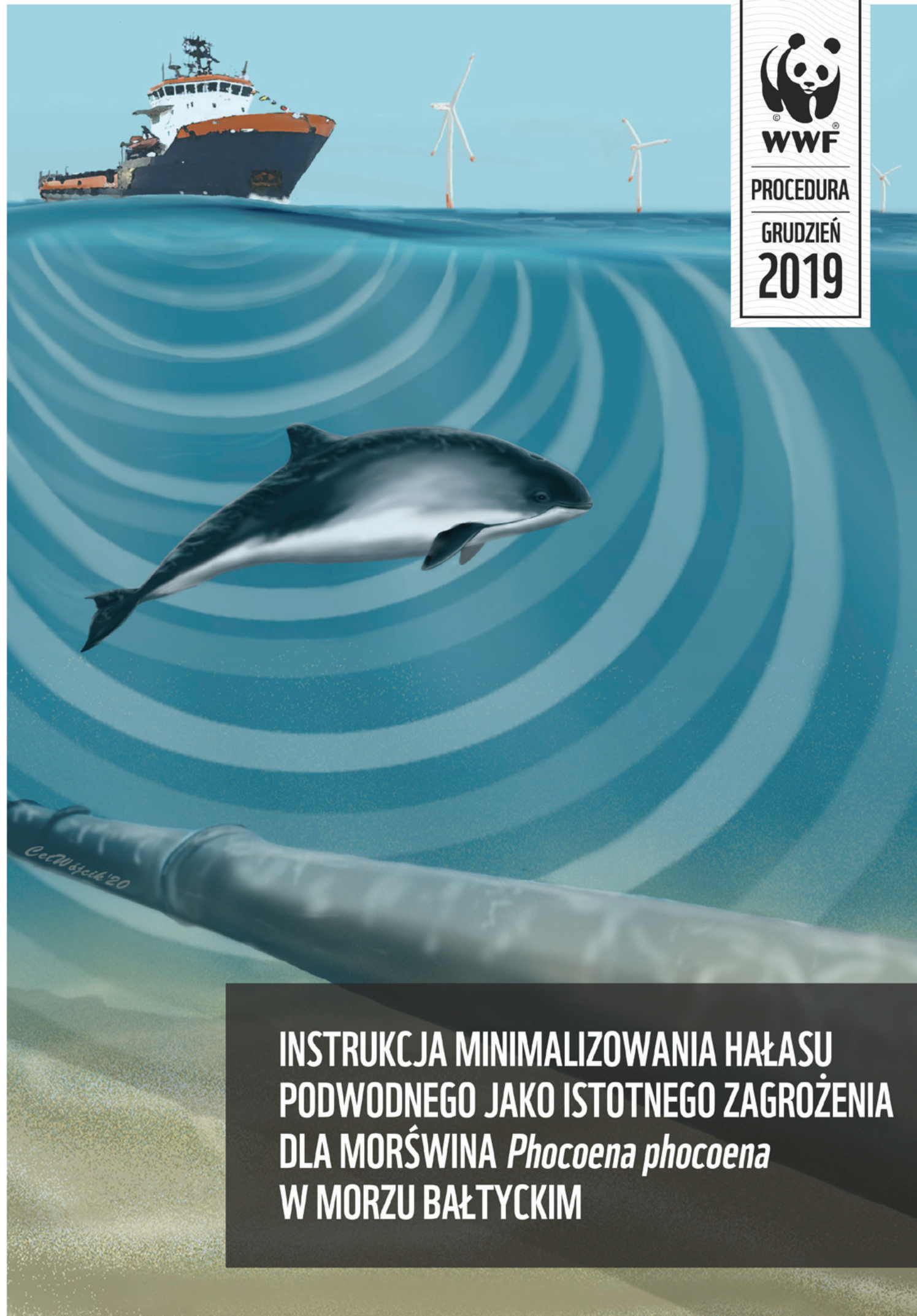




PROCEDURA

GRUDZIEŃ

2019



**INSTRUKCJA MINIMALIZOWANIA HAŁASU
PODWODNEGO JAKO ISTOTNEGO ZAGROŻENIA
DLA MORŚWINA *Phocoena phocoena*
W MORZU BAŁTYCKIM**

**INSTRUKCJA MINIMALIZOWANIA HAŁASU
PODWODNEGO JAKO ISTOTNEGO ZAGROŻENIA
DLA MORŚWINA *Phocoena phocoena*
W MORZU BAŁTYCKIM**

INSTRUKCJA MINIMALIZOWANIA HAŁASU PODWODNEGO JAKO
ISTOTNEGO ZAGROŻENIA DLA MORŚWINA *Phocoena phocoena*
W MORZU BAŁTYCKIM

Autorzy:

mgr Wojciech Górski
mgr Radomił Koza
dr Iwona Pawliczka vel Pawlik

Recenzja:

prof. dr hab. Jarosław Tęgowski

Skład: NATAL

Grafika na okładce: Cezary Wójcik

Wydawca:

Fundacja WWF Polska
ul. Usypiskowa 11
02-386 Warszawa
tel. +22 849 84 69

©WWF Polska

Publikacja zrealizowana w ramach projektu:
"Ochrona ssaków i ptaków morskich i ich siedlisk"

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Funduszu
Spójności w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko.



