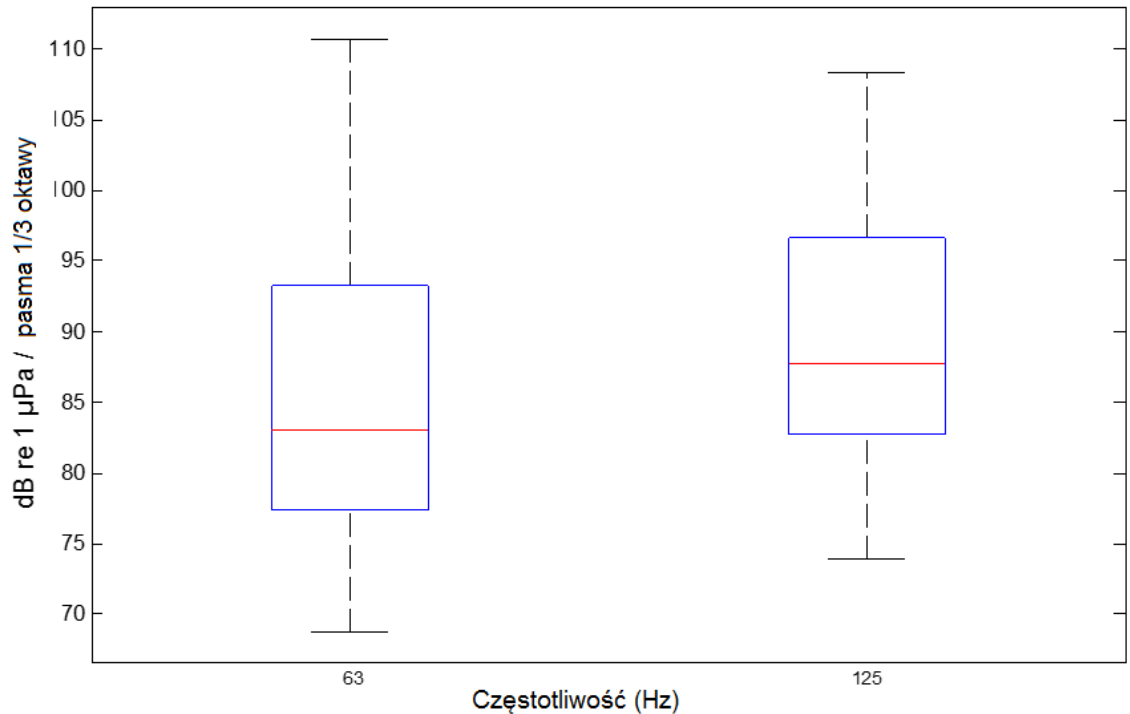
Porównanie wartości średnich szerokopasmowych poziomów natężenia dźwięku uzyskanych dla różnych pór roku wykonano przy użyciu Testu Kruskala-Wallis. Wykazał on istotne różnice pomiędzy wartościami otrzymanymi dla różnych pór roku ($p < 0,05$).

Porównanie średnich poziomów natężenia dźwięku dla częstotliwości 125 Hz ($p < 0,05$) wykazało znaczące różnice z najwyższymi wartościami w zimie, a najniższymi w lecie, zaś zbliżonymi do siebie wiosną i latem. Nie wykazano znaczących różnic na częstotliwości 63 Hz pomiędzy wiosną i zimą.

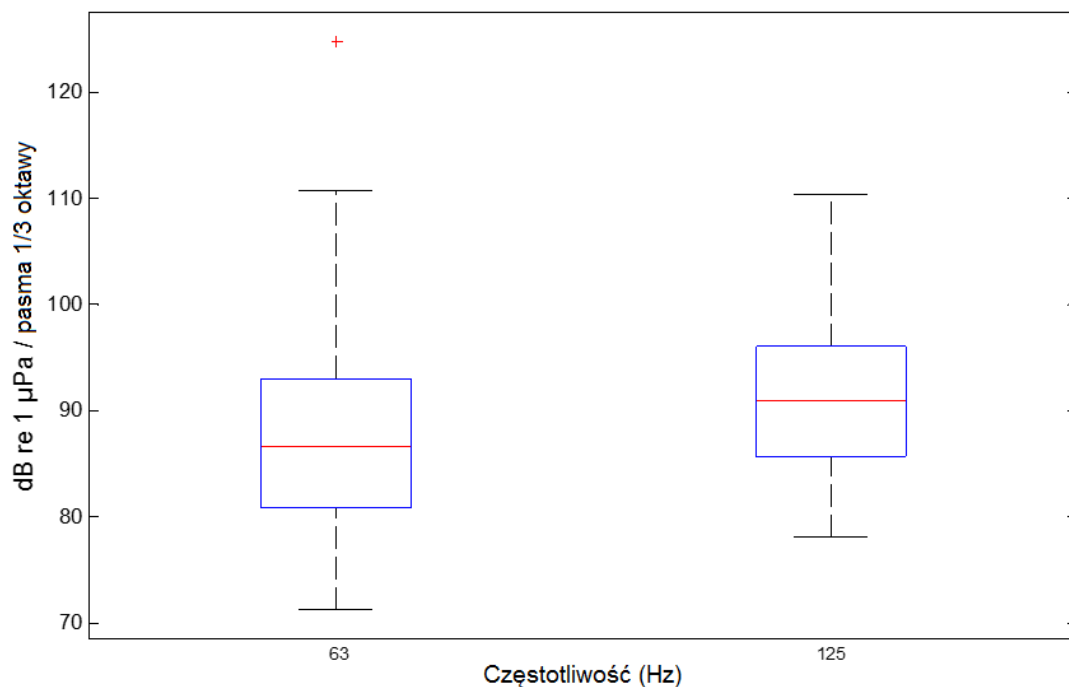
5.1.2 Poziom natężenia tła akustycznego przy różnych stanach morza

