

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

Raport końcowy z wynikami badań



Bałtyk Środkowy III Sp. z o.o.

Raport końcowy

Sierpień 2014

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 III”

Raport końcowy z wynikami badań

Przygotowany przez

Bałtyk Środkowy III Sp. z o.o.

Spółka reprezentowana przez

Aleksandra Sowała



Kierownik projektu	Frank Thomsen
Autorzy	Irmína Plichta, Henriette Schack, Monika Kosecka, Frank Thomsen
Kontroler jakości	Andreas Brogaard Buhl

Nr projektu	30800051-4
Data zatwierdzenia	1 sierpień 2014 r.
Wersja/korekta	Końcowa 3.0
Klasyfikacja	Poufne

SPIS TREŚCI

SŁOWNIK	i
SKRÓTY	ii
1	Streszczenie1
2	Wprowadzenie.....4
2.1	Cel badań6
3	Opis obszaru projektu7
4	Metodyka i działania podjęte w okresie badań9
	Zbieranie danych.....9
4.1.1	Przegląd przeprowadzonych działań i uzyskanych wyników 17
4.2	Metodyka analizy danych..... 19
4.2.1	Analiza nagrań tła akustycznego..... 19
4.2.2	Analiza statystyczna 20
5	Wyniki.....21
5.1	Tło akustyczne 21
5.1.1	Poziom natężenia dźwięku tła akustycznego 21
5.1.2	Poziom natężenia tła akustycznego przy różnych stanach morza 32
6	Dyskusja34
6.1	Ocena jakości danych i otrzymanych wyników 34
6.2	Tło akustyczne w obszarze MFW BŚ III w zależności od pory roku i prędkości wiatru 34
6.3	Porównanie uzyskanych wyników z innymi obszarami 36
6.4	Poziom natężenia tła akustycznego w obszarze BŚ III w odniesieniu do słuchu mroświnów 37
7	Wnioski.....41
8	Bibliografia43
9	Tabele45
10	Rysunki.....47

SŁOWNIK

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
herc (Hz)	jednostka częstotliwości; 1 Hz = 1 cykl na sekundę. 1 kiloherc (kHz) = 1000 cykli na sekundę
dźwięk impulsywny	krótkotrwałe sygnały emitowane w sekwencjach (pulsach), często o wysokim poziomie ciśnienia akustycznego
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.
Paskal	jednostka ciśnienia, równa jednemu Newtonowi na metr kwadratowy
trwałe przesunięcie progu słuchu	trwałe podwyższenie progu słuchu na danej częstotliwości, spowodowane uszkodzeniem komórek słuchowych
poziom widmowej gęstości mocy	$10 \log_{10}$ kwadratu ciśnienia akustycznego, w pasmach 1 Hz; jednostka = dB re 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$
strata propagacyjna	spadek mocy dźwięku wraz z odległością od źródła dźwięku
poziom źródłowy	ciśnienie akustyczne przy standardowej odległości wynoszącej 1 m; jednostka: dB re 1 μPa przy odległości 1 m (czasem zapisywanej jako @1m)
poziom natężenia dźwięku (SPL)	ciśnienie akustyczne wyrażone w decybelach (dB)
czasowe przesunięcie progu słuchu	tymczasowe podwyższenie progu słuchu na danej częstotliwości, spowodowane urazem 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 III	Morska farma wiatrowa Bałtyk Środkowy III
OOS	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 III 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 III. 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 III, pomiędzy październikiem 2012 r. i listopadem 2013 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. Na początku kampanii pomiarowej urządzenie rejestrowało 15-minutowe nagrania co godzinę. Następnie zmieniono założenia i zaczęto nagrywać 1 minutę co 15 minut. Zmiana ustawień miała na celu zwiększenie efektywności monitoringu poprzez zminimalizowanie ryzyka wyczerpania pamięci urządzenia. Nowe ustawienia były zgodne z międzynarodowymi standardami dla badań tła akustycznego.

Wszystkie zebrane dane akustyczne zostały sprawdzone pod względem jakości przed analizą. Dla celów analizy przygotowano próbki 5-sekundowych nagrań dla 4 pór roku – jesieni (październik-listopad 2012, wrzesień-listopad 2013), zimy (grudzień 2012, styczeń-luty 2013), wiosny (1-13 marzec 2013) i lata (21-31 sierpień 2013). Rozmiar próbki z każdego sezonu wynosił 10% danych zebranych dla danej pory 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 - 5 Hz).

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 III zebrano 16300 nagrań. Dane objęły 235 dni, co stanowi 56% okresu badawczego. Ze względu na niesprzyjające warunki pogodowe oraz problemy ze sprzętem rejestrującym, dane nie objęły całego okresu wiosna/lato, lecz różnice poziomów natężenia tła akustycznego pomiędzy poszczególnymi miesiącami były bardzo małe, a dane akustyczne analizowano w próbkach obejmujących jedynie bardzo niewielką część czasu nagrań. Mimo tego, ilość uzyskanych danych dla każdej pory roku i różnych stanów morza znacznie przekroczyła wymagania dot. OOS stosowane w innych krajach (np. Niemczech). Dlatego należy uznać, że w trakcie badań zebrano 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 11 kHz był względnie równy we wszystkich porach roku.

Stwierdzono statystycznie istotną różnicę w poziomach natężenia tła akustycznego dla poszczególnych pór roku. Najwyższe wartości odnotowano zimą 2012/2013 i wiosną 2013 (114 dB re 1 μ Pa).

Najwyższe wartości poziomu natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 Hz otrzymano jesienią 2012, dla częstotliwości 125 Hz – zimą 2012/2013 i wiosną 2013. 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. Porównując poziomy tła akustycznego z obszaru badawczego z wynikami uzyskanymi w innych częściach Morza Bałtyckiego i Morza Północnego można stwierdzić, iż obszar BŚ III charakteryzuje się średnim poziomem natężenia tła akustycznego.

4 Wyniki badania pokazują, że poziomy natężenia tła akustycznego na obszarze BŚ III 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 wiosennym 2013, 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 400 Hz tła akustyczne na obszarze BŚ III 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

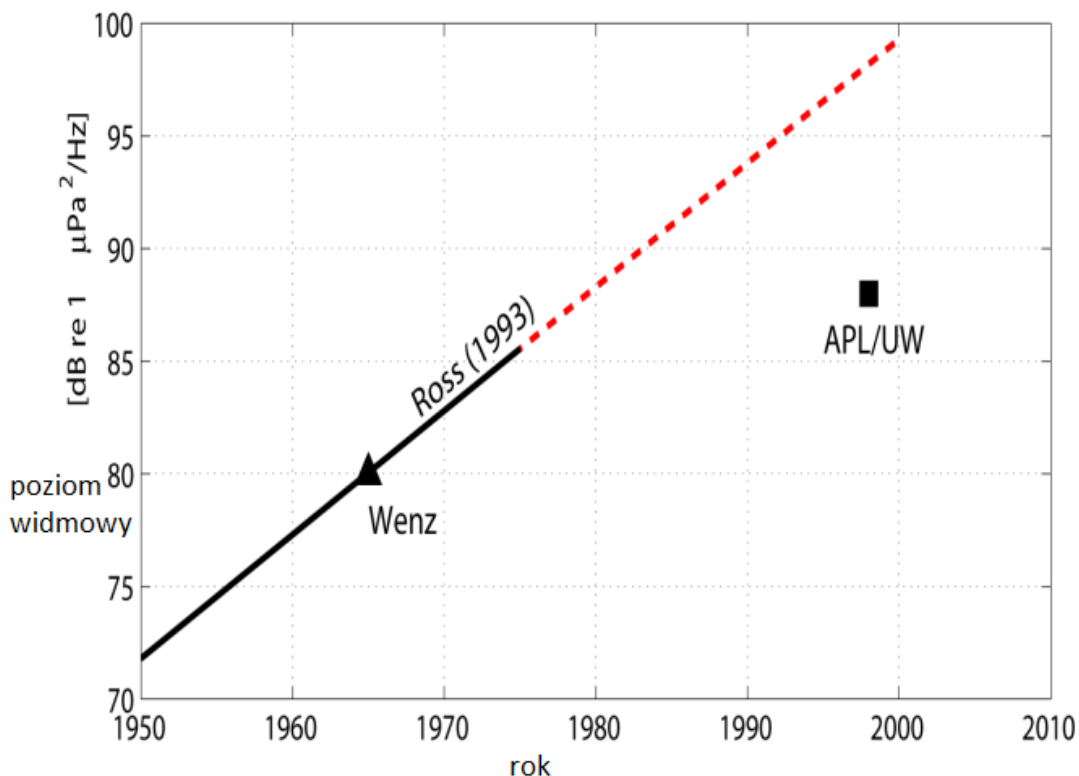
zjawisko maskowania dźwięków wydawanych przede wszystkim przez fok. Podsumowując, tło akustyczne odnotowane na obszarze badawczym ma potencjalnie niewielki wpływ na fok i morświny.

2 Wprowadzenie

Niniejszy raport dotyczy badania środowiska akustycznego na obszarze MFW BŚ III, w pobliżu Ławicy Słupskiej na zlecenie Bałtyk Środkowy III 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; **Error! Reference source not found.**).



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; **Error! Reference source not found.**). Zakres, w którym dźwięki generowane na skutek konstrukcji i eksploatacji MFW są wykrywalne przez ssaki morskie, zależy 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

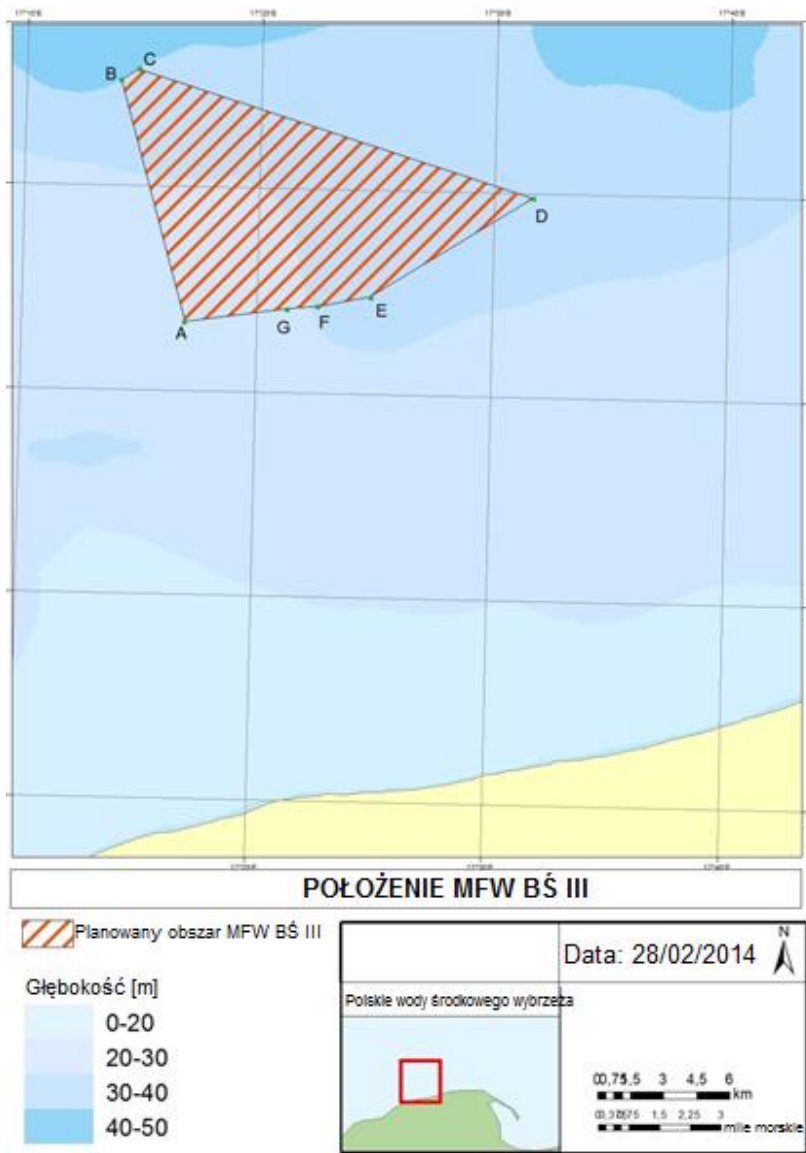
statków (Tasker et al. 2010, van der Graaf et al. 2012). Szczegółowe wymagania w zakresie takiego monitoringu zostały niedawno zaktualizowane (Dekeling et al., 2013a).