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Fundusz Spójności



Spis treści

Skróty	6
1. Wprowadzenie	7
2. Charakterystyka dźwięku w środowisku morskim	8
3. Hałas podwodny	9
3.1. Charakterystyka hałasu podwodnego	9
3.2. Źródła hałasu	9
3.2.1. Transport morski i rybołówstwo	10
3.2.2. Detonacja broni konwencjonalnej	12
3.2.3. Prace związane z układaniem kabli oraz gazociągów	17
3.2.4. Wbijanie fundamentów pod morskie elektrownie wiatrowe	17
3.2.5. Dźwięki generowane przez echosondy i sonary	17
3.2.6. Dźwięki generowane przez łodzie motorowodne	17
4. Morświn – charakterystyka gatunku zamieszkującego Morze Bałtyckie	20
4.1. Wpływ hałasu podwodnego na morświny	21
5. Przegląd najważniejszych dokumentów regulujących kwestie emisji hałasu podwodnego w polskich obszarach morskich i jego wpływu na morskie zwierzęta	23
6. Przegląd dostępnych metod i technologii minimalizujących negatywny wpływ podwodnego hałasu na morświny, mogących mieć zastosowanie w warunkach Morza Bałtyckiego	25
6.1. Metody minimalizowania hałasu generowanego przez transport morski	25
6.2. Metody minimalizowania hałasu generowanego podczas detonacji ładunków	25
6.3. Metody minimalizowania hałasu generowanego podczas prac związanych z układaniem kabli i gazociągów	26
6.4. Metody minimalizowania hałasu generowanego podczas budowy morskich elektrowni wiatrowych	27
6.4.1. Kurtyna powietrzna (bubble curtains)	27
6.4.2. Osłony izolacyjne (isolation casings)	27
6.4.2.1. Osłona IHC-NMS	27
6.4.2.2. Skorupa „BEKA” (BEKA shell)	27
6.4.2.3. Osłona HydroNAS	31
6.4.2.4. Osłona HSD (Hydro Sound Dampers)	31
6.4.3. Modyfikacje młotów i nasadek na młoty	32
6.4.4. Kombinacje metod	32
6.5. Metody minimalizowania hałasu generowanego przez turystykę motorowodną	32
7. Wskazania i rekomendacje do metodyk monitoringu wpływu hałasu podwodnego na morświny	34
8. Literatura	35

Skróty

BBC – duża kurtyna powietrzna (*big bubble curtain*)

BIAS – Baltic Sea Information on the Acoustic Soundscape

BSH – Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

C-POD – detektor hydroakustyczny morświnów typu C

DBBC – podwójna duża kurtyna powietrzna (*double big bubble curtain*)

dB - decybel

GES – dobry stan środowiska (*Good Environmental Status*)

HELCOM – Komisja Ochrony Środowiska Morskiego Bałtyku, tzw. Komisja Helsińska

HSD – Hydro Sound Dampers

Hz – herc

kHz – kiloherc

kJ – kilodżul

MEW – morska elektrownia wiatrowa

MFW – morska farma wiatrowa

PTS – trwała zmiana progu słyszalności (*Permanent Threshold Shift*)

SBC – mała kurtyna powietrzna (*small bubble curtain*)

SEL – poziom ekspozycji na dźwięk

SPL – poziom ciśnienia akustycznego (*Sound Pressure Level*)

TEU – jednostka pojemności używana w odniesieniu do portów i statków, równoważna objętości kontenera o długości 20 stóp (*twenty-foot equivalent unit*)

TTS - tymczasowa zmiana progu słyszalności (*Temporary Threshold Shift*)

1. Wprowadzenie

Dźwięki w środowisku morskim są stałym i wszechobecnym elementem. Mogą powstawać w wyniku naturalnych procesów, jak również w wyniku działań człowieka. W tym drugim przypadku dźwięki określane są mianem hałasu podwodnego. Hałas od niedawna zaliczany jest do zanieczyszczeń środowiska morskiego (np. Ramowa Dyrektywa w sprawie Strategii Morskiej), przez co dopiero zaczyna funkcjonować w świadomości społeczeństwa oraz użytkowników akwenów morskich jako realne zagrożenie dla wielu organizmów morskich, w tym krytycznie zagrożonego w wodach Bałtyku morświna, *Phocoena phocoena* (IUCN 2007).

W związku z rosnącym poziomem hałasu podwodnego w Morzu Bałtyckim w wyniku wzrostu intensywności działalności człowieka, do której zalicza się transport morski, budowę morskich farm wiatrowych, układanie rurociągów gazowych i naftowych, wydobywanie paliw i innych surowców naturalnych, układanie kabli energetycznych, manewry wojskowe i związane z nimi detonacje broni konwencjonalnej czy turystykę motorowodną, presja na ekosystem Bałtyku i żyjące w nim organizmy jest coraz większa. Zachodzi tym samym konieczność, by każda aktywność ingerująca w naturalne środowisko morskie była uważnie oceniona pod względem krótko- i długotrwałych efektów jej oddziaływania, zastosowania odpowiednich środków mitygujących bądź wyeliminowania.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiająca ramy działań Wspólnoty Europejskiej w dziedzinie polityki środowiska morskiego (Ramowa Dyrektywa w sprawie Strategii Morskiej), uznała zanieczyszczenie hałasem podwodnym jako jeden ze wskaźników jakości środowiska naturalnego. Jednocześnie zapisy Dyrektywy odniosły się do potrzeby ekosystemowego podejścia do zarządzania działalnością czło-

wieka, opartego na zachowaniu ekosystemu i jednoczesnym umożliwieniu zrównoważonego użytkowania zasobów i dostarczania usług morskich, przy pierwszeństwie dla działań zmierzających do osiągnięcia dobrego stanu środowiska morskiego (*Good Environmental Status* - GES), aby zapobiec dalszemu pogorszeniu jego stanu.