Zgodnie z wytycznymi BSH 2011, dokonano porównania poziomów natężenia tła akustycznego przy różnych warunkach panujących na morzu (stan morza). Analiza ta może być przydatna przy porównywaniu hałasu generowanego na skutek funkcjonowania MFW w sytuacjach bardzo niewielkiej aktywności wirników z takimi, w których prędkość obrotowa wirnika będzie wysoka ze względu na dużą prędkość wiatru. W tym celu porównano poziomy natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 Hz i 125 Hz oraz średnie wartości poziomów szerokopasmowego natężenia

dźwięku dla dwóch grup podpróbek: dla stanu morza 1-3 (0.3-5.4 m/s; Rys. 22) oraz 4-6 w skali Beauforta (5.5-13.8 m/s; Rys. 23). Dla porównania wybrano losowo po 100 próbek dla każdego stanu morza z próbek obejmujących cały cykl roczny.



Rys. 22 Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla stopni 1-3 w skali Beauforta (liczba próbek = 100). Czerwona linia - mediana, poziome granice niebieskich kwadratów - pierwszy i trzeci kwantyl, czarne znaczniki - wartości maksymalne i minimalne w podpróbie, czerwone krzyżki - wyniki odstające od grupy



Rys. 23 Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla stopni 4-6 w skali Beauforta (liczba próbek = 100). Czerwona linia - mediana, poziome granice niebieskich kwadratów - pierwszy i trzeci kwantyl, czarne znaczniki - wartości maksymalne i minimalne w podpróbie, czerwone krzyżki - wyniki odstające od grupy

Rys. 22 wskazuje że średni poziom szerokopasmowego natężenia dźwięku pasm 1/3 oktawowych (63 Hz – 10 kHz) dla 1-3 stopni w skali Beauforta wyniósł 102 dB re 1 μ Pa (mediana: 100 dB, maks. 117 dB, min. 87 dB re 1 μ Pa). Średni poziom natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 i 125 Hz wyniósł odpowiednio 85 i 90 dB re 1 μ Pa.

Średni poziom szerokopasmowego natężenia dźwięku pasm 1/3 oktawowych (63 Hz – 10 kHz) dla 4-6 stopni w skali Beauforta (Rys. 23) wyniósł 107 dB re 1 μ Pa (mediana: 107 dB, maks. 127 dB, min. 195 dB re 1 μ Pa). Średni poziom natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 i 125 Hz wyniósł odpowiednio 88 i 91 dB re 1 μ Pa.

Analiza statystyczna wykazała, że wartości tła akustycznego dla badanych stanów morza nie były znacząco różne dla częstotliwości 125 Hz. Różniły się natomiast znacząco dla częstotliwości 63 Hz i średniego poziomu szerokopasmowego natężenia dźwięku (Mann-Whitney $p < 0.05$), osiągając najwyższe wartości przy wysokim stanie morza (4-6 stopni w skali Beauforta).

6 Dyskusja

6.1 Ocena jakości danych i otrzymanych wyników

Niniejszy raport podsumowuje drugi prowadzony na dużą skalę monitoring tła akustycznego w ramach badań mających na celu uzyskanie pozwolenia na budowę MFW w polskich wodach Bałtyku. Ponieważ obszar badawczy znajduje się w miejscu, gdzie często występują niesprzyjające warunki atmosferyczne, spodziewano się różnych utrudnień podczas trwania kampanii pomiarowej. Mimo tego, badania przeprowadzono zgodnie z planem oraz zebrano dobrej jakości dane obejmujące 100% okresu przewidzianego na badania monitoringowe. Uzyskano dane reprezentatywne dla wszystkich pór roku, a co za tym idzie zachowano standardy monitoringu tła akustycznego zalecane przez BSH (BSH 2011).

Jednym z głównych problemów związanych z monitorowaniem podwodnego tła akustycznego jest rejestracja dźwięków generowanych przez system rejestrujący – może on pochodzić od samego urządzenia lub być generowany przez system kotwiczący. Według Dekelunga i innych (2013a), poziom dźwięków generowanych przez system powinien być przynajmniej 6 dB niższy od najniższego poziomu natężenia dźwięku pomierzonego podczas monitoringu w badanym zakresie częstotliwości. Hydrofon używany przez SM2M generuje dźwięki o wartości od 42 do 54 dB re 1 μ Pa²/Hz (10 Hz - 1000 Hz), czyli znajdujące się dużo poniżej rejestrowanych w badaniu poziomów PSD w tym zakresie częstotliwości. Możemy zatem wykluczyć możliwość wpływu przez hydrofon bądź inne części sprzętu rejestrującego na nagrania. Jakość rejestratora jest również potwierdzona faktem, iż został on użyty w największym na Bałtyku projekcie BIAS [Baltic Sea Information on the Acoustic Soundscape], monitorującym poziom tła akustycznego w tym akwenie. Prace terenowe w ramach projektu BIAS rozpoczęły się w roku 2014 i obejmują cały rok kalendarzowy. Dane dotyczące hałasu podwodnego w polskiej części Morza Bałtyckiego zbierane są w ramach BIAS na 5 stacjach pomiarowych.