2.1 Cel badań

Celem badań było opisanie sytuacji bazowej (punktu zero) w zakresie tła akustycznego dla obszaru BŚ III. 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

Projekt „Bałtyk Środkowy III” ma znajdować się poza granicami polskich wód terytorialnych, ok. 23 km od brzegu (Rys. 3, Tab. 1).



Rys. 3 Położenie MFW BŚ III

Tab. 1 Współrzędne geograficzne punktów granicznych obszaru MFW BŚ III

Położenie MFW BŚ III (WGS 84)		
Punkt	Szerokość	Długość
A	54° 56' 42,424"N	17° 16' 57,430"E
B	55° 02' 35,801"N	17° 14' 00,653"E
C	55° 02' 52,125"N	17° 14' 45,028"E
D	54° 59' 55,268"N	17° 31' 37,853"E
E	54° 57' 24,641"N	17° 24' 47,597"E
F	54° 57' 09,443"N	17° 22' 42,654"E
G	54° 57' 05,517"N	17° 21' 25,617"E

Według PSZW, otrzymanego 30 marca 2012 r., całkowita powierzchnia MFW wynosi ok. 117 km².

Obszar ten, zgodnie z PSZW, pomniejszony jest o 500-metrową strefę buforową, uniemożliwiającą umieszczanie jakichkolwiek elementów konstrukcyjnych MFW. Zatem obszar morski przeznaczony na wdrożenie projektu, zgodnie z PSZW, po pomniejszeniu o strefę buforową, wynosi ok. 89 km².

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

4 Metodyka i działania podjęte w okresie badań

Zbieranie danych

Tło akustyczne mierzono za pomocą rejestratora akustycznego SM2M firmy Wildlife Acoustics (Rys. 4). Urządzenie nagrywa wszystkie podwodne dźwięki o częstotliwości od 2 Hz do 40 kHz. Ma 80 cm długości, 17 cm średnicy i waży 10 kg. 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.

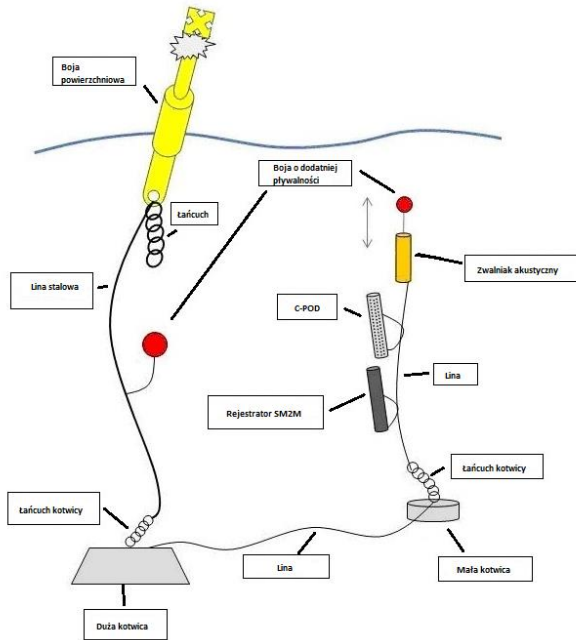
Rejestrator wykrywa dźwięki z pobliskich źródeł (np. przepływające łodzie) oraz pochodzące z dalekich źródeł dźwięki o niskiej częstotliwości – gdyż jak wiadomo tego typu dźwięki mogą być słyszalne na duże odległości pod wodą. Dlatego zarejestrowane dane dot. hałasu podwodnego zawierają informacje na 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.



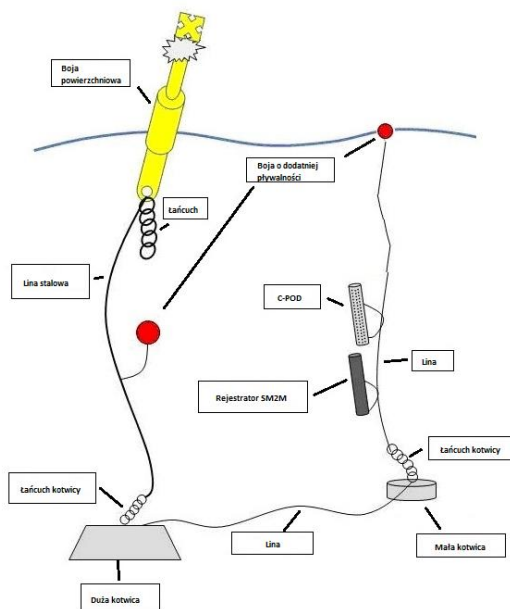
Rys. 4 Rejestrator akustyczny firmy Wildlife Acoustics

Do umieszczenia urządzenia akustycznego w wodzie wykorzystano system bezpiecznego kotwiczenia (Rys. 5). 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 morświnów) 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 zwalniające (Rys. 5). Po uruchomieniu systemu zwalnającego 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. 6).



Rys. 5 Schemat zastosowanego na obszarze badawczym systemu kotwiczania z zastosowaniem zwalników akustycznych



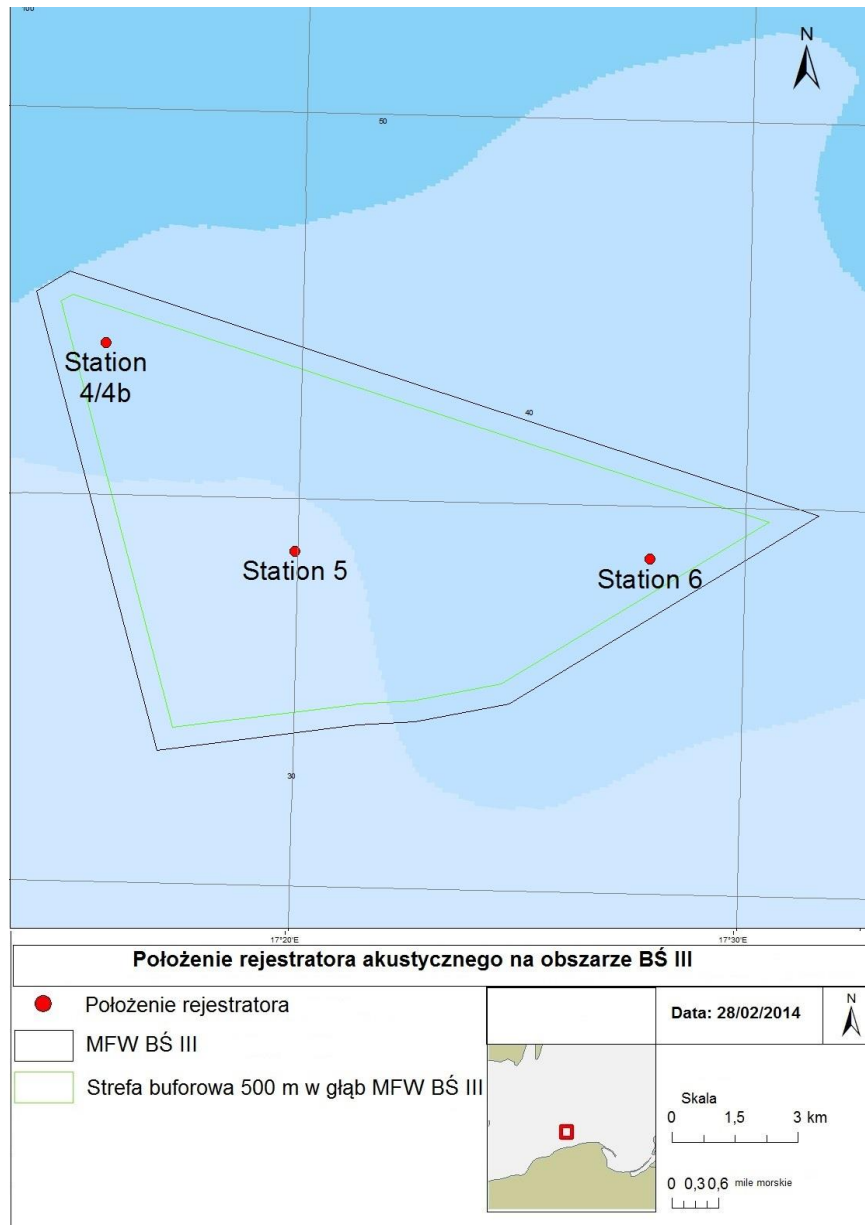
Rys. 6 Schemat zastosowanego na obszarze badawczym systemu kotwiczania po wymianie zwalników akustycznych na boje i liny o dodatniej pływalności

Monitoring akustyczny rozpoczęto 14 października 2012 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 4, 5 i 6, celem takiego monitoringu było sprawdzenie poziomu natężenia hałasu podwodnego w różnych częściach obszaru badawczego. Odległości pomiędzy stacjami wyniosły około 7 i 14 km. Urządzenie znajdowało się na głębokości ok. 30 m. Lokalizacje stacji pomiarowych wyznaczono tak, aby jak najdokładniej pokryć powierzchnię terenu BŚ III. Rys. 7 przedstawia położenie stacji oraz ich współrzędne geograficzne.

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 2.

Monitorowanie hałasu podwodnego zakończono 30 listopada 2013 r., kiedy zebrano ostatni zestaw danych (Tabela 2). Okres zbierania danych był zgodny z uprzednio ustalonym czasem trwania kampanii pomiarowej.