Podstawowe cele w zakresie osiągnięcia dobrego stanu środowiska wód morskich ujęte zostały we wspomnianej Ramowej Dyrektywie w sprawie Strategii Morskiej, a kryteria i standardy metodologiczne dla określenia dobrego stanu środowiska wód morskich zostały podane w Decyzji Komisji Europejskiej (2010/477/UE), zmienionej następnie decyzją Komisji (UE) 2017/848 z dnia 17 maja 2017 r. Głównymi celami dyrektyw są: ochrona i zachowanie środowiska morskiego, zapobieganie pogorszeniu się stanu środowiska morskiego oraz poprawa i osiągnięcie dobrego stanu środowiska. Poprzez dobry stan środowiska rozumie się *„...taki stan środowiska wód morskich tworzących zróżnicowane i dynamiczne pod względem ekologicznym oceany i morza, które są czyste, zdrowe i urodzajne w odniesieniu do panujących w nich warunków, zaś wykorzystanie środowiska morskiego zachodzi na poziomie, który jest zrównoważony i gwarantuje zachowanie możliwości użytkowania i prowadzenia działań przez obecne i przyszłe pokolenia”*.

W ramach Ramowej Dyrektywy w sprawie Strategii Morskiej opracowano 11 wskaźników opisowych, dla których każde z Państw powinno przeprowadzić ocenę w odniesieniu do zdefiniowanych kryteriów dobrego stanu środowiska. Wśród nich znajduje się wskaźnik W11 - podwodny hałas i inne źródła energii.

2. Charakterystyka dźwięku w środowisku morskim

Fala akustyczna jest falą mechaniczną, rozchodzącą się w ośrodku sprężystym: gazie, cieczy lub ciele stałym. Fala taka propagowana w wodzie jest falą podłużną i objawia się przez przemieszczające się zagęszczenia i rozrzedzenia ośrodka w wyniku przekazywania energii mechanicznej jego cząsteczek. Cząsteczki ośrodka wytrącone z położenia równowagi przez impuls mechaniczny (np. wibracje kadłuba statku, wbijanie fundamentów w dno morskie) zderzają się z sąsiednimi cząsteczkami przekazując im energię swojego ruchu. Oscylacje cząsteczek wokół położenia ich równowagi przejawiają się zmianami ciśnienia w ośrodku. Tam, gdzie sąsiadujące cząsteczki zbliżają się do siebie, następuje sprężenie i powstaje nadciśnienie, a w przeciwnej fazie ruchu cząsteczek mamy do czynienia z rozprężeniem i niższym ciśnieniem ośrodka niż w stanie równowagi. Te właśnie fluktuacje ciśnienia względem wartości średniej określa się mianem ciśnienia akustycznego. Pomiar ciśnienia akustycznego umożliwia określenie natężenia dźwięku, będącego miarą energii fali akustycznej i proporcjonalnego do kwadratu ciśnienia akustycznego, a odwrotnie proporcjonalnego do gęstości ośrodka.

Fale akustyczne podlegają procesom takim jak: odbicie i załamanie na granicy ośrodków, ugięcie na przeszkodach czy interferencja, czyli nakładanie się fal prowadzące do ich wzmocnienia lub osłabienia, zależnie od różnic fazowych pomiędzy nakładającymi się falami. Ich energia ulega osłabieniu wynikającemu z geometrii propagacji, gdy fala rozchodzi się od źródła w różnych kierunkach, a także podlega pochłanianiu w ośrodku. Prędkość rozchodzenia się fali akustycznej zależy od parametrów ośrodka. W przypadku środowiska morskiego osiąga wartości około 1500 m/s i zmienia się w dość szerokich granicach w zależności od temperatury, zasolenia i ciśnienia, przy czym największy wpływ na prędkość dźwięku mają zmiany temperatury. Ze względu na niejednorodność środowiska morskiego wynikającą z różnic tych parametrów, fale dźwiękowe przeważnie nie przemieszczają się po liniach prostych ulegając uginaniu w kierunku warstw o mniejszej prędkości. Odbijają się również od powierzchni wody i dna i mogą częściowo przenikać przez granicę ośrodków. Jednak ze względu na sprężystość wody mają znacznie lepsze warunki propagacji niż w powietrzu, dlatego w wodzie dźwięk rozcho-

dzi się zdecydowanie dalej i szybciej. Sprzyja temu szczególnie typowa dla wód morskich sytuacja uwarstwienia termiczno-zasoleniowego, kiedy w toni powstają warstwy o mniejszej prędkości dźwięku stanowiące tak zwane kanały dźwiękowe, w których fale akustyczne przemieszczają się na znacznie większe odległości niż poza kanałami.