W uzyskanych przez nas nagraniach odnotowano hałas generowany przez system kotwiczący. W większości przypadków te dźwięki o wysokiej częstotliwości wpływały na jakość nagrań. W celu zniwelowania tego problemu, zastosowano nowe rozwiązanie polegające na analizie 1-minutowych próbek przy użyciu stworzonego na te potrzeby detektora klików o określonych częstotliwościach (hałas generowany przez system kotwiczący charakteryzuje się częstotliwościami powyżej 2 kHz), do wyselekcjonowania z każdej 1-minutowej próbki 5-sekundowej podpróbki (o ile było to możliwe), w której hałas ten był mniejszy od wartości progowej programu. Następnie, zgodnie z metodyką opisaną w rozdziale 4.2.1., przeanalizowano 5-sekundowe podpróbki z nowych 1-minutowych plików. Ilość prób uzyskanych tą metodą była w dalszym ciągu wystarczająca do wykonania analiz ilościowych tła akustycznego dla obszaru BŚ II.

6.2 Tło akustyczne w obszarze MFW BŚ II w zależności od pory roku i prędkości wiatru

Podsumowanie wyników naszych badań przedstawiono w Tabeli 7 (*wyniki zbiorcze ze wszystkich pór roku).

Tab. 7 Zestawienie wyników monitoringu hałasu otoczenia na obszarze BŚ II

	2013			2013/2014	2014
	wiosna	lato	jesień	zima	lato
Szerokopasmowy poziom natężenia dźwięku (dB re 1μPa)	102	102	106	111	110
poziom natężenia dźwięku - 63 Hz (dB re 1μPa)	86	83	85	95	95
poziom natężenia dźwięku 125 Hz (dB re 1μPa)	90	87	90	98	98
szerokopasmowy poziom natężenia dźwięku (dB re 1μPa) przy 1-3* w skali Beauforta	102*	102*	102*	102*	102*
szerokopasmowy poziom natężenia dźwięku (dB re 1μPa) przy 4-6* w skali Beauforta	107*	107*	107*	107*	107*

* wyniki zbiorcze dla wszystkich pór roku

Analizując trendy sezonowe, należy pamiętać, iż wyniki z różnych stacji pomiarowych zostały połączone. W naszym przypadku było to uzasadnione podobieństwem miejsc nagrywania danych pod względem głębokości i parametrów fizycznych (np. batymetria). Należy jednak zauważyć, że w innych badaniach zaobserwowano różnice w poziomach natężenia tła akustycznego na sąsiadujących ze sobą obszarach (FEMM, 2013; Johansson & Andersson, 2012) – wynika to przede wszystkim z odległości danej lokalizacji od tras statków. Dlatego też porównania wyników dla poszczególnych pór roku w naszym badaniu należy traktować z ostrożnością.

Wyniki przedstawione w Tab. 7 wskazują, że poziomy natężenia tła akustycznego odnotowane latem były niższe od tych zanotowanych zimą, wiosną oraz jesienią 2014. Można to wyjaśnić lepszymi warunkami propagacji dźwięku w Bałtyku przy niższych temperaturach. Na przykład w cieśninie Fehmarnbelt, większe straty propagacyjne zachodzą latem i jesienią. Mniejsze straty propagacyjne odnotowano wiosną i zimą. Wynika to z faktu, iż wiosną i zimą, prędkość dźwięku rośnie wraz z głębokością. Prowadzi to do odbijania się fal dźwiękowych od dna, co skutkuje mniejszym kontaktem fal akustycznych z dnem morskim. Natomiast w lecie sytuacja jest odwrotna, fale dźwiękowe przemieszczają się z prędkością większą przy powierzchni, w wyniku czego są odbijane w stronę dna, prowadząc do większej absorpcji fali przez dno morskie (FEMM, 2013). Zaskakujące jest, że szerokopasmowy poziom natężenia hałasu w roku 2013 był taki sam dla wiosny i lata. Wynika to z faktu, że badania rozpoczęto pod koniec kwietnia 2013, dlatego próbki zebrane wiosną 2013 roku nie obejmują danych dla marca, kiedy temperatura wody jest niższa niż w kolejnych miesiącach. Fakt ten wpłynął na wyniki analiz dla okresu wiosennego 2013 r., zaniżając wartość szerokopasmowego poziomu natężenia dźwięku oraz poziomu natężenia dźwięku zarówno dla częstotliwości 63 jak i 125 Hz.

Wyniki pokazują istotny wpływ prędkości wiatru na poziom tła akustycznego, skutkujący wzrostem poziomu natężenia dźwięku wraz ze wzrostem prędkości wiatru, co jest zgodne z wynikami innych badań (np. Dreschler et al. 2009). Jest to istotne spostrzeżenie z punktu widzenia określenia stref

wpływu dźwięków generowanych przez eksploatację MFW. Można wnioskować, że odległość, z której dźwięki generowane przez działanie MFW będą słyszalne, jest mniejsza przy wyższej prędkości wiatru, jako że wraz ze wzrostem prędkości wiatru wzrasta poziom natężenia tła akustycznego.

6.3 Porównanie uzyskanych wyników z innymi obszarami

Tab. 8 stanowi porównanie wyników naszego badania z rezultatami innych projektów badawczych. Należy zaznaczyć, iż tego typu porównania nie są w pełni miarodajne, gdyż takie czynniki jak dobór hydrofonu, amplifikacja, szerokość pasma poddanego analizie i zmienne środowiskowe (stan morza, wiatr, głębokość, pora roku) mają wpływ na uzyskane wyniki. Dlatego też standaryzacja procesów monitorowania podwodnego tła akustycznego jest jednym z kluczowych celów MSFD. Mamy nadzieję, że wyniki badań prowadzonych w przyszłości (np. w ramach projektu BIAS) będą mogły być bezpośrednio porównywane z naszymi.