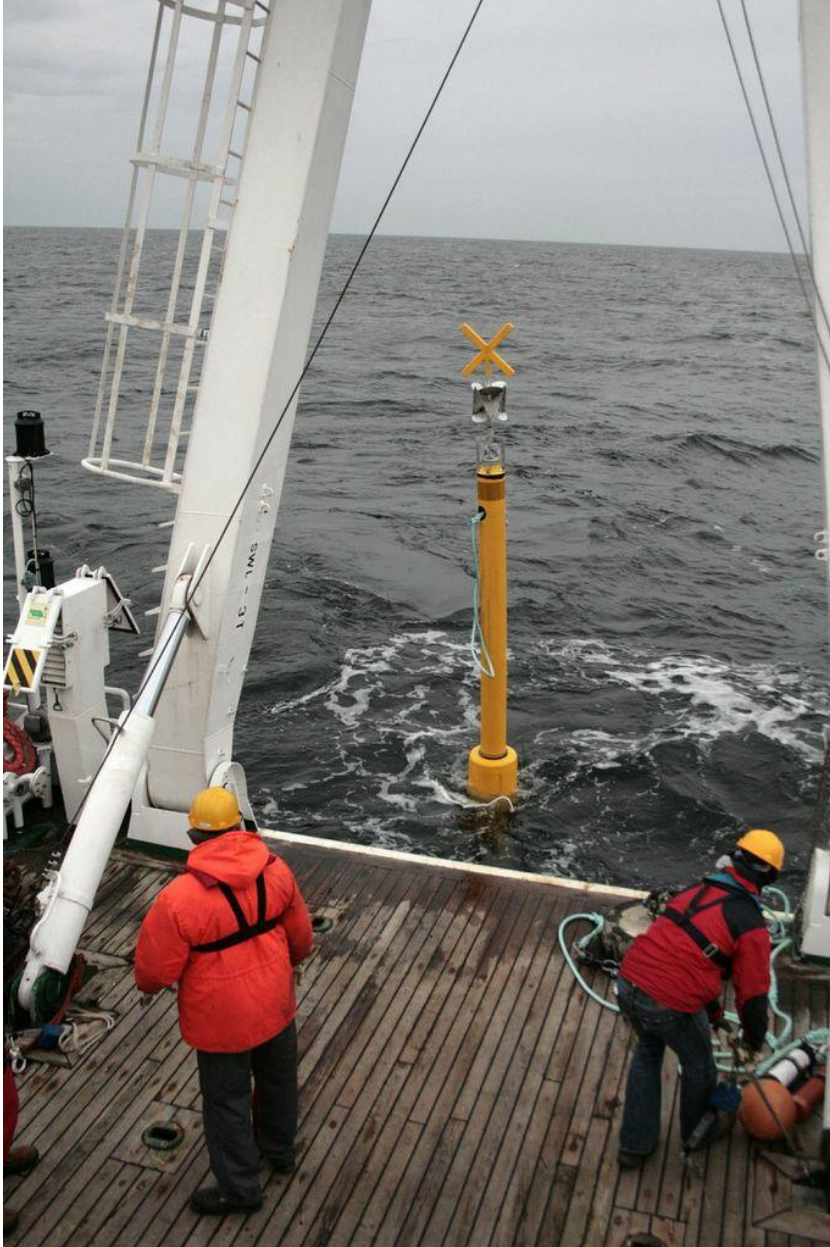


Stacja	Współrzędne geograficzne	
	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna
4	55°01'56,800" N	17°15'36,100" E
5	54°59'18,948" N	17°19'56,835" E
6	54°59'18,909" N	17°27'52,932" E

Rys. 7 Mapa obszaru badawczego BŚ III z zaznaczonymi na czerwono lokalizacjami rejestratora akustycznego oraz ich współrzędnymi geograficznymi. Rejestrator wykrywa dźwięki o niskiej częstotliwości na całym obszarze przedstawionym na mapie



Rys. 8 Urządzenie akustyczne gotowe do umieszczenia w wodzie



Rys. 9 Zanurzenie systemu kotwiczącego

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

rok	miesiąc	data rejsu	nr stacji	nr SM2M	wydobycie	umieszczenie	uwagi
2012	październik	14.10.2012	6	681168		+	pierwsze umieszczenie sprzętu
	listopad	28.11.2012	6	681168	+		prace konserwacyjne wykonano; dane zebrano; zmiana położenia rejestratora
			5	681165		+	
	grudzień	brak rejsu					
2013	styczeń	8.01.2013	5	681165	+		dane zebrano; umiejscowienie niemożliwe ze względu na pogarszające się warunki atmosferyczne
		25.01.2013	4	681165		+	udane umieszczenie sprzętu
	luty						
	marzec	13.03.2013	4	681165	+		prace konserwacyjne wykonano; dane zebrano
			6	681165		+	
	kwiecień	16.04.2013	6	681165	+		prace konserwacyjne wykonano; zebrane dane okazały się nieprzydatne - awaria sprzętu; zmiana lokalizacji rejestratora
			5	681165		+	
	maj	brak rejsu					
	czerwiec	12.06.2013	5	681165	+		prace konserwacyjne wykonano; zebrane dane okazały się nieprzydatne - awaria sprzętu; zmiana lokalizacji rejestratora
			4	681165		+	
	lipiec	10.07.2013	4	681165			nie znaleziono
	sierpień	21.08.2013	4	681165			wydobycie niemożliwe
			5	681168		+	
	wrzesień	brak rejsu					
	październik	3.10.2013	4	681165			wydobycie niemożliwe
5			681168	+		prace konserwacyjne wykonano; dane zebrano	
4b			681168		+	umieszczenie nowego zestawu urządzeń	
listopad	30.11.2013	4b	681168	+		udane wydobycie sprzętu; zebranie danych	

Urządzenie SM2M nagrywa dźwięki w ustalonym uprzednio zakresie częstotliwości i w określonych odstępach czasu (Rys. 10). Od 14 października 2012 r. do 8 stycznia 2013 r., rejestrator nagrywał dźwięki podwodne przez pierwsze 15 minut każdej godziny, a od 25 stycznia 2013 r. do końca okresu monitoringu (30 listopad 2013 r.) – przez 1 minutę co 15 minut. Zmianę ustawień wprowadzono w celu zwiększenia efektywności zbierania danych i zminimalizowania ryzyka wyczerpania pamięci urządzenia podczas zbierania danych. Było to zgodne z zalecanymi praktykami dla pomiarów tła akustycznego (BSH, 2011; Johansson & Andersson, 2012). Zakres częstotliwości był taki sam przez cały okres trwania monitoringu – od 2 Hz do 22 kHz. Był on wystarczający do rejestracji większości dźwięków pochodzenia antropogenicznego o niskiej i średniej częstotliwości, takich jak palowanie (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. 10 Ustawianie parametrów rejestrowania danych akustycznych przez urządzenie SM2M przed jego umieszczeniem w wodzie

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

18 i 19 października 2012 r. w Instytucie Morskim w Gdańsku odbyło się spotkanie, którego głównym celem było omówienie metodyki prowadzenia badań i przygotowania raportu OOŚ dla projektu BŚ III. Spotkanie poświęcono również wymianie informacji dotyczących obowiązków poszczególnych stron oraz harmonogramowi projektu, aby zapewnić wzajemne zrozumienie, zwiększyć efektywność i zagwarantować bezpieczeństwo działań prowadzonych na morzu.

Wśród najczęściej poruszanych kwestii znalazło się usprawnienie systemu kotwiczącego, w celu zwiększenia jego efektywności. Zmiany względem pierwotnie przyjętej metodyki objęły m.in. nowy sposób instalacji zwalników akustycznych w systemie kotwiczącym (obrócenie góra-dół w stosunku do wcześniejszej pozycji), co zostało zaakceptowane przez Palle Østlund Brogaard (Starszy geodeta DHI; Koordynator badań). Zmieniono również sposób zbierania danych – 1 minuta nagrywania co 15 minut zamiast 15 minut co godzinę. Kolejnym 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 poprawa jakości łodzi „Doktor Lubecki”. Jedną z sugestii właściciela było zainstalowanie nowego dźwigu.

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.

4.1.1 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. Tab. 3 stanowi podsumowanie przeprowadzonych działań i zebranych danych, a także wyjaśnia przyczyny zmiany oryginalnych planów. Tab. 4 zawiera informacje dotyczące kompletności i jakości zebranych danych. Warto zaznaczyć, iż ewentualne problemy ze sprzętem zostały przewidziane i uwzględnione przy planowaniu działań. Zgodnie z wytycznymi BSH (BSH 2007, 2011), pomiary tła akustycznego powinny obejmować trzy godziny nagrań dla różnych prędkości wiatru (odpowiadających stanowi morza 1 i dwóch wyższych). Wytyczne BSH 2007 wskazują przeprowadzenie tylko jednej kampanii pomiarowej przed rozpoczęciem prac konstrukcyjnych, ale zaktualizowane i bardziej szczegółowe wytyczne BSH 2011 wskazują na konieczność zbadania różnic sezonowych w poziomie natężenia tła akustycznego. Z tego powodu badania prowadzono przez cały rok. Należy jednak wspomnieć, iż nie oznacza to ciągłego monitoringu tła akustycznego – celem jest uzyskanie danych z różnych pór roku - 3 godzin nagrań dla każdej, przy różnych prędkościach wiatru (stan morza). Zebrane przez nas dane obejmują wszystkie pory roku i są wystarczające do kompleksowego opisu występujących na obszarze badawczym poziomów natężenia tła akustycznego.

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

Zaplanowane działania w zakresie monitoringu tła akustycznego dla celów OOŚ na obszarze BŚ III	Przeprowadzone działania monitoringu tła akustycznego dla celów OOŚ na obszarze BŚ III	Komentarze
<p>Pomiary tła akustycznego od października 2012 r. do końca października 2013 r. przy zastosowaniu rejestratora SM2M (Wildlife Acoustics), ze zmianą lokalizacji co 6 tygodni, podczas rejsów serwisowych.</p>	<p>Pomiary tła akustycznego prowadzono od 14 października 2012 r. do 30 listopada 2013 r. przy zastosowaniu rejestratora SM2M (Wildlife Acoustics), którego położenie było zmieniane pomiędzy trzema punktami – stacjami nr 4, 5 i 6.</p> <p>Jedenaście rejsów serwisowych – 14 października 2012 r., 28 listopada 2012 r., 8 i 25 stycznia 2013 r., 13 marca 2013 r., 16 kwietnia 2013 r., 12 czerwca 2013 r., 10 lipca 2013 r., 21 sierpnia 2013 r., 3 października i 30 listopada 2013.</p> <p>W trakcie rejsu odbytego 8 stycznia 2013 r., pogorszenie pogody uniemożliwiło umieszczenie urządzenia w toni wodnej. Czynność tę przełożono i wykonano 25 stycznia 2013 r. Stąd wynika przerwa w danych za styczeń 2013.</p> <p>Wiosną 2013, awaria urządzenia spowodowała brak wiarygodnych danych w okresie od 13 marca do 11 czerwca 2013 r. Latem 2013 utrata rejestratora skutkowałą brakiem danych w okresie od 12 czerwca do 20 sierpnia 2013 r.</p>	<p>Monitoring trwał o miesiąc dłużej niż wstępnie planowano.</p> <p>Rejsy serwisowe odbywały się w zmiennych odstępach czasowych ze względu na niekorzystne warunki atmosferyczne, niezbędną była zmiana harmonogramu rejsów</p> <p>Brak danych w okresie 9-24 stycznia 2013 r. i 13 marca - 20 sierpnia 2013 r. ze względu na złe warunki atmosferyczne, awarię rejestratora oraz brak możliwości podjęcia sprzętu z wody ze względu na zaplątanie się sprzętu.</p>

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

Monitoring tła akustycznego na obszarze BŚ III			
Przydatne dane	Jakość przydatnych danych	Nieprzydatne dane	Utracone dane
56%	Dobra	22%	22%

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. Sprawdzone też ewentualną obecność niestandardowych dźwięków w nagraniach.

Aby określić zmiany sezonowe poziomów natężenia tła akustycznego do analizy ilościowej wybrano losowo 5-sekundowe próbki nagrań dla 4 pór roku – jesieni (październik-listopad 2012, wrzesień-listopad 2013), zimy (grudzień 2012, styczeń-luty 2013), wiosny (1-13 marzec 2013) i lata (21-31 sierpień 2013). Ilość próbek w zestawie danych stanowiła 10% wszystkich nagrań zebranych w danej porze roku. Czas trwania próbki (5 sekund) 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. Czas trwania próbki jest zgodny z powszechną praktyką opisaną przez grupę ekspertów ds. hałasu podwodnego, działającą w ramach MSFD (Dekeling et al. 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 µPa / 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 oktaawowych. 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 oktaawowym. 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 oktaawowych 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 oktaawowych:

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

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 III zebrano 16300 nagrań (rozmiar całkowity: 223,54 GB). Dane objęły 235 dni, czyli 56% okresu badawczego. Luki w pobieraniu danych w okresie wiosennym i letnim zostały spowodowane awariami sprzętowymi, jego utratą oraz niesprzyjającymi warunkami pogodowymi. Pomimo tych braków, zebrano dane w ilości reprezentatywnej dla każdej pory roku. Przegląd zebranych danych akustycznych przedstawiono w Tab.5.