Zjawiska akustyczne zachodzące w środowisku morskim są przedmiotem badań od stosunkowo niedługiego czasu, ale już na jego przestrzeni zaobserwowano istotne zmiany w charakterystyce akustycznych parametrów mórz i oceanów. Zanieczyszczenie hałasem wzrasta drastycznie wraz ze wzrostem aktywności człowieka w tym środowisku. Składa się na to zarówno zwiększający się ciągle ruch żeglugowy, jak i rosnąca eksploatacja zasobów morza.

Dźwięk w środowisku morskim może pochodzić z wielu różnych źródeł. Podstawowy podział wyszczególnia źródła naturalne i sztuczne. Wśród naturalnych dominujące są te związane ze zjawiskami fizycznymi zachodzącymi w wodzie, atmosferze, dnie oraz na styku tych ośrodków, takie jak: załamujące się fale, przepływy turbulentne, ruchy termiczne cząsteczek wody, pękające pęcherzyki gazowe, ruch osadów dennych spowodowany falowaniem lub prądami, opady i wyładowania atmosferyczne, zjawiska lodowe obejmujące procesy zamarzania, pękania, kruszenia i transportu lodu, ruchy tektoniczne, osuwiska czy erupcje wulkaniczne. Drugą część stanowią dźwięki związane z życiem biologicznym, takie jak sygnały echolokacyjne czy komunikacyjne, dźwięki związane z ruchem czy specyficznym zachowaniem zwierząt morskich.

Niezależnie od pochodzenia dźwięk jest transferem energii mechanicznej w postaci fali podłużnej, która przemieszcza się w środowisku wodnym ze znacznie większą prędkością i na większe odległości niż w powietrzu. Zależnie od natężenia energia ta może być źródłem informacji, szumem, ale też elementem destrukcyjnym dla organizmów morskich. Ten ostatni przypadek dotyczy najczęściej dźwięków związanych z działalnością człowieka, przyporządkowanych do kategorii podwodnego hałasu.

3. Hałas podwodny

Zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/56/WE oraz Decyzją Komisji 2017/848, hałas podwodny definiuje się jako *zanieczyszczenie spowodowane działalnością człowieka, które powoduje lub może powodować negatywne skutki w żywych zasobach i ekosystemach morskich*. Ze względu na dużo lepsze możliwości propagacji dźwięku w wodzie niż w powietrzu, jak również z powodu słabszego tłumienia dźwięku, hałas w środowisku morskim rozchodzi się na znacznie większe odległości, oddziałując tym samym na większy obszar i żyjące w nim organizmy.

3.1. Charakterystyka hałasu podwodnego

Rozróżnia się dwa rodzaje hałasu podwodnego:

- ciągły
- impulsowy

Hałas o charakterze ciągłym generowany jest w morzu m.in. przez transport morski, turystykę motorowodną czy rybołówstwo, które prowadzą do stałego obciążenia tym zanieczyszczeniem obszarów, w których prowadzą swoją działalność. Hałas ciągły charakteryzuje się nieznacznymi zmianami częstotliwości i natężenia w czasie. Dźwięk rozchodzący się od źródła hałasu może być stały, może fluktuować lub zmieniać się nieznacznie w długim przedziale czasu. Szacuje się, że na Morzu Bałtyckim może przebywać w jednym momencie nawet 2000 statków, które w zależności od wielkości czy prędkości, z jaką się poruszają, mogą wytwarzać hałas o natężeniu 158-190 dB re 1mPa oraz częstotliwości 7-430 Hz (GIOŚ 2018 na podstawie Simmonds i in., 2003). Hałas ten odpowiedzialny może być za zmiany behawioralne organizmów, płoszenie, reakcje stresowe, itd.

Hałas impulsowy odznacza się z kolei krótkim czasem trwania (tymczasowe obciążenie obszaru) i wysoką energią. W przypadku bliskiej obecności od źródła hałasu impulsowego, można obserwować uszkodzenie tkanek, tymczasową utratę słuchu, a w skrajnych przypadkach również całkowitą jego utratę bądź śmierć organizmu. Tego rodzaju dźwięki mogą być generowane np. w czasie detonacji amunicji konwencjonalnej lub podczas wbijania fundamentów elektrowni wiatrowych w dno morskie.

3.2. Źródła hałasu

Morze Bałtyckie przenikają dźwięki o bardzo szerokim zakresie częstotliwości, począwszy od infradźwięków (< 20 Hz), a skończywszy na ultradźwiękach (> 20 kHz). Choć we wskazanych zakresach mieszczą się również dźwięki pochodzenia

naturalnego, to w związku z rosnącą aktywnością człowieka na tym akwenie, natężenie dźwięków pochodzenia antropogenicznego zaczyna dominować, przez co stają się one uciążliwe dla otoczenia. Szacuje się, że w obrębie głębokowodnych obszarów Bałtyku przeważa hałas podwodny o częstotliwości mieszczącej się w przedziale od 10 do 100 Hz¹⁵.