Możemy przyjąć ogólny wniosek, że poziomy natężenia tła akustycznego odnotowane na obszarze BŚ II są porównywalne z wynikami innych badań, prowadzonych w podobnych okolicznościach. Są szczególnie zbliżone do wyników uzyskanych przez Gerke 2011 i FEMM 2013 (najniższe wartości uzyskane w tych badaniach). Tab. 8 wskazuje również, że zarejestrowane poziomy natężenia dźwięku pasm 1/3 oktaowych w okolicach Rotterdamu są w porównaniu z wynikami na obszarze BŚ II znacznie wyższe dla częstotliwości 63 Hz i 125 Hz (por. wartości w Tab. 7). Widać zatem wyraźnie, iż niższe poziomy natężenia hałasu na terenie BŚ II wynikają z mniejszego ruchu statków. Stąd BŚ II można uznać za obszar o umiarkowanej presji spowodowanej przez hałas podwodny.

Tab. 8 Zestawienie wyników badań tła akustycznego i ich porównanie z wynikami dla obszaru BŚ II.

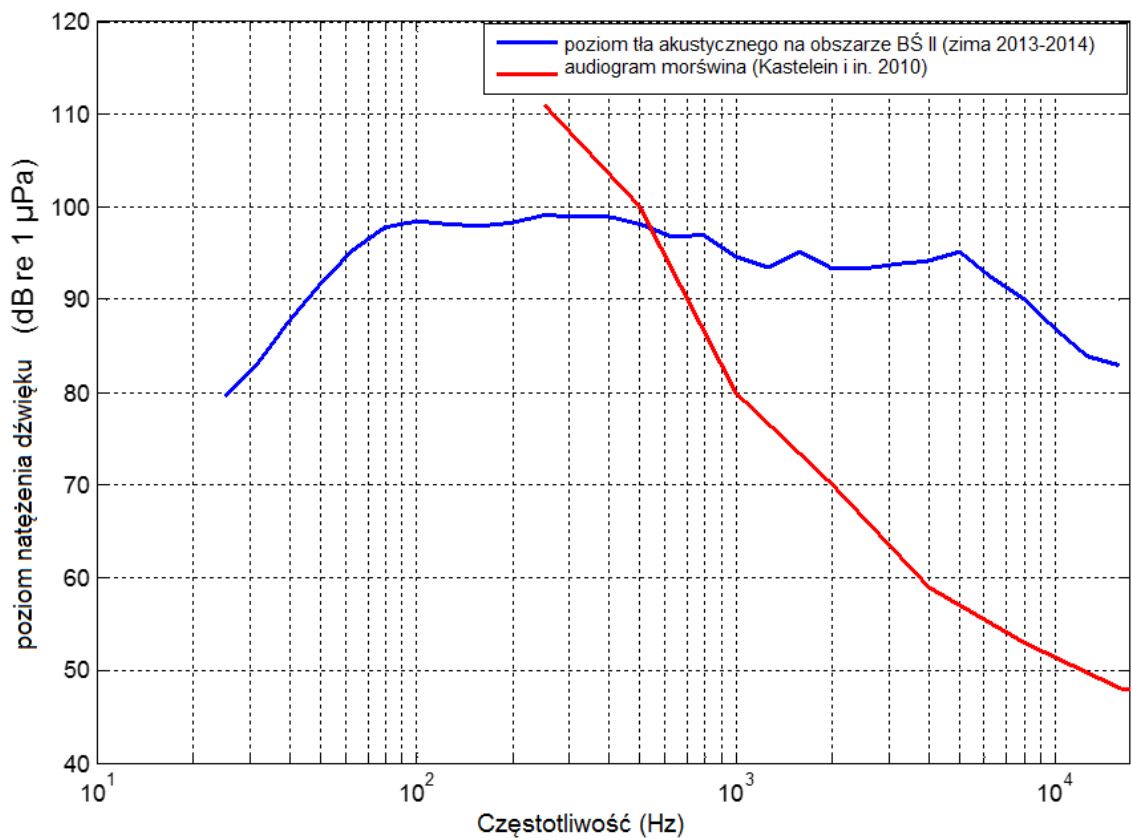
Lokalizacja	Ważne fakty	Sprzęt rejestrujący	Szerokopasmowy poziom natężenia dźwięku (dB re 1 µPa)	Źródło
BŚ II; polski Bałtyk (niniejsze badanie)	Głębokość 30; ok. 30 km od najbliższej trasy żeglugowej	SM2M Wildlife Acoustics (20 Hz - 48 kHz); analiza danych do 10 kHz	102-111	Niniejszy raport
Cieśnina Fehmarnbelt (Bałtyk niemiecki i duński)	Głębokość 30-40 m; różne lokalizacje – od spokojnych rejonów do obszarów w pobliżu często używanych tras żeglugowych	Specjalnie stworzony system pomiarowy (20 Hz - 20 kHz)	104-134	FEMM 2013
Niemiecka część Morza Bałtyckiego	Głębokość 28-40 m; w pobliżu tras żeglugowych	Specjalnie stworzony system pomiarowy (20 Hz - 20 kHz)	107-112	Gerke 2011
Norra Midsjobanken, szwedzka część Morza Bałtyckiego	Głębokość 28-40 m, w pobliżu tras żeglugowych	Hydrofon DSG-Ocean (2 Hz - 20 kHz); analiza pasm 20 Hz - 3500 Hz	115-116	Johansson & Andersson 2012
Morze Północne, Port Rotterdam	Głębokość 20 m; w pobliżu torów wodnych	Specjalnie stworzony system TNO; 16 Hz - 31.5 kHz	63 Hz = 113 125 Hz = 113	Dreschler et al. 2009
Zatoka Moray Firth, szkocka część Morza Północnego	Głębokość 42 m; w pobliżu tras żeglugowych, różne lokalizacje	Hydrofon B&K 10 Hz - 120 kHz; analiza pasm 10 Hz - 96 kHz	104 – 119 (138)	Bailey i in. 2010