Tab. 5 Przegląd danych akustycznych zebranych na obszarze badawczym BŚ III

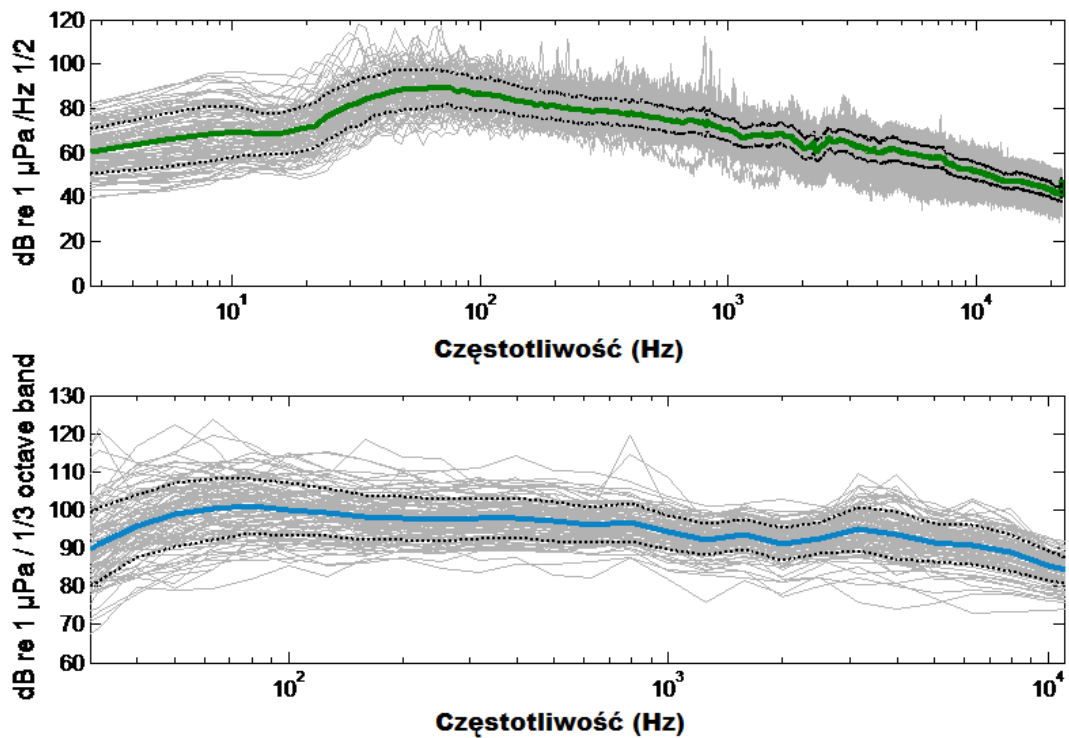
pora roku	liczba nagrań	rozmiar nagrań	okres	długość nagrań
jesień 2012	1153	84,98 GB	14/10/2012 – 30/11/2012	15 min
zima 2012/203	4214	84,5 GB	1/12/2012 – 8/1/2013; 25/1/2013 – 28/2/2013	15 min i 1 min
wiosna 2013	1241	6,15 GB	1-13/3/2013	1 min
lato 2013	1011	5,01 GB	21-31/8/2013	1 min
jesień 2013	8681	42,9 GB	1/9/2013 – 30/11/2013	1 min
Razem	16300	223,54 GB	235 dni zebranych danych(56% okresu badawczego)	

5.1.1 Poziom natężenia dźwięku tła akustycznego

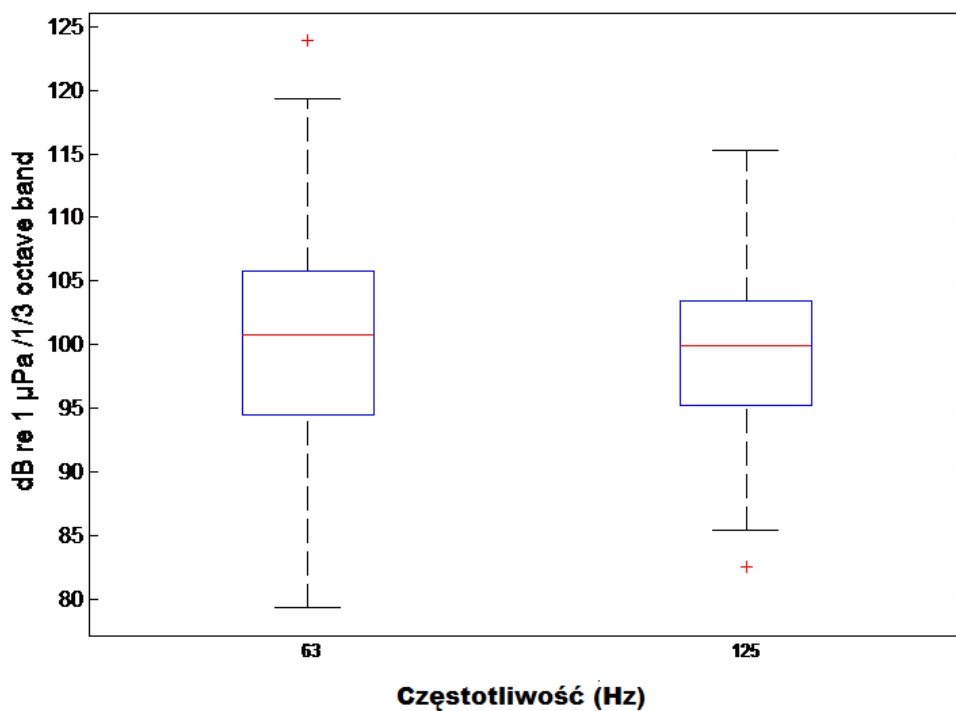
Dla analizy ilościowej danych dla każdej pory roku obliczono widmową gęstość mocy (PSD) na podstawie reprezentatywnego podzbioru próbek (patrz: metodyka), dzięki czemu uzyskano informacje na temat rozdziału energii akustycznej w różnych pasmach częstotliwości. Wartości PSD dla różnych pór roku przedstawione zostały w kolejnych podrozdziałach.

5.1.1.1 Jesień

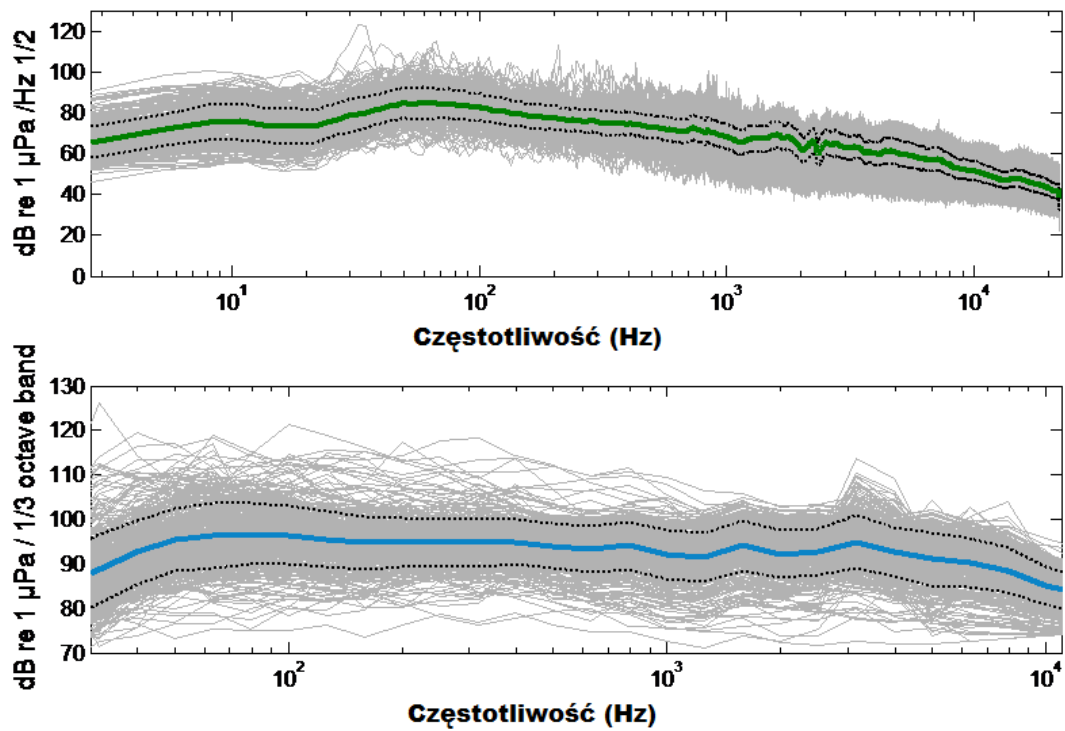
Ponieważ dane dla sezonu jesiennego zebrano dwukrotnie – w roku 2012 i 2013 – obydwa zestawy zostały wykorzystane do analizy oraz porównane. Uzyskane wartości PSD przedstawiono na Rys. 11-14.



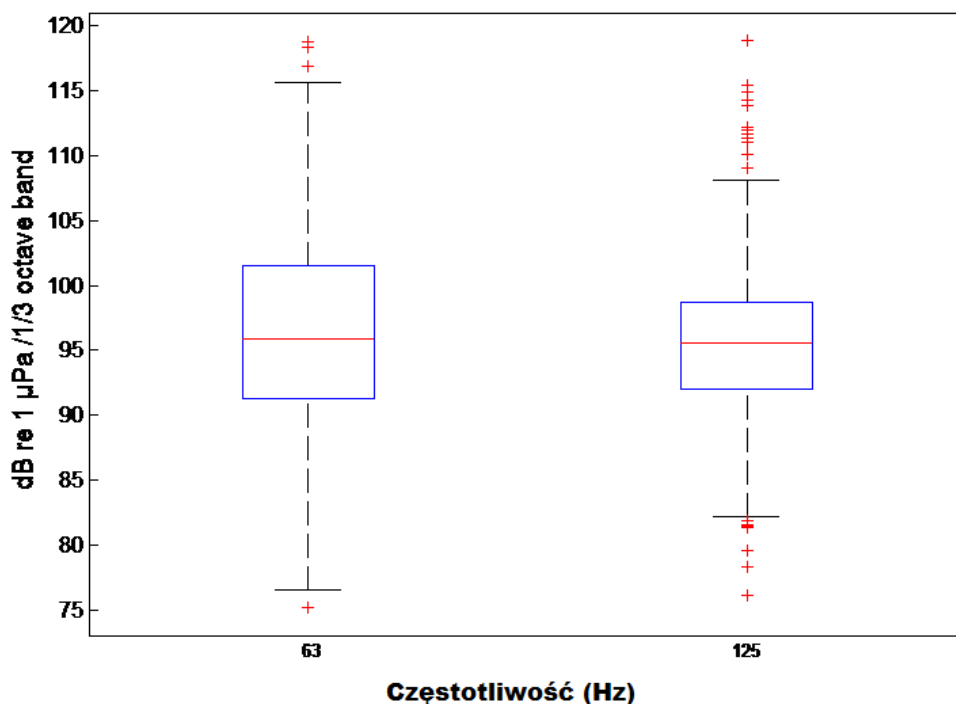
Rys. 11 Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu jesiennego 14 październik – 30 listopad 2012 r. (liczba próbek = 105). Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu jesiennego 2012. Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy



Rys. 12 Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu jesiennego 14 październik – 30 listopad 2012 r. (liczba próbek = 105). 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. 13 Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu jesiennego 1 wrzesień – 30 listopad 2013 r. (liczba próbek = 403). Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu jesiennego 2013. Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy



Rys. 14 Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu jesiennego 01 wrzesień – 30 listopad 2013 r. (liczba próbek = 403). 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

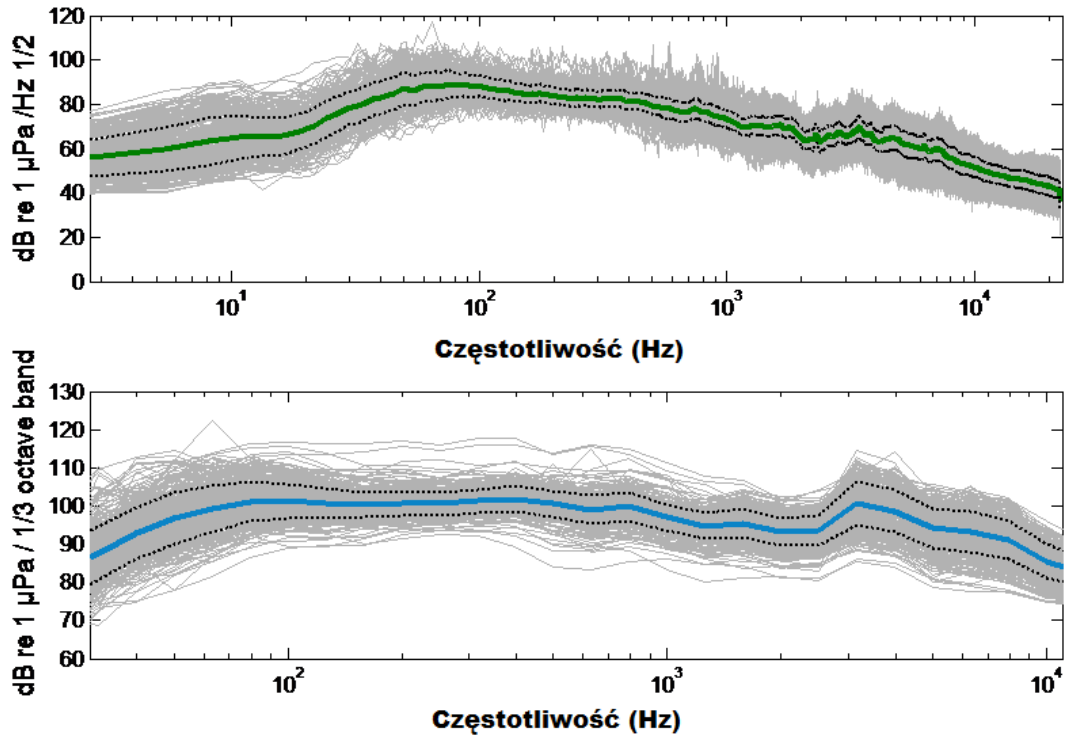
Jak pokazują Rys. 11 i 13, jesienią 2012 oraz 2013 większość energii akustycznej była skoncentrowana w zakresie częstotliwości do 1 kHz (wykresy górne). Wykresy dolne natomiast pokazują rozdział energii w pasmach 1/3 oktawowych do 11 kHz; rozdział ten był względnie równy zgodnie z przewidywaniami, jako że pasma 1/3 oktawowe zwiększają swoją szerokość wraz ze wzrostem częstotliwości (patrz także Madsen et al., 2006 – porównywalne wyniki dla Bałtyku i Morza Północnego).

Na podstawie Rys. 12 można stwierdzić, że dla podzestawu próbek z okresu jesiennego 2012 r., średni poziom szerokopasmowego natężenia dźwięku pasm 1/3 oktawowych (63 Hz – 10 kHz), wyniósł 112 dB re 1 μ Pa (mediana: 111 dB, maks. 125 dB, min. 97 dB re 1 μ Pa), a średni poziom natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 i 125 Hz wyniósł odpowiednio 100 i 99 dB re 1 μ Pa. Rys. 14 pokazuje, iż dla zestawu próbek z jesieni 2013 r. średni poziom szerokopasmowego natężenia dźwięku pasm 1/3 oktawowych (63 Hz – 10 kHz) wyniósł 109 dB re 1 μ Pa (mediana: 109 dB, maks. 126 dB, min. 91 dB re 1 μ Pa), a średni poziom natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 i 125 Hz wyniósł w obydwu przypadkach 96 dB re 1 μ Pa.

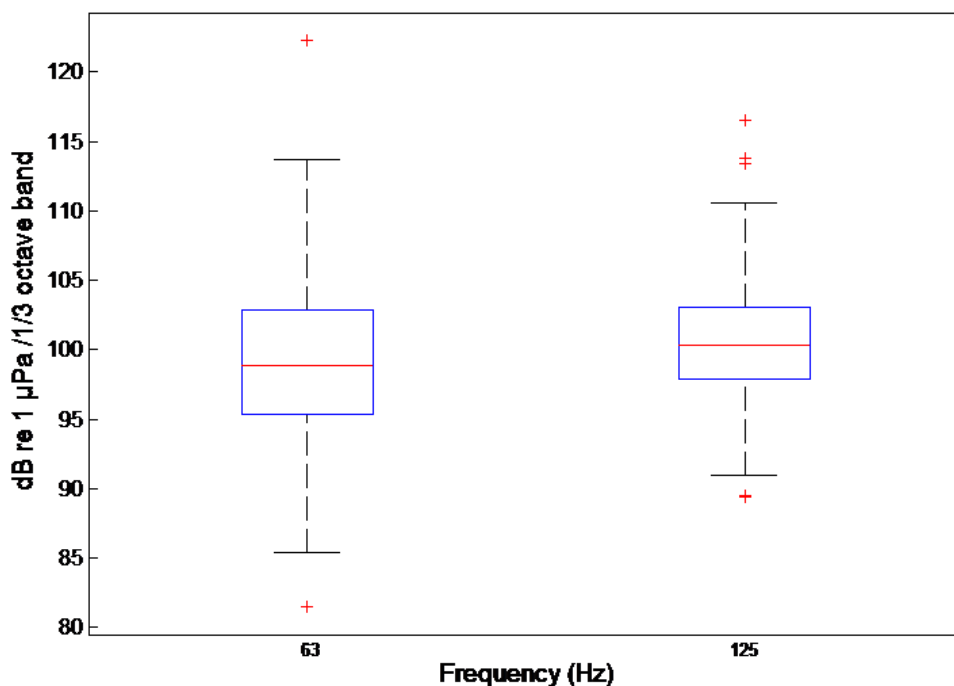
Test U Manna-Whitneya wykazał istotne statystycznie różnice w poziomie natężenia tła akustycznego pomiędzy sezonem jesiennym w roku 2012 a 2013. Dotyczy to zarówno częstotliwości 63 Hz i 125 Hz, jak i średnich szerokopasmowych poziomów hałasu (Mann-Whitney $p < 0.05$).

5.1.1.2 Zima

Wartości PSD, uzyskane dla sezonu zimowego, przedstawiono na Rys. 15 i 16.



Rys. 15 Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu zimowego 1 grudzień 2012 r. – 8 styczeń 2013 r. oraz 25 styczeń – 28 luty 2013r. (liczba próbek = 357). Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu zimowego 2012/2013. Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy



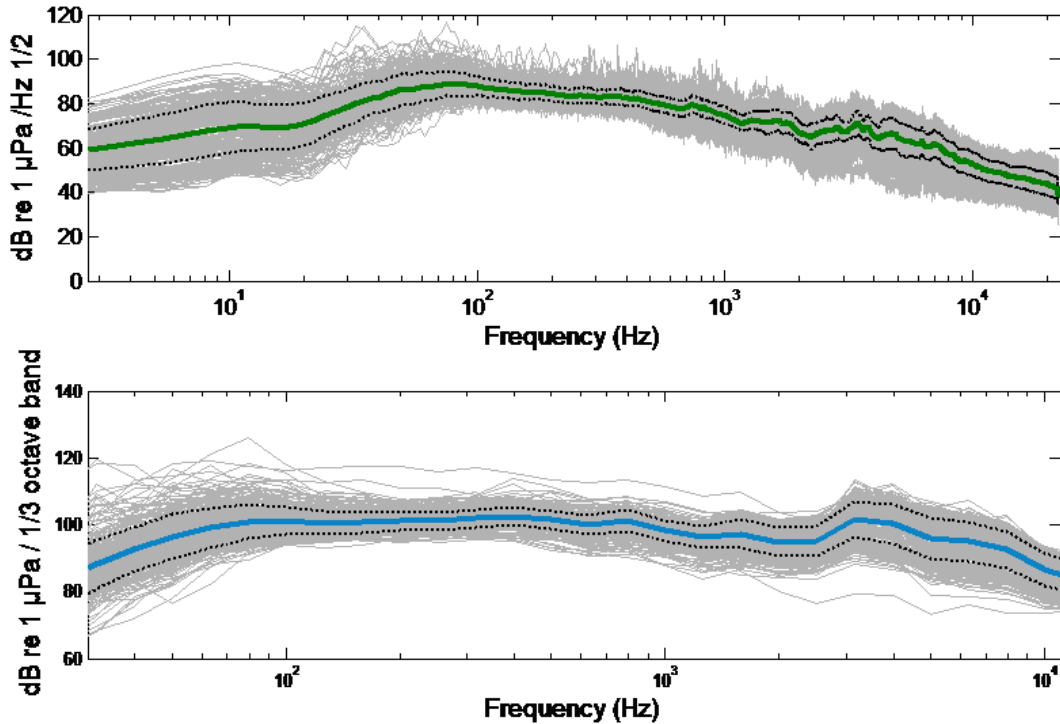
Rys. 16 Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu zimowego 01 grudzień 2012 r. – 08 styczeń 2013 r. i 25 styczeń – 28 luty 2013r. (liczba próbek = 357). Czerwona linia - mediana, poziome granice niebieskich kwadratów - pierwszy i trzeci kwantyl, czarne znaczniki - wartości maksymalne i minimalne w podpróbie, czerwone krzyżyki - wyniki odstające od grupy

Jak pokazuje Rys. 15, w okresie zimowym 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.

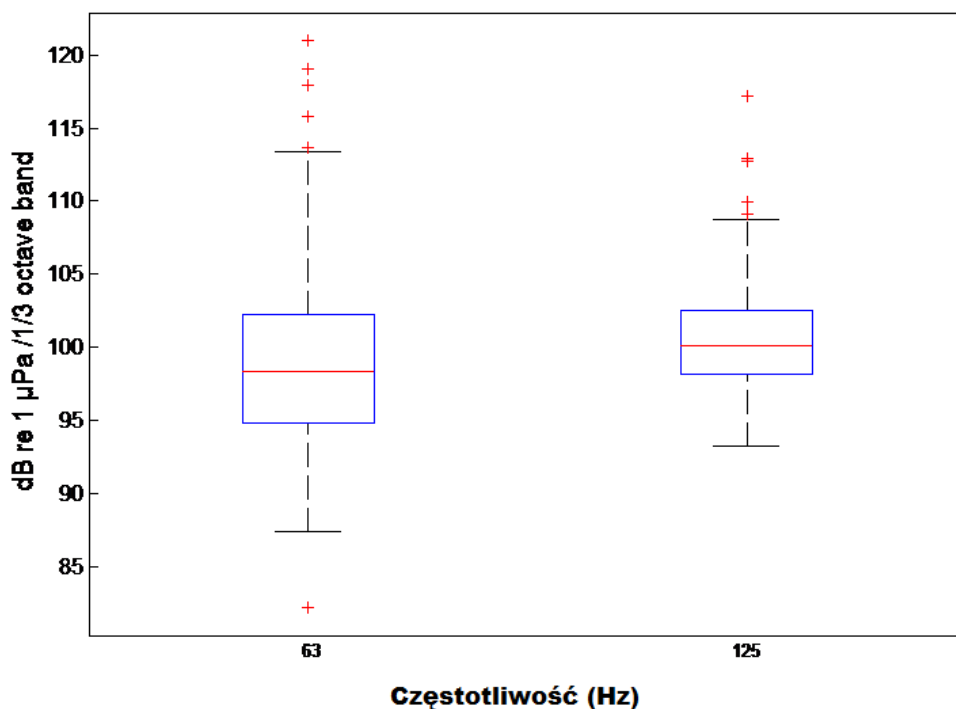
Rys. 16 przedstawia średni szerokopasmowy poziom natężenia dźwięku pasm 1/3 oktawowych (63 Hz – 10 kHz), który wyniósł 114 dB re 1 μ Pa (mediana: 113 dB, maks. 127 dB, min. 102 dB re 1 μ Pa). Średni poziom natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 i 125 Hz wyniósł odpowiednio 99 i 101 dB re 1 μ Pa.