Wśród źródeł hałasu podwodnego należy wymienić:

- transport morski i rybołówstwo,
- detonację broni konwencjonalnej,
- prace związane z układaniem kabli oraz gazociągów,
- wbijanie fundamentów pod morskie elektrownie wiatrowe,
- dźwięki emitowane przez echosondy i sonary,
- turystykę motorowodną.

3.2.1. Transport morski i rybołówstwo

Transport morski stanowi filar międzynarodowego handlu, obsługując ponad 80% światowej wymiany towarów¹⁶. Ciągły rozwój tego sektora gospodarki, jaki obserwuje się na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci, jest wynikiem nie tylko rozwoju floty, ale także infrastruktury umożliwiającej dalszy (ładowy) transport towarów i surowców oraz modernizację portów. Od 2010 roku przepustowość światowych portów wzrosła o blisko 30% – z ponad 560 do 793 mln TEU (na podstawie UNCTADstat, [www: unctadstat.unctad.org](http://www.unctadstat.unctad.org). 26.11.2019). Dynamiczny rozwój portów i zwiększenie ich przepustowości wynikały częściowo z rozwoju floty statków, które były w stanie przewozić większą ilość ładunków, a tym samym umożliwiły obniżenie kosztów transportu. Jeszcze w latach 50. XX wieku kontenerowce były w stanie transportować ładunek o pojemności 500–800 TEU. Obecnie największe statki kontenerowe charakteryzują się pojemnością 21 413–23 756 TEU¹⁷.

Morze Bałtyckie uważane jest za jedno z najbardziej zatłoczonych mórz świata, gdzie transport morski stanowi 15% światowego transportu towarów. Kilkadziesiąt dużych i średnich portów zlokalizowanych na tym obszarze umożliwia dogodne połączenia między krajami bałtyckimi, a resztą świata, umożliwiając ciągły ruch statków kontenerowych, tankowców, promów, statków pasażerskich, statków rekreacyjnych i komercyjnych. Z danych z 2015 r. wynika, że około 7900 zarejestrowanych w Międzynarodowej Organizacji Morskiej w Londynie (IMO) statków prowadziło działalność na Morzu Bałtyckim, z czego 48% stanowiły statki towarowe, 22% tankowce, 5,4% statki pasażerskie, 5,2 % statki serwisowe, 4,3% kontenerowce, 4,1% statki rybackie, 3,1% statki RO-RO, 7,4%

15 <https://www.nord-stream2.com/media/documents/pdf/pl/2017/04/nsp2-espoo-report-pol.pdf>

16 <https://logistyczny.com/biblioteka/lancuch-dostaw/item/4797-na-pelnym-morzu>

17 <http://maritimecongress.com/wp-content/uploads/2017/06/baltyk-na-swiatowej-mapie-zegluga-morskiej.pdf>

pozostałe statki, 0,5% brak informacji. Jednocześnie uważa się, że w każdej chwili na Morzu Bałtyckim znajduje się około 1500 statków zarejestrowanych w IMO (HELCOM, 2018). Największą aktywnością na Bałtyku charakteryzują się statki typu CARGO, które pokonują około 2 mln Mm rocznie. Około 1mln Mm pokonują z kolei tankowce i statki pasażerskie. Najmniejszą aktywność odnotowuje się w przypadku jednostek rybackich <0,1 mln Mm (Rys. 1).

Silny rozwój transportu morskiego na Morzu Bałtyckim dobrze obrazują wyniki przyrostu obrotów towarowych sięgające 56% na przestrzeni lat 2002–2015¹⁸. Efektem ubocznym rozwoju transportu morskiego jest wzrost hałasu podwodnego. Transport odpowiedzialny jest przede wszystkim za generowanie hałasu o niskich częstotliwościach (do 500 Hz), przy czym poziom hałasu zależy nie tylko od rozmieszczenia przestrzennego statków, ale także od ich typu, prędkości poruszania się oraz warunków propagacji fal akustycznych, w tym charakterystyki dna morskiego (Klusek, 2015; Mustonen i in., 2019). Według Komisji OSPAR (komisja ustanowiona w ramach Konwencji o ochronie środowiska morskiego obszaru Północno-Wschodniego Atlantyku) hałas generowany przez transport morski można podzielić według rodzajów jednostek pływających:

- jednostki handlowe i statki turystyczne poniżej 50 m: 160–175 dB re 1μPa w odległości 1 m; częstotliwość < 1kHz – > 10 kHz;
- jednostki handlowe o średnim tonażu i długości między 50–100 m: 165–180 dB re 1μPa w odległości 1 m; częstotliwość < 1 kHz;
- duże jednostki powyżej 100 m; 180 – > 190 dB re 1 μPa w odległości 1 m; częstotliwość poniżej 200 Hz.