6.4 Poziom natężenia tła akustycznego w odniesieniu do słuchu morświnów

Aby lepiej zrozumieć środowisko akustyczne w jakim mogą znaleźć się morświny w rejonie BŚ II, zestawiliśmy dane dotyczące audiogramu tych zwierząt (wg. Kastelein et al., 2002) z odnotowanymi przez nas wartościami poziomu natężenia tła akustycznego na terenie BŚ II w okresie zimowym, ponieważ w tym okresie pomierzone wartości były najwyższe (Tab. 7) (dla pasm 1/3 oktawowych, a więc możliwych do bezpośredniego porównania, **Error! Reference source not found.**).

Zestawienie wykonano dla częstotliwości do 16 kHz, ponieważ w tym zakresie mieści się zdecydowana większość dźwięków podwodnych generowanych przez ruch statków czy inną działalność człowieka w środowisku morskim jak palowanie (100-500 Hz), wiercenie (głównie < 100 Hz), pogłębianie dna (głównie 100-500 Hz), badania sejsmiczne (głównie 10-120 Hz), dźwięki generowane przez sonary niskiej i średniej częstotliwości (głównie 100-8200 Hz) i ruch łodzi (>1000 Hz) (OSPAR 2009).

Należy w tym miejscu zauważyć, że audiogram morświnów swym zakresem obejmuje częstotliwości aż do ultradźwięków (powyżej 20 kHz), a największą wrażliwość słuchu tych zwierząt notuje się dla częstotliwości w okolicach 100 kHz. Możliwe jest zatem, że dźwięki o wyższej częstotliwości (np. echosondy) również mają wpływ na morświny.

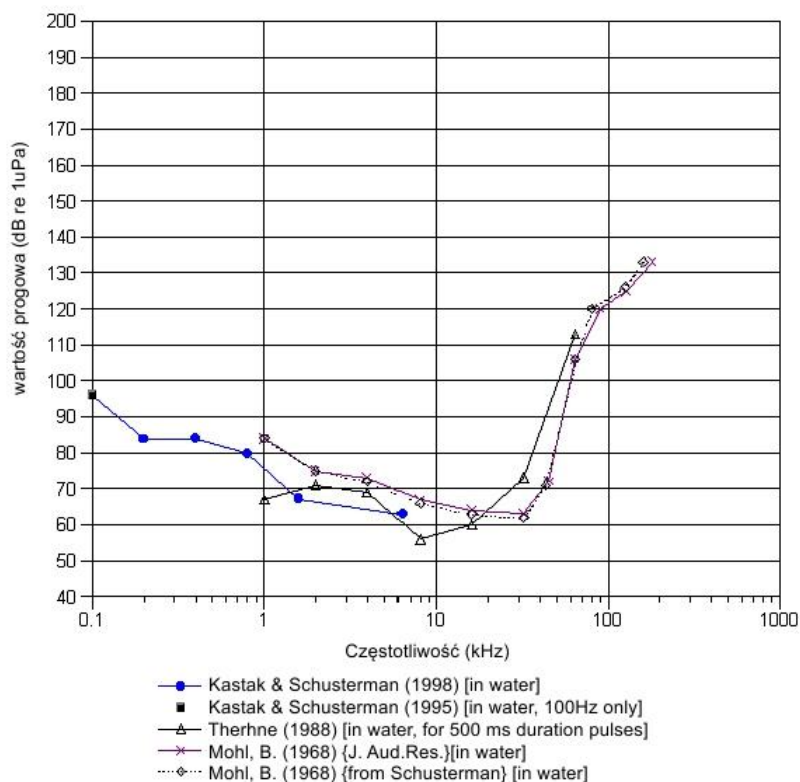


Rys. 24 Poziom tła akustycznego na obszarze BŚ II zimą 2013/ 2014 r. (najwyższe nagrane wartości) w zestawieniu z audiogramem morświnów (na podstawie Kastelein i in. 2010).

Można zauważyć, że poziom natężenia tła akustycznego dla niskich częstotliwości - poniżej 500 Hz znajduje się poniżej progu słuchu morświnów. Przy częstotliwościach > 500 Hz, poziom natężenia tła akustycznego spada nieznacznie, a wrażliwość słuchu morświnów staje się lepsza. Dla częstotliwości ok. 5 kHz poziom natężenia tła akustycznego jest o ok. 40 dB wyższy niż wartość określona na audiogramie jako próg słuchu morświna dla tej częstotliwości. Morświny są więc otoczone ciągłym hałasem, który prawdopodobnie ma na nie większy wpływ przy wyższych częstotliwościach.

Porównanie wartości z grafu dot. tła akustycznego (Rys. 24) z dostępnymi audiogramami dla fok umożliwi określenie, czy zarejestrowane na obszarze badawczym poziomy natężenia hałasu są słyszalne dla tych zwierząt.