5.1.1.3 Wiosna

Wartości PSD, uzyskane dla sezonu wiosennego, przedstawia Rys. 17 i 18.



Rys. 17 Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu wiosennego 01 marzec – 12 marzec 2013 r. (liczba próbek = 334). Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu wiosennego 2013. Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy



Rys. 18 Wykres pudełkowy pasm 1/3 oktawowych – 63 i 125 Hz; próbki z okresu od 1 do 13 marca 2013 r. ($n = 334$). Środkowa czerwona linia wskazuje wartość mediany, krawędzie pudełka to percentyl 25 i 75 (pierwszy i trzeci kwantyl), a “wąsy” sięgają najdalszych punktów niebędących poza zakresem. Punkty poza zakresem oznaczono czerwonymi krzyżykami. Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu wiosennego 01 marzec – 12 marzec 2013 r. (liczba próbek = 334). 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

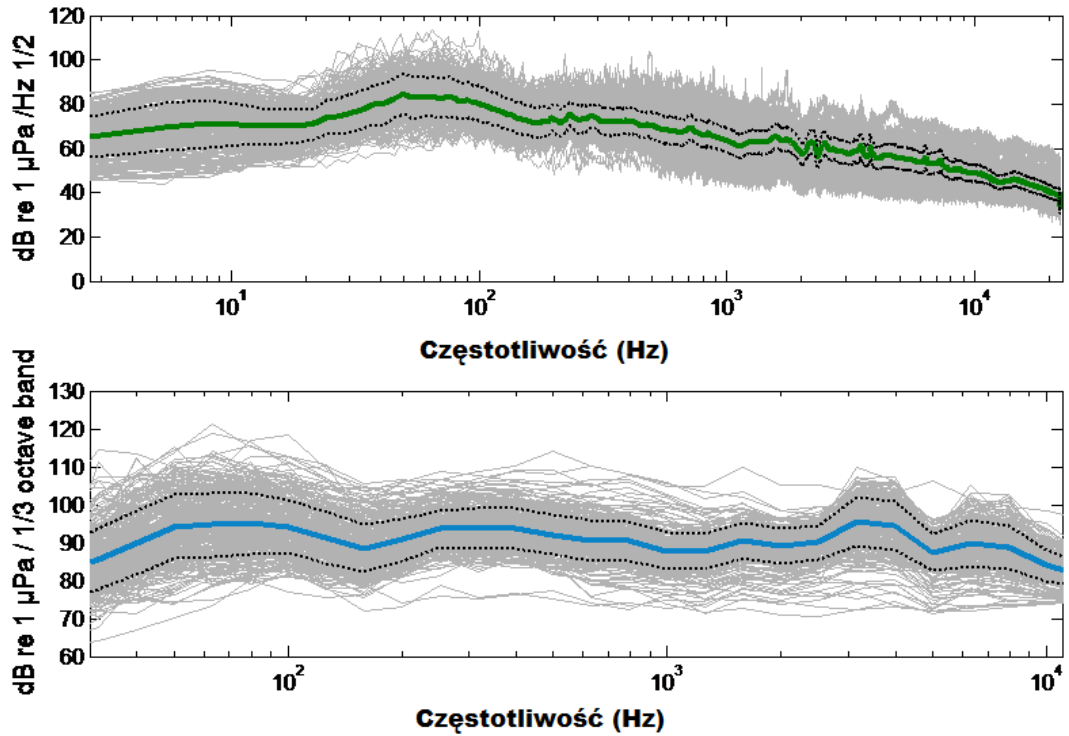
Dla próbek z sezonu wiosennego Rys.17 pokazuje rozdział energii zbliżony do zaobserwowanego w okresie jesiennym i zimowym.

Rys. 18 wskazuje średni poziom szerokopasmowego natężenia dźwięku pasm 1/3 oktawowych (63 Hz – 10 kHz) w sezonie wiosennym, który wyniósł 114 dB re 1 μ Pa (mediana: 114 dB, maks. 128 dB, min. 106 dB re 1 μ Pa). Średni poziom natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 i 125 Hz wyniósł odpowiednio 99 i 101 dB re 1 μ Pa.

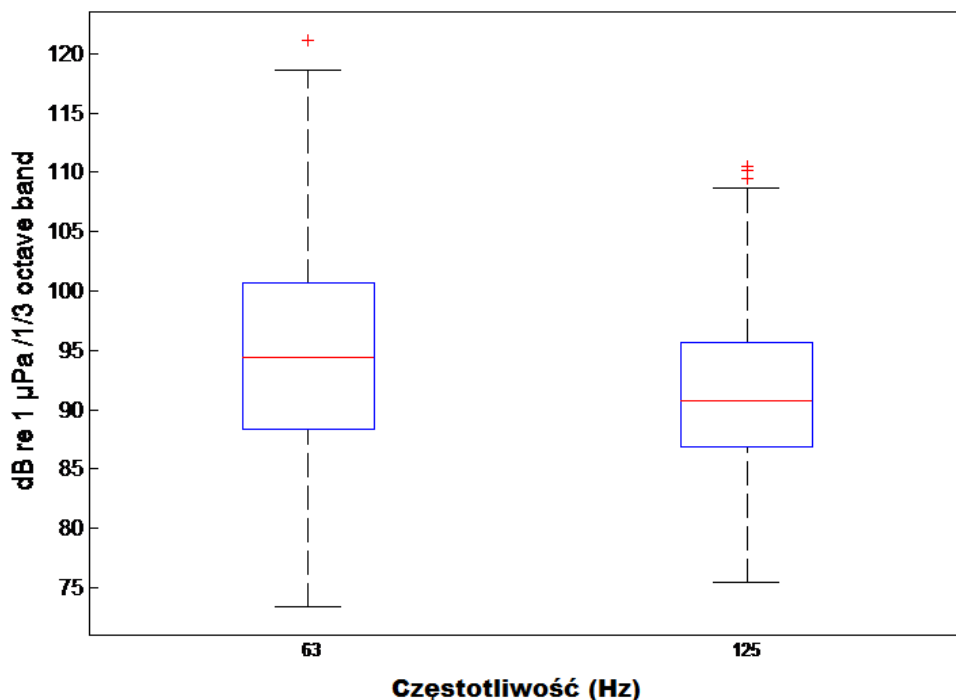
5.1.1.4

Lato

Wartości PSD dla okresu letniego przedstawiono na Rys. 19 i 20.



Rys. 19 Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu letniego 21 sierpień – 31 sierpień 2013 r. (liczba próbek = 309). Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu letniego 2013. Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy



Rys. 20 Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu letniego 21 sierpień – 31 sierpień 2013 r. (liczba próbek = 309). 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

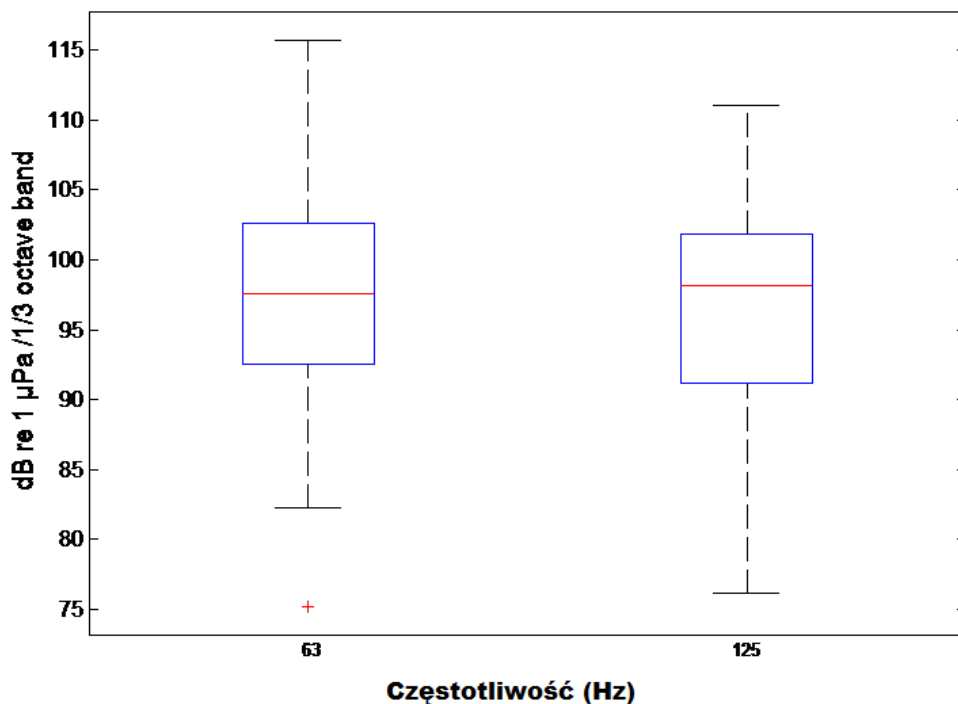
Jak pokazuje Rys. 19, w okresie letnim większość energii akustycznej była skoncentrowana ponownie w zakresie częstotliwości poniżej 1 kHz (wykres górny). Wykres dolny natomiast pokazuje rozdział energii do 11 kHz; rozdział ten był względnie równy, podobnie jak w przypadku innych pór roku.

Rys. 20 wskazuje średni poziom szerokopasmowego natężenia dźwięku pasm 1/3 oktawowych (63 Hz – 10 kHz), który wyniósł 107 dB re 1 μ Pa (mediana: 107 dB, maks. 123 dB, min. 91 dB re 1 μ Pa). Średni poziom natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 i 125 Hz wyniósł odpowiednio 95 i 91 dB re 1 μ Pa.