Dźwięki emitowane przez statki zaliczane są do tzw. hałasu ciągłego i oddziałują na organizmy przede wszystkim w sferze zmian behawioralnych i zakłóceń komunikacji między osobnikami. Szczegółowy pomiar hałasu podwodnego wytwarzanego m.in. przez statki w Morzu Bałtyckim przeprowadzono w 2014 r. w ramach międzynarodowego projektu BIAS (*Baltic Sea Information on the Acoustic Soundscape*), w ramach którego rozstawiono 38 boi pomiarowych rozmieszczonych na obszarze całego akwenu. W polskiej części morza znajdowało się 5 urządzeń pomiarowych. Wyniki projektu wskazały, że poziom hałasu przy głównych szlakach żeglugowych oscyluje na poziomie 100–130 dB re 1 μPa, natomiast poza szlakami na poziomie 60–100 dB re 1 μPa (Verfuß i in., 2015; Nikolopoulos i in., 2016, Mustonen i in., 2019) (Rys. 2). Największy hałas pochodzący od statków zarejestrowano na poziomie 190 dB re 1 μPa w odległości 1 m od źródła hałasu¹⁹. Uważa się, że przy obecnym wzroście aktywności żeglugi morskiej, poziom szumu niskoczęstotliwościowego tj. na częstotliwościach poniżej 500 Hz, będzie rósł średnio o 3,3 dB w ciągu dekady (Frisk, 2012).

Szczegółowy monitoring hałasu podwodnego generowanego przez żeglugę przeprowadzono także podczas prac związanych z układaniem gazociągu Nord Stream na niemieckich wodach Bałtyku w 2010 r. Wyniki tych badań wskazały średnie poziomy ciśnienia akustycznego wynoszące 112 dB re 1 μPa

w odległości 1 m od źródła hałasu dla szlaków żeglugowych oraz 102 dB re 1 μPa w odległości 1 m od źródła hałasu dla oddalonych części Zatoki Greifswaldzkiej i Zatoki Pomorskiej²⁰.

Do tej pory nie zostały określone wartości progowe dla hałasu podwodnego na poziomie europejskim, co wynika z braku wieloletnich statystyk dotyczących poziomu tego zanieczyszczenia oraz odmiennych warunków panujących w różnych obszarach morskich. W oparciu o pomiary wykonane w ramach projektu BIAS dla polskich obszarów morskich, zaproponowano 108 dB jako wartość progową dla hałasu ciągłego. Największe wartości poziomu ciągłego hałasu związanego z działalnością człowieka stwierdzono w Basenie Bornholmskim, wschodnim Basenie Gotlandzkim oraz Basenie Gdańskim (Tab. 1).

3.2.2. Detonacja broni konwencjonalnej

Morze Bałtyckie jest obszarem, gdzie w wyniku działań militarnych pozostały znaczne ilości zatopionej, leżącej na dnie broni konwencjonalnej. Szacuje się, że po 1945 r. w Bałtyku mogło znajdować się ponad 170 000 min, wśród których znaczną część stanowiły miny kontaktowe (NordStream 2, EIA raport, 2017). Jednocześnie przypuszcza się, że w dalszym ciągu pod powierzchnią wody może zalegać 500 tys. ton broni konwencjonalnej, wśród której znajdują się m.in. torpedy, pociski artyleryjskie, bomby głębinowe i lotnicze (Koschinski i Kock, 2009). Niewybuchy pozostawione na dnie mogą w dalszym ciągu zawierać materiał wybuchowy zdolny do eksplozji na skutek czynników mechanicznych, dlatego bardzo często w rejonach planowanych inwestycji oraz prac ingerujących w dno morskie, prowadzone są prace mające sprawdzić obecność pozostałości z okresu wojen, a w chwili ich zidentyfikowania często podejmowana jest decyzja o ich utylizacji. Przykładem takich działań były prace na odcinku gazociągu NordStream 2 w rejonie Zatoki Fińskiej, gdzie pomiary wskazały na obecność w bezpośrednim sąsiedztwie trasy inwestycji (z uwzględnieniem korytarza bezpieczeństwa o szerokości 70 metrów) 85 ładunków wybuchowych. Szczegółowe badania wskazały na obecność m.in. pocisków, bomb głębinowych, granatów oraz min, których masa materiału wybuchowego wahała się między 2 kg a 795 kg²¹.

Wpływ na poziom generowanego hałasu podczas detonacji materiałów wybuchowych ma szereg czynników, z których najistotniejszym jest wielkość ładunku (TNT). Pozostałe elementy, jak konstrukcja, wiek, pozycja czy stopień zagłębienia w osadach, mogą mieć wpływ na ostateczny wynik generowanego hałasu, ale są one bardzo trudne w ocenie. Ze względu na trudności w precyzyjnym określeniu poziomu hałasu wynikającego z detonacji ładunku, przyjmuje się w obliczeniach najgorszy scenariusz, zakładając, że detonowana amunicja nie jest zakopana, zdegradowana ani poddana żadnemu innemu znaczącemu czynnikowi, który mógłby wpłynąć na tłumienie hałasu podczas jej detonacji²². Z przeprowadzonych badań na Morzu Północnym wynika, że poziom ciśnienia akustycznego