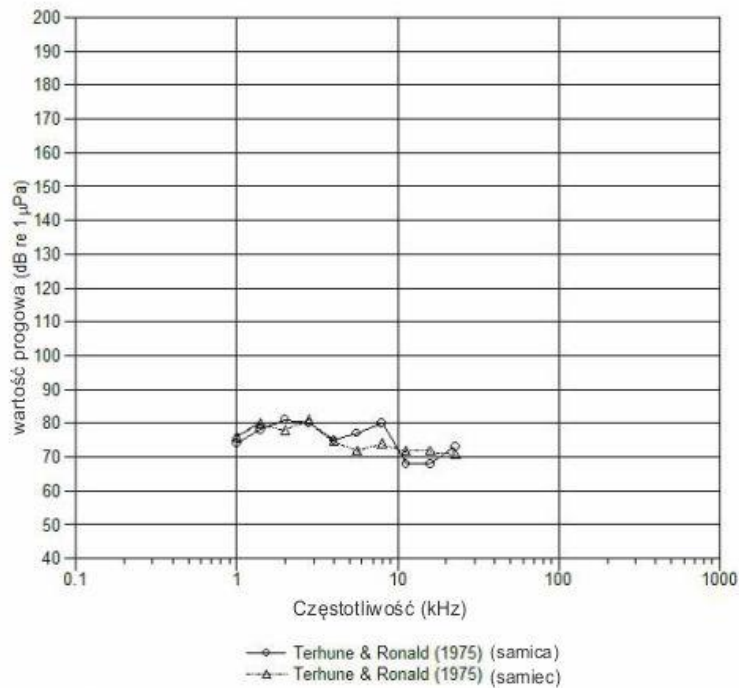
Dostępne dane na temat słuchu foki pospolitej pod wodą przedstawia Rys. 25 (Nedwell i inl, 2004), z którego wynika, iż tło akustyczne zarejestrowane na terenie BŚ II jest dla tego gatunku słyszalne w całym zakresie częstotliwości. Dla częstotliwości ok. 1 kHz poziom natężenia tła akustycznego jest o ok. 20 dB wyższy niż wartości progowe słuchu dla tego gatunku.



[Fig. ref: HarbourSeal_water_01]

Rys. 25 Podsumowanie istniejących informacji nt. wrażliwości słuchu foki pospolitej pod wodą (Nedwell et al, 2004)

Dostępne dane na temat wrażliwości słuchu pod wodą fok obrączkowanych pokazane zostały na Rys. 25 (Nedwell et al, 2004) i sugerują, że tło akustyczne zarejestrowane na terenie BŚ II jest dla tego gatunku słyszalne przy częstotliwościach ≥ 1 kHz. Dla częstotliwości 1 kHz, poziom natężenia tła akustycznego jest o ok. 20 dB wyższy niż wartość progowa słuchu na tej częstotliwości dla tego gatunku. Należy zaznaczyć, iż audiogram przygotowano w oparciu o badanie obejmujące tylko dwa osobniki, w związku z czym wyniki powinny być traktowane z pewną dozą ostrożności.



[Fig. ref. RingedSeal01]

Rys. 26 Podsumowanie istniejących informacji nt. wrażliwości słuchu pod wodą foki obrączkowej (Nedwell i in, 2004)

Biorąc pod uwagę otrzymane wyniki dotyczące poziomu natężenia tła akustycznego na obszarze badawczym można stwierdzić, iż prawdopodobnie nie są one wystarczająco wysokie, aby wywołać negatywny wpływ na słuch morświnów i fok (wartości TTS dla morświna patrz Kastelein i in, 2013; dla fok – Southall, 2007). Możemy zatem wysnuć wniosek, iż tło akustyczne na terenie BŚ II jest słyszalne dla morświnów i fok, lecz nie oddziałuje negatywnie na ich słuch w normalnych warunkach. Zachodzi jednak możliwość maskowania istotnych z biologicznego punktu widzenia dźwięków dla fok, których słuch jest bardziej czuły na niskich częstotliwościach.

7 Wnioski

W ramach prowadzonych badań nagrywano i analizowano tło akustyczne na trzech stacjach pomiarowych w polskim Bałtyku podczas wszystkich pór roku (2013-2014). Wykonane pomiary stanowią drugą próbę kompleksowego opisanie tła akustycznego w polskich wodach. Badania prowadzono zgodnie z międzynarodowymi standardami, m.in. niemieckimi standardami dla badań dla celów OOS MFW. Monitoring przeprowadzono z sukcesem, zebrano dane obejmujące 100% okresu badawczego. Obszar badań można określić jako charakteryzujący się średnią presją hałasu podwodnego na środowisko morskie, z wartościami dla szerokopasmowego poziomu natężenia dźwięku pomiędzy 102 a 111 dB re 1 μ Pa. Analiza danych wykazała różnice poziomów natężenia tła akustycznego pomiędzy różnymi porami roku. Najwyższe wartości odnotowano zimą 2013/2014 i wiosną 2014. Można to wyjaśnić lepszym rozchodzeniem się dźwięku w Bałtyku przy niskich temperaturach. Zgodnie z przewidywaniami, poziom natężenia tła akustycznego przy stanie morza 1-3 w skali Beauforta był niższy niż przy stanie 4-6 (różnica: 5 dB), ponieważ wraz ze wzrostem prędkości wiatru generowany jest dźwięk nie tylko na powierzchni ale i w kolumnie wody. W porównaniu z innymi obszarami Morza Bałtyckiego i Morza Północnego tło akustyczne na obszarze BŚ II dla częstotliwości poniżej 10 kHz wpływa jedynie w stopniu umiarkowanym na przebywające w tym rejonie morświny i foki. Stwierdzone poziomy natężenia tła akustycznego nie wpłyną w niekorzystny sposób na wykorzystanie obszaru przez morświny.