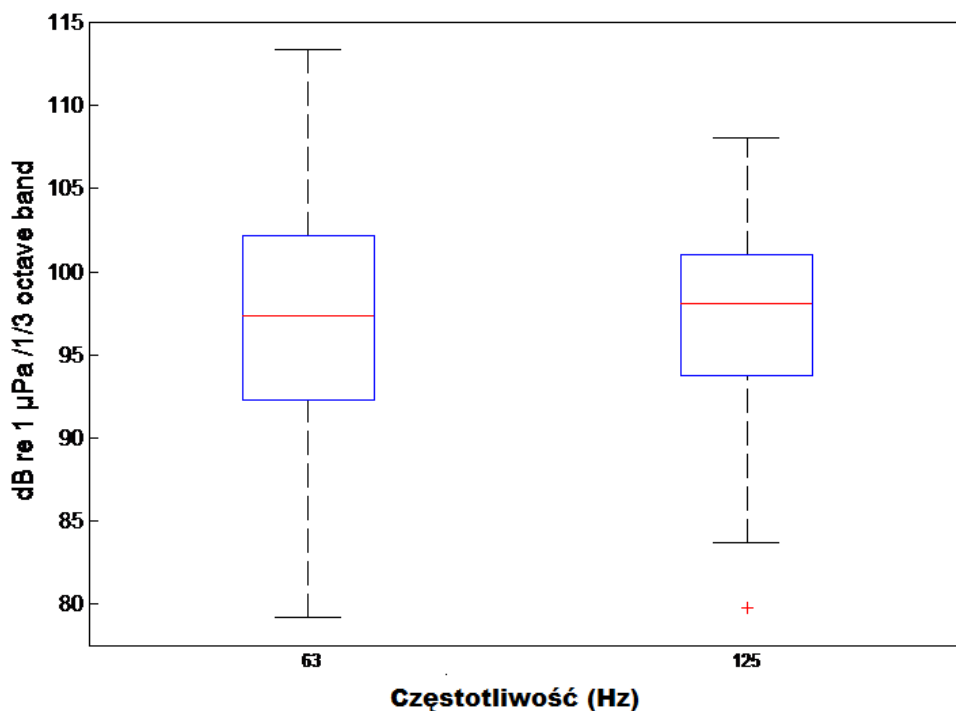
Porównanie wartości średnich szerokopasmowych poziomów natężenia dźwięku uzyskanych dla różnych pór roku wykonano przy użyciu Testu Kruskala-Wallis. Wykazał on istotne różnice pomiędzy wartościami otrzymanymi dla różnych pór roku ($p < 0,05$). Porównanie średnich poziomów natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 Hz wykazało, że próbki z sezonu zimowo-wiosennego charakteryzowały się wyraźnie różnymi wartościami od tych zebranych latem i jesienią, nie różniły się natomiast między sobą (zima – wiosna i lato-jesień). Test statystyczny średniego poziomu natężenia dźwięku dla częstotliwości 125 Hz wykazał znaczące różnice pomiędzy wartościami dla próbek z okresu lata i jesieni ($p < 0,05$ w Teście Kruskala-Wallis; jednoczynnikowa analiza wariancji), oraz brak takich różnic dla pozostałych pór roku.

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 rotorów z takimi, w których prędkość obrotowa rotorów 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 oraz 4-6 w skali Beauforta (patrz: metodyka). Wyniki analiz przedstawiono na Rys. 21 i 22.



Rys. 21 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



Rys. 22 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

Rys. 21 wskazuje że średni poziom szerokopasmowego natężenia dźwięku pasm 1/3 oktawowych (63 Hz – 10 kHz) dla 1-3 stopni w skali Beauforta wyniósł 110 dB re 1 μ Pa (mediana: 111 dB, maks. 121 dB, min. 91 dB re 1 μ Pa). Średni poziom natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 i 125 Hz wyniósł odpowiednio 98 i 96 dB re 1 μ Pa.

Rys. 22 wskazuje że średni poziom szerokopasmowego natężenia dźwięku pasm 1/3 oktawowych (63 Hz – 10 kHz) dla 4-6 stopni w skali Beauforta wyniósł 112 dB re 1 μ Pa (mediana: 112 dB, maks. 120 dB, min. 102 dB re 1 μ Pa). Średni poziom natężenia dźwięku dla częstotliwości 63 i 125 Hz wyniósł w obydwu przypadkach 97 dB re 1 μ Pa.

Test U Manna-Whitneya wykazał, że wartości tła akustycznego dla badanych stanów morza nie były znacząco różne dla częstotliwości 63 i 125 Hz. Istotną statystycznie różnicę odnotowano dla wyników otrzymanych dla szerokopasmowego poziomu natężenia dźwięku dla pasm 1/3 oktawowych ($p < 0,05$).

6 Dyskusja

6.1 Ocena jakości danych i otrzymanych wyników

Niniejszy raport podsumowuje pierwszy 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, większość działań przeprowadzono zgodnie z planem oraz zebrano dobrej jakości dane obejmujące 56% okresu przewidzianego na działania 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 Dekelinga 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 wpływania 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 potrwają przez 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 widoczny w PSD jako pik w zakresie częstotliwości pomiędzy 3 -4 kHz. Jednakże kształt PSD nagrań zawierających tenże hałas jak i kształt PSD nagrań bez tego hałasu był identyczny dla częstotliwości poniżej 3 kHz (częstotliwości istotnych z punktu widzenia charakterystyki akustycznej dźwięków generowanych przez palowanie lub hałas powstający na skutek eksploatacji farm wiatrowych). Z pewnością nasze wyniki analiz dla częstotliwości wymienionych w MSFD (63 i 125 Hz) nie zostały w żaden sposób wypaczone przez obecność w nagraniach hałasu pochodzącego od systemu kotwiczącego, gdyż jest on o kilka oktaw wyższy. Nowy system kotwiczący (w pełni zanurzony, bez pławy na powierzchni), zastosowany dla ostatnio prowadzonych badań, poskutkowało minimalizacją problemu.

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

Podsumowanie wyników naszych badań przedstawiono w Tabeli 6 (*wyniki zbiorcze ze wszystkich pór roku).

Tab. 6 Zestawienie wyników monitoringu hałasu otoczenia na obszarze BŚ III

	2012	2012/ 2013	2013		
	jesień	zima	wiosna	lato	jesień
szerokopasmowy poziom natężenia dźwięku (dB re 1μPa)	112	114	114	107	109
poziom natężenia dźwięku - 63 Hz (dB re 1μPa)	100	99	99	95	96
poziom natężenia dźwięku - 125 Hz (dB re 1μPa)	99	101	101	91	96
szerokopasmowy poziom natężenia dźwięku (dB re 1μPa) przy 1-3 w skali Beauforta	110*	110*	110*	110*	110*
szerokopasmowy poziom natężenia dźwięku (dB re 1μPa) przy 4-6 w skali Beauforta	112*	112*	112*	112*	112*

* wyniki zbiorcze dla wszystkich pór roku

Analizując trendy sezonowe, należy pamiętać, iż wyniki z różnych stacji pomiarowych zostały połączone i podzielone pod kątem sezonów w których zebrano dane. 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. 6 wskazują, że poziom natężenia tła akustycznego odnotowane latem i jesienią 2013 były niższe od tych zanotowanych zimą, wiosną oraz jesienią 2012. Można to wyjaśnić lepszymi warunkami propagacji dźwięku w Bałtyku przy niższych temperaturach. Na terenie cieśniny Fehmarnbelt, na przykład, większe straty propagacyjne zachodzą latem i jesienią. 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). Wyniki dla sezonu jesiennego 2013 objęły wrzesień, który był względnie ciepłym miesiącem; dlatego spodziewano się niższych poziomów natężenia dźwięku.

Wyniki pokazują istotny wpływ prędkości wiatru na poziom tła akustycznego, co jest zgodne z rezultatami innych badań (np. Dreschler et al. 2009). Jest to istotne spostrzeżenie z punktu widzenia określenia stref wpływu dźwięków generowanych przez eksploatację MFW na organizmy morskie; sugeruje, iż odległość, z której zwierzęta morskie będą w stanie usłyszeć dźwięki generowane przez

działanie MFW, 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. 7 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 (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 III 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. 7 wskazuje również, że zarejestrowane poziomy natężenia dźwięku pasm 1/3 oktawowych w okolicach Rotterdamu są w porównaniu z wynikami na obszarze BŚIII znacznie wyższe dla częstotliwości 63 Hz i 125 Hz (por. wartości w Tab. 6). Widać zatem wyraźnie, iż niższe poziomy natężenia hałasu na terenie BŚ III wynikają z mniejszego ruchu łodzi. Można zatem uznać, iż na obszarze BŚIII presja wywoływana na środowisko morskie na skutek hałasu podwodnego kształtuje się na umiarkowanym poziomie.

Tab. 7 Zestawienie wyników badań tła akustycznego i ich porównanie z wynikami dla obszaru BŚIII

Lokalizacja	Ważne fakty	Sprzęt rejestrujący	Szerokopasmowy poziom natężenia dźwięku (dB re 1 µPa)	Źródło
BŚ III; polski Bałtyk (niniejsze badanie)	Głębokość 30-40 m; w pobliżu tor wodny	SM2M Wildlife Acoustics (20 Hz - 48 kHz); analiza danych do 20 kHz	109-114	Niniejszy raport
Cieśnina Fehmarnbelt (Bałtyk niemiecki i duński)	Głębokość 30-40 m; różne lokalizacje – od spokojnych rejonów do obszarów w pobliżu popularnych torów wodnych	Specjalnie stworzony system pomiarowy (20 Hz - 20 kHz)	104-134	FEMM 2013
Niemiecki Bałtyk	Głębokość 28-40 m; w pobliżu torów wodnych	Specjalnie stworzony system pomiarowy (20 Hz - 20 kHz)	107-112	Gerke 2011
Norra Midsjobanken, szwedzki Bałtyk	Głębokość 28-40 m, w pobliżu torów wodnych	Hydrofon DSG-Ocean (2 Hz - 20 kHz); analiza pasm 20 Hz -	115-116	Johansson & Andersson 2012

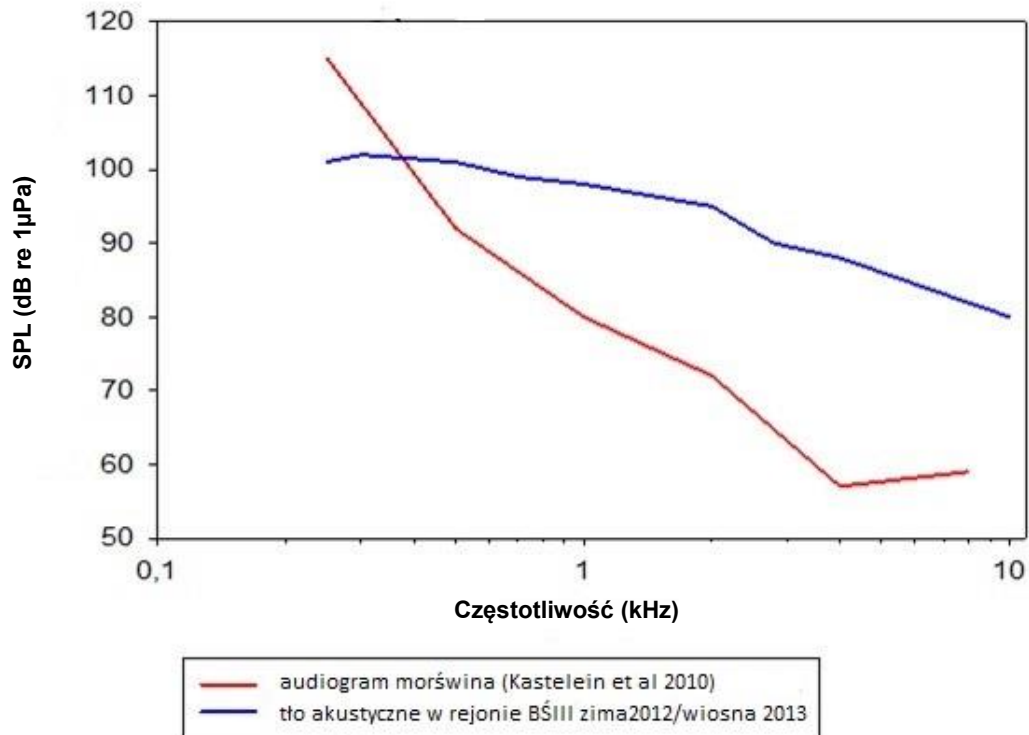
Lokalizacja	Ważne fakty	Sprzęt rejestrujący	Szerokopasmowy poziom natężenia dźwięku (dB re 1 µPa)	Źródło
		3500 Hz		
Morze Północne, Port Rotterdam	Głębokość 20 m; w pobliżu torów wodnych	Specjalnie stworzony system TNO; 16 Hz - 31.5 kHz	63 Hz = 113 125 Hz = 113	Dreschler et al. 2009
Zatoka Moray Firth, szkocka część Morza Północnego	Głębokość 42 m; w pobliżu torów wodnych, różne lokalizacje	Hydrofon B&K 10 Hz - 120 kHz; analiza pasm 10 Hz - 96 kHz	104 – 119 (138)	Bailey et al. 2010

6.4 Poziom natężenia tła akustycznego w obszarze BŚ III w odniesieniu do słuchu mroświnów

Aby lepiej zrozumieć środowisko akustyczne w jakim mogą znaleźć się morświny w rejonie BŚ III, zestawiliśmy dane dotyczące audiogramu tych zwierząt (wg. Kastelein et al., 2002) z odnotowanymi przez nas wartościami poziomu natężenia tła akustycznego na terenie BŚ III w okresie wiosennym, gdyż właśnie w tym okresie pomierzone wartości były najwyższe (sezon zima 2012, wiosna 2013 – jednakowe wartości (Tab. 6). Jako że zarówno audiogram morświna jak i nasze pomiary przedstawione zostały w pasmach 1/3 oktaowych, są one bezpośrednio porównywalne (Rys. 23).