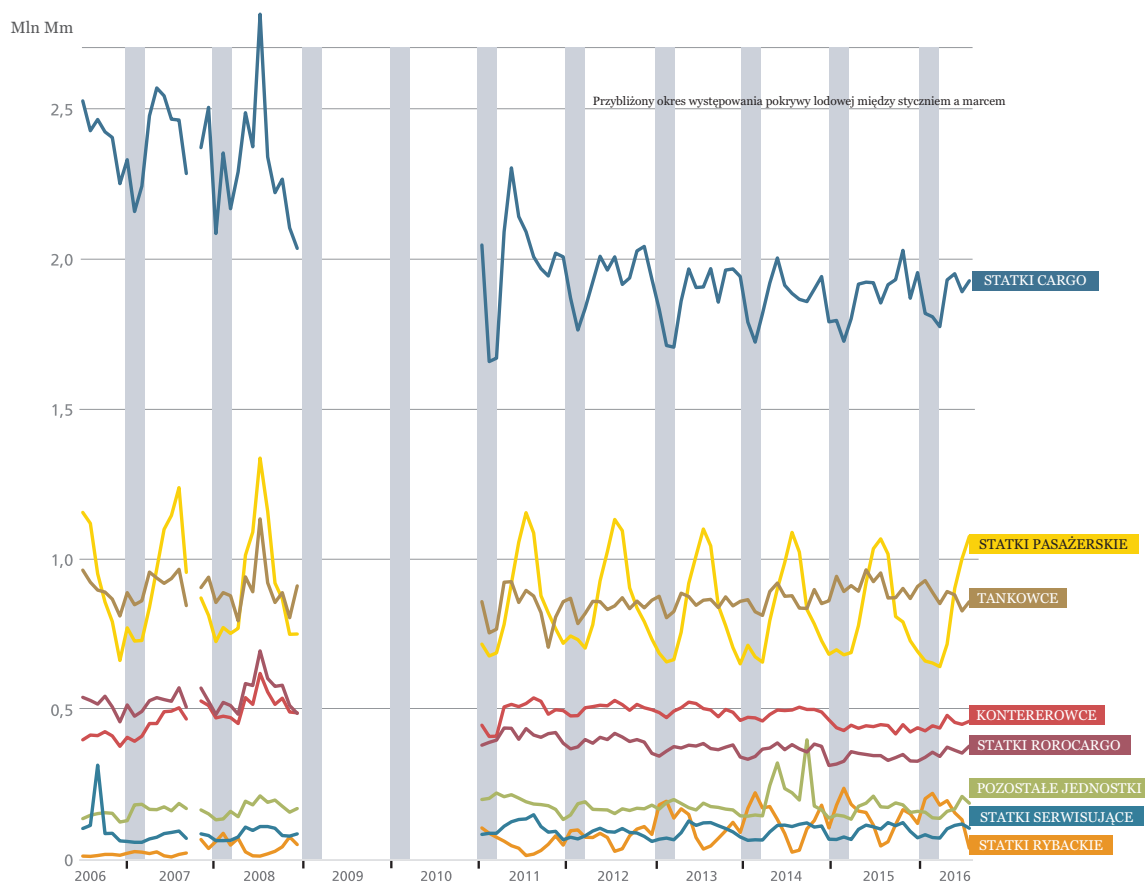
18 <http://maritimecongress.com/wp-content/uploads/2017/06/baltyk-na-swiatowej-mapie-zeglugi-morskiej.pdf>

19 <https://www.nord-stream2.com/media/documents/pdf/pl/2017/04/nsp2-espoo-report-pol.pdf>

20 <https://www.nord-stream2.com/media/documents/pdf/pl/2017/04/nsp2-espoo-report-pol.pdf>

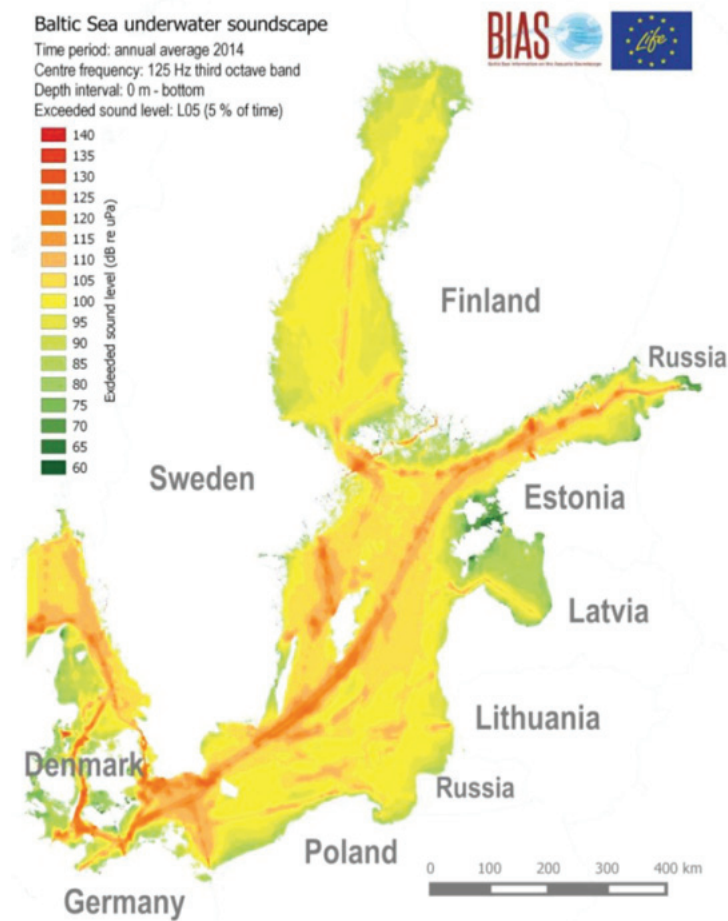
21 <https://www.nord-stream2.com/media/documents/pdf/fi/2018/11/w-pe-emo-pfi-rqu-892-rqu218fi-04-web.pdf>