8 Bibliografia

Andrew RK, Howe BM, Mercer JA, Long-time trends in low-frequency ambient noise for four sites off the north american west coast. *Journal of the Acoustical Society of America* 129:642-651, 2011

Bailey H, Senior B, Simmons D, Rusin J, Picken GB, Thompson PM, Assessing underwater noise levels during pile-driving at an offshore windfarm and its potential effects on marine mammals. *Marine Pollution Bulletin* 60:888-897, 2010

BSH, Offshore-windparks messvorschrift für unterwasserschallmessungen aktuelle vorgehensweise mit anmerkungen anwendungshinweise, Bundesamt fuer Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg, 2011

Dekeling RPA, Tasker ML, Ainslie M.A., Anderson M, André Mand others, European marine strategy framework directive working group on good environmental status (wg-ges) - guidance for setting up underwater noise monitoring in european seas - 2nd report of the technical subgroup on underwater noise and other forms of energy (tsg-noise) november 2013 European Commission Brussels, 2013a

Dekeling RPA, Tasker ML, Van der Graaf AJ, Ainslie MA and others, Monitoring guidance for underwater noise in european seas -executive summary. 2nd report of the technical subgroup on underwater noise (tsgn) november 2013, Brussels, 2013b

Dreschler J, Ainslie M.A., Groen WHM, Measurements of underwater background noise maasvlakte 2 -tno-dv 2009 c212, TNO, Delft, 2009

EC, Commission decision of 1 september 2010 on criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters, European Commission Brussels, 2010

FEMM, Fehmarnbelt fixed link eia. Marine mammals - baseline. Report no. E5tr001, 2013

Gerke P., The nord stream monitoring - measurement of the hydro-sound pollution - nord stream report g-pe-lfg-mon-500-unwnoise-a., Institut fur technische und angewandte Physik, Oldenburg, 2011

Johansson AT, Andersson M., Ambient underwater noise levels at norra midsjobanken during construction of the nord stream pipeline, Nord Stream AG and Naturvårverket, Stockholm, 2012

Kastelein RA, Bunskoek P, Hagedoorn M, Au WWL., Audiogram of a harbor porpoise (*phocoena phocoena*) measured with narrow-band frequency modulated signals. *Journal of the Acoustical Society of America* 112:334-344, 2002

Kastelein RA, Gransier R, Hoek L, Rambags M., Hearing frequency thresholds of a harbour porpoise (*phocoena phocoena*) temporarily affected by a continuous 1.5 khz tone. *Journal of the Acoustical Society of America* 134:2286-2292, 2013

Madsen PT, Wahlberg M, Tougaard J, Lucke K, Tyack P., Wind turbine underwater noise and marine mammals: Implications of current knowledge and data needs. *Marine Ecology Progress Series* 309:279-295, 2006

Nedwell J.R., Edwards B., Turnpenny W.H., Gordon J.; Fish and Marine Mammal Audiograms: A summary of available information;2004

OSPAR, Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment, Vol. OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (www.ospar.org), 2009

Richardson WJ, Malme CI, Green Jr CR, Thomson DH, Marine mammals and noise, Vol 1. Academic Press, San Diego, California, USA, 1995

Ross DG, On ocean underwater ambient noise. *Acoustics Bulletin* 18:5-8, 1993

Southall B. et al; Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations; Aquatic Mammals; 33;4;1-521

Tasker ML, Amundin M, Andre M, Hawkins Tand others, Marine strategy framework directive - task group 11 report - underwater noise and other forms of energy, Joint Research Centre and International Council for the Exploration of the Sea, Luxembourg, 2010

Thomsen F, Lüdemann K, Kafemann R, Piper W., Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish, biola, hamburg, germany on behalf of cowrie ltd, Newbury, UK, 2006

Van der Graaf S, Ainslie MA, Andre M, Brensing Kand others, European marine strategy framework directive – good environmental status (msfd ges): Report of the technical subgroup on underwater noise and other forms of energy, Milieu Ltd, Belgium, 2012

WODA, Technical guidance on: Underwater sound in relation to dredging World Organisation of Dredging Associations Delft, 2013

Zar JH (1984) Biostatistical analysis (2nd edn). Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

9 Tabele

Tab. 1	Współrzędne geograficzne punktów granicznych obszaru MFW BŚ II.....	8
Tab. 2	Szczegółowe informacje w zakresie zbierania danych przez rejestrator akustyczny na terenie BŚ II w okresie badawczym	16
Tab. 3	Przegląd działań w zakresie monitorowania tła akustycznego na obszarze BŚ II; przeprowadzone działania i komentarze	19
Tab. 4	Zestawienie danych zebranych podczas monitoringu tła akustycznego na obszarze BŚ II	20
Tab. 5	Przegląd zebranych i przeanalizowanych danych z monitoringu tła akustycznego.	20
Tab. 6	Przegląd danych akustycznych zebranych w czasie monitoringu na obszarze badawczym BŚ II.	23
Tab. 7	Zestawienie wyników monitoringu hałasu otoczenia na obszarze BŚ II.....	37
Tab. 8	Zestawienie wyników badań tła akustycznego i ich porównanie z wynikami dla obszaru BŚ II.....	39