Zestawienie wykonano dla częstotliwości do 10 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 (< 100 Hz), pogłębianie dna (100-500 Hz), badania sejsmiczne (10-120 Hz), dźwięki generowane przez sonary niskiej i średniej częstotliwości (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) mają wpływ na morświny.

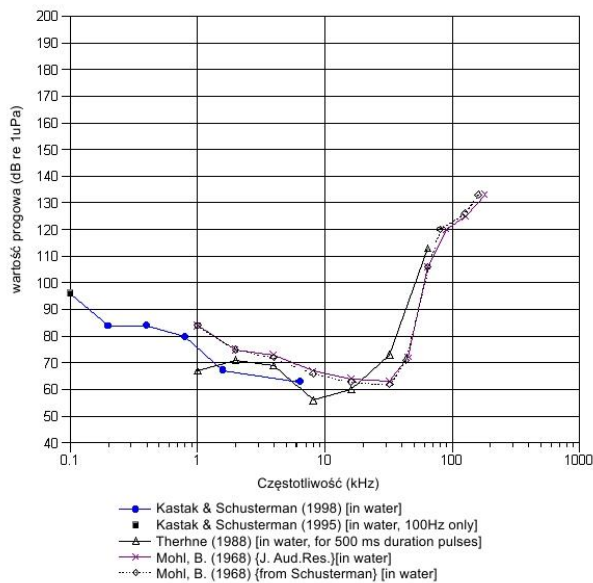


Rys. 23 Poziom tła akustycznego na obszarze BŚ III zimą 2012/wiosną 2013 r. w zestawieniu z audiogramem morświnów

Można zauważyć, że poziom natężenia tła akustycznego dla częstotliwości poniżej 400 Hz znajduje się poniżej progu słuchu morświnów dla tych częstotliwości. Zatem niskie częstotliwości tła akustycznego o natężeniu odnotowanym w rejonie BŚII nie są wykrywane przez morświny. Przy częstotliwościach > 400 Hz, poziom natężenia tła akustycznego spada nieznacznie, a wrażliwość słuchu morświnów staje się lepsza. Dla częstotliwości ok. 4 kHz poziom natężenia tła akustycznego jest o ok. 30 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. 23) z dostępnymi audiogramami dla fok umożliwia określenie, czy zarejestrowane na obszarze badawczym poziomy natężenia hałasu są słyszalne dla tych zwierząt.

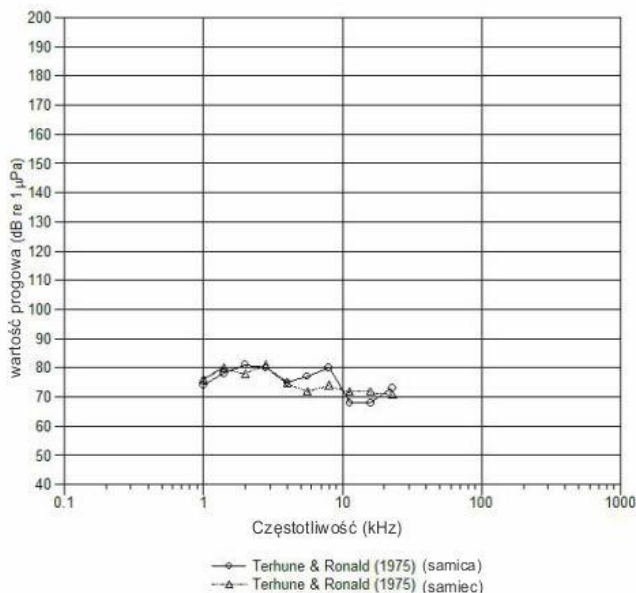
Dostępne dane na temat słuchu fok pospolitych pod wodą przedstawia Rys. 24 (Nedwell et al, 2004), z którego wynika, iż tło akustyczne zarejestrowane na terenie BŚ III jest dla tego gatunku słyszalne w całym zakresie częstotliwości. Dla częstotliwości ok. 1 kHz poziom natężenia tła akustycznego jest o ok. 20 dB wyższy niż wartości progowe słuchu dla tego gatunku.



[Fig. ref. HarbourSeal_water_01]

Rys. 24 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 III 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. 25 Podsumowanie istniejących informacji nt. wrażliwości słuchu pod wodą foki obrączkowanej (Nedwell et al, 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 – Kastelein et al., 2013; dla fok –Southall, 2007). Możemy zatem wysnuć wniosek, iż tło akustyczne na terenie BŚ III 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 (2012-2013). Wykonane pomiary stanowią pierwszą 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 56% okresu badawczego. Obszar projektowy można określić jako charakteryzujący się średnią presją hałasu podwodnego na środowisko morskie, z wartościami dla szerokopasmowego poziomu natężenia dźwięku w zakresie 63 Hz – 10 kHz pomiędzy 107 a 114 dB re 1 μ Pa. Analiza danych wykazała różnice poziomów natężenia tła akustycznego pomiędzy różnymi porami roku. Najwyższe wartości odnotowano zimą 2012/2013 i wiosną 2013. 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: 2 dB), jako że 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 szacuje się, iż tło akustyczne na terenie BŚ III dla częstotliwości poniżej 10 kHz wpływa w stopniu umiarkowanym na przebywające w tym rejonie morświny i foki. Stąd stwierdza się, iż odnotowane poziomy natężenia tła akustycznego nie wpływają 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 MAand 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 III	7
Tab. 2	Szczegółowe informacje w zakresie zbierania danych przez rejestrator akustyczny na terenie BŚ III w okresie badawczym	15
Tab. 3	Przegląd działań w zakresie monitorowania tła akustycznego na obszarze BŚ III; przeprowadzone działania i komentarze	18
Tab. 4	Zestawienie danych zebranych podczas monitoringu tła akustycznego na obszarze BŚ III	19
Tab. 5	Przegląd danych akustycznych zebranych na obszarze badawczym BŚ III	21
Tab. 6	Zestawienie wyników monitoringu hałasu otoczenia na obszarze BŚ III	35
Tab. 7	Zestawienie wyników badań tła akustycznego i ich porównanie z wynikami dla obszaru BŚIII	36

10 Rysunki

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.....	4
Rys. 2	Teoretyczne strefy wpływu hałasu podwodnego na organizmy morskie (Richardson et al. 1995; OSPAR 2009).....	5
Rys. 3	Położenie MFW BŚ III	7
Rys. 4	Rejestrator akustyczny firmy Wildlife Acoustics	9
Rys. 5	Schemat zastosowanego na obszarze badawczym systemu kotwiczenia z zastosowaniem zwalniaków akustycznych	10
Rys. 6	Schemat zastosowanego na obszarze badawczym systemu kotwiczenia po wymianie zwalniaków akustycznych na boje i liny o dodatniej pływalności	10
Rys. 7	Mapa obszaru badawczego BŚ III z zaznaczonymi na czerwono lokalizacjami rejestratora akustycznego oraz ich współrzędnymi geograficznymi. Rejestrator wykrywa dźwięki o niskiej częstotliwości na całym obszarze przedstawionym na mapie.....	12
Rys. 8	Urządzenie akustyczne gotowe do umieszczenia w wodzie.....	13
Rys. 9	Zanurzanie systemu kotwiczącego.....	14
Rys. 10	Ustawianie parametrów rejestrowania danych akustycznych przez urządzenie SM2M przed jego umieszczeniem w wodzie.....	16
Rys. 11	Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu jesiennego 14 październik – 30 listopad 2012 r. (liczba próbek = 105). Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu jesiennego 2012. Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy	22
Rys. 12	Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu jesiennego 14 październik – 30 listopad 2012 r. (liczba próbek = 105). 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	23
Rys. 13	Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu jesiennego 1 wrzesień – 30 listopad 2013 r. (liczba próbek = 403). Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu jesiennego 2013. Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy	24
Rys. 14	Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu jesiennego 01 wrzesień – 30 listopad 2013 r. (liczba próbek = 403). 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. 15	Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu zimowego 1 grudzień 2012 r. – 8 styczeń 2013 r. oraz 25 styczeń – 28 luty 2013r. (liczba próbek = 357). Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu zimowego 2012/2013. Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy	26

Rys. 16	Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu zimowego 01 grudzień 2012 r. – 08 styczeń 2013 r. i 25 styczeń – 28 luty 2013r. (liczba próbek = 357). 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. 17	Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu wiosennego 01 marzec – 12 marzec 2013 r. (liczba próbek = 334). Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu wiosennego 2013. Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy	28
Rys. 18	Wykres pudełkowy pasm 1/3 oktawowych – 63 i 125 Hz; próbki z okresu od 1 do 13 marca 2013 r. (n = 334). Środkowa czerwona linia wskazuje wartość mediany, krawędzie pudełka to percentyl 25 i 75 (pierwszy i trzeci kwantyl), a “wąsy” sięgają najdalszych punktów niebędących poza zakresem. Punkty poza zakresem oznaczono czerwonymi krzyżykami Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu wiosennego 01 marzec – 12 marzec 2013 r. (liczba próbek = 334). 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. 19	Górny wykres: widmowa gęstość mocy dla pasm o szerokości 1 Hz dla podpróby nagrań z okresu letniego 21 sierpień – 31 sierpień 2013 r. (liczba próbek = 309). Dolny wykres: Widmowa gęstość mocy dla pasm 1/3 oktawowych dla podpróby nagrań z okresu letniego 2013. Zielona linia - widmowa gęstość mocy poszczególnych nagrań, niebieska linia - średnia wartość widmowej gęstości mocy, linie przerywane – odchylenie standardowe widmowej gęstości mocy.....	30
Rys. 20	Poziom natężenia dźwięku w pasmach 1/3 oktawowych 63 i 125 Hz dla podpróby z okresu letniego 21 sierpień – 31 sierpień 2013 r. (liczba próbek = 309). 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	31
Rys. 21	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	32
Rys. 22	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	33
Rys. 23	Poziom tła akustycznego na obszarze BŚ III zimą 2012/wiosną 2013 r. w zestawieniu z audiogramem morświnów	38
Rys. 24	Podsumowanie istniejących informacji nt. wrażliwości słuchu foki pospolitej pod wodą (Nedwell et al, 2004).....	39
Rys. 25	Podsumowanie istniejących informacji nt. wrażliwości słuchu pod wodą foki obrączkowanej (Nedwell et al, 2004).....	39