22 <https://infrastructure.planninginspectorate.gov.uk/wp-content/ipc/uploads/projects/EN010079/EN010079-001535-Appendix%2005.04%20Underwater%20noise%20from%20UXO.pdf>



Źródło: HELCOM AIS

Rys. 1. Dystans pokonywany przez różnego typu jednostki na wodach Morza Bałtyckiego (HELCOM 2018)



Rys. 2. Mapa średniego rocznego poziomu hałasu podwodnego w Bałtyku zmierzonego w 2014 r. w ramach projektu BIAS. Pasma jednej trzeciej oktawy z częstotliwością środkową 125 Hz, przedział głębokości od 0 m do dna. Wyniki uzyskano za pomocą narzędzia planowania krajobrazu dźwiękowego BIAS, które opracowano w ramach projektu UE LIFE

Źródło: https://pdfs.semanticscholar.org/3c-8c/3ff4a20871e92d2fbdac9002d8b2a378acab.pdf?_ga=2.71699985.342204385.1577566360-1588091368.1571592823

Tab. 1. Proponowana ocena stanu środowiska odnośnie Cechy 11 – Hałas Podwodny (kryteria D11C2) dla Polskiej Wyłącznej Strefy Ekonomicznej w oparciu o dane z projektu BIAS i pomiarów monitoringowych

Obszar oceny	Oceniane kryterium	Wartość progowa	GES
Wschodni Basen Gotlandzki	D11C2	108 dB	Tak
Basen Bornholmski	D11C2	108 dB	Nie
Basen Gdański	D11C2	108 dB	Tak

Źródło: http://rdsm.gios.gov.pl/images/aktualizacja_wstepnej_oceny_stanu_srodowiska_wod_morskich.pdf

przy detonacji ładunku o masie 55 kg sięga 287,4 dB, natomiast przy ładunku 770 kg wartość ta osiąga 296,1 dB²³. Z kolei badania przeprowadzone na Morzu Bałtyckim w rejonie Litwy wykazały przy zdetonowaniu ładunku o masie 5,2 kg poziom ciśnienia akustycznego w granicach 271 dB, a przy ładunku 24 kg – 276 dB (Bagočius, 2013).

Dla oceny propagacji hałasu w czasie detonacji ładunków o różnej wielkości można przeprowadzić modelowanie, które umożliwia ocenę zasięgu oraz kierunek rozchodzenia się dźwięku (Rys. 3 i 4). Przy usuwaniu amunicji konwencjonalnej na rosyjskich i fińskich wodach Zatoki Fińskiej w ramach budowy gazociągu Nord Stream 2 wskazano, że poziomy hałas podwodny będą przekraczały wartości progowe hałasu związanego z tymczasową zmianą progu słyszalności dźwięków (TTS) wśród ssaków morskich w odległości do 26/60 km (średni/szczytowy poziom hałasu dla wód rosyjskich) oraz 26/44 dla wód fińskich (Tab. 2 i 3). Z kolei próg związany z trwałą zmianą progu słyszalności dźwięków (PTS) wśród ssaków morskich będzie przekroczony w odległości 5/23 km (średni/szczytowy

poziom hałasu) dla wód rosyjskich oraz 5/15 dla wód fińskich²⁴ (Tab. 2 i 3).

W polskich obszarach morskich średnio co roku prowadzi się od kilku do kilkunastu detonacji ładunków rocznie²⁵ (Tab. 4). W oparciu o zaktualizowaną wstępną ocenę stanu środowiska wód morskich wynika, że najczęściej rejestrowano eksplozje o średnim poziomie (2,1–20 kg TNT). W obszarze Basenu Gdańskiego i Bornholmskiego notowano także na przestrzeni lat 2011–2016 eksplozje o wysokim poziomie (21–210 kg TNT). W zachodniej części Basenu Bornholmskiego w latach 2011–2016 dokonano także wystrzału ładunków 500 kg TNT (33 razy) oraz 1000 kg TNT (5 razy)²⁶. W oparciu o literaturę określono dla pięciu typów eksplozji (niski – bardzo wysoki) poziom źródła energii wyrażony w dB re 1mPa. Maksymalne wartości przy detonacji ładunków powyżej 210 kg sięgały wartości 254,2 dB re 1mPa (Tab. 5).

²⁴ <https://www.nord-stream2.com/media/documents/pdf/fi-2018/11/w-pe-emo-pfi-rqu-892-rqu218fi-04-web.pdf>

²⁵ http://rdsm.gios.gov.pl/images/aktualizacja_wstepnej_oceny_stanu_srodowiska_wod_morskich.pdf

²⁶ http://rdsm.gios.gov.pl/images/aktualizacja_wstepnej_oceny_stanu_srodowiska_wod_morskich.pdf