10 Rysunki

Rys. 1	Poziom natężenia tła akustycznego w paśmie 100-200 Hz, pomierzony w Kalifornii, w latach 50-tych (Ross, 1993) oraz poziomy pomierzony przez APL/UW (Laboratorium Fizyki Stosowanej, Uniwersytet w Waszyngtonie) w latach 90-tych w tym samym rejonie (Andrew et al., 2011), pokazujący spodziewane i rzeczywiste wzrosty tego parametru jako efekt zwiększonej aktywności dużych łodzi na tym obszarze.....	3
Rys. 2	Teoretyczne strefy wpływu hałasu podwodnego na organizmy morskie (Richardson et al. 1995; OSPAR 2009).....	4
Rys. 3	Położenie MFW BŚ II	7
Rys. 4	Granice obszaru MFW BŚ II wraz ze strefą buforową (Polenergia Bałtyk II Sp. z o.o.)	8
Rys. 5	Rejestrator akustyczny firmy Wildlife Acoustics	11
Rys. 6	Schemat zastosowanego na obszarze badawczym systemu kotwiczenia z zastosowaniem zwalników akustycznych	12
Rys. 7	Schemat zastosowanego na obszarze badawczym systemu kotwiczenia po wymianie zwalników akustycznych na boje i liny o dodatniej pływalności	12
Rys. 8	Mapa obszaru badawczego BŚ II z zaznaczonymi na czerwono lokalizacjami rejestratora akustycznego oraz ich współrzędnymi geograficznymi. Rejestrator wykrywa dźwięki o niskiej częstotliwości na całym obszarze przedstawionym na mapie.....	13
Rys. 9	Urządzenie akustyczne gotowe do umieszczenia w wodzie	14
Rys. 10	Zanurzanie systemu kotwiczącego.....	15
Rys. 11	Ustawianie parametrów rejestrowania danych akustycznych przez urządzenie SM2M przed jego umieszczeniem w wodzie	17
Rys. 12	Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu wiosny (26 kwiecień – 31 maj 2013 (liczba próbek = 308). Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy pojedynczych próbek. Zielona linia – średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe od średniej. Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu wiosennego 2013.). Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy pojedynczych próbek, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy.....	24
Rys. 13	Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu wiosennego 26 kwietnia – 31 maja 2013r. (liczba próbek = 308). Czerwona linia - mediana, poziome granice niebieskich kwadratów - pierwszy i trzeci kwantyl, czarne znaczniki - wartości maksymalne i minimalne w podpróbie, czerwone krzyżyki - wyniki odstające od grupy	25
Rys. 14	Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu wiosennego 1 marca – 8 maja 2014 r. (liczba próbek = 433). Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy dla poszczególnych próbek, zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy. Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu wiosennego 2014. Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy dla poszczególnych próbek , niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy.	26
Rys. 15	Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu jesienno 1 marca – 8 maja 2014 r. (liczba próbek = 433). Czerwona linia - mediana, poziome granice niebieskich kwadratów - pierwszy i trzeci kwantyl, czarne znaczniki - wartości maksymalne i minimalne w podpróbie, czerwone krzyżyki - wyniki odstające od grupy	27
Rys. 16	Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu letniego 1 czerwca – 31 sierpnia 2013. (liczba próbek = 536). Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy dla poszczególnych próbek, Zielona linia - widmowa gęstość mocy	

	poszczególnych nagrań, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy. Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu letniego 2013. Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy dla poszczególnych próbek. Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy.....	28
Rys. 17	Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu letniego 1 czerwca – 31 sierpnia 2013 (liczba próbek = 536). Czerwona linia - mediana, poziome granice niebieskich kwadratów - pierwszy i trzeci kwantyl, czarne znaczniki - wartości maksymalne i minimalne w podpróbie, czerwone krzyżyki - wyniki odstające od grupy.	29
Rys. 18	Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu jesiennego 1 września – 30 listopada 2013 (liczba próbek = 595). Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy dla poszczególnych próbek, Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy. Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu jesiennego 2013. Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy dla poszczególnych próbek, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy.....	30
Rys. 19	Wykres pudełkowy pasm 1/3 oktawowych – 63 i 125 Hz; próbki z okresu 1 września – 30 listopada 2013 r. (n = 595). Czerwona linia - mediana, poziome granice niebieskich kwadratów - pierwszy i trzeci kwantyl, czarne znaczniki - wartości maksymalne i minimalne w podpróbie, czerwone krzyżyki - wyniki odstające od grupy. Dla próbek z sezonu wiosennego Rys.17 pokazuje rozdział energii zbliżony do zaobserwowanego w okresie jesiennym i zimowym.	31
Rys. 20	Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu zimowego 1 grudnia 2013 – 28 luty 2014 r. (liczba próbek = 582). Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy dla poszczególnych próbek, Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy. Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu zimowego 2013/14. Szare linie – wartość widmowej gęstości mocy dla poszczególnych próbek, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy.....	32
Rys. 21	Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu zimowego 1 grudnia 2013 – 28 luty 2014 (liczba próbek = 582). Czerwona linia - mediana, poziome granice niebieskich kwadratów - pierwszy i trzeci kwantyl, czarne znaczniki - wartości maksymalne i minimalne w podpróbie, czerwone krzyżyki - wyniki odstające od grupy	33
Rys. 22	Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla stopni 1-3 w skali Beauforta (liczba próbek = 100). Czerwona linia - mediana, poziome granice niebieskich kwadratów - pierwszy i trzeci kwantyl, czarne znaczniki - wartości maksymalne i minimalne w podpróbie, czerwone krzyżyki - wyniki odstające od grupy	34
Rys. 23	Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla stopni 4-6 w skali Beauforta (liczba próbek = 100). Czerwona linia - mediana, poziome granice niebieskich kwadratów - pierwszy i trzeci kwantyl, czarne znaczniki - wartości maksymalne i minimalne w podpróbie, czerwone krzyżyki - wyniki odstające od grupy	35
Rys. 24	Poziom tła akustycznego na obszarze BŚ II zimą 2013/ 2014 r. (najwyższe nagrane wartości) w zestawieniu z audiogramem morświnów (na podstawie Kastelein i in. 2010).	40
Rys. 25	Podsumowanie istniejących informacji nt. wrażliwości słuchu foki pospolitej pod wodą (Nedwell et al, 2004).....	41
Rys. 26	Podsumowanie istniejących informacji nt. wrażliwości słuchu pod wodą foki obrączkowanej (Nedwell i in, 2004)	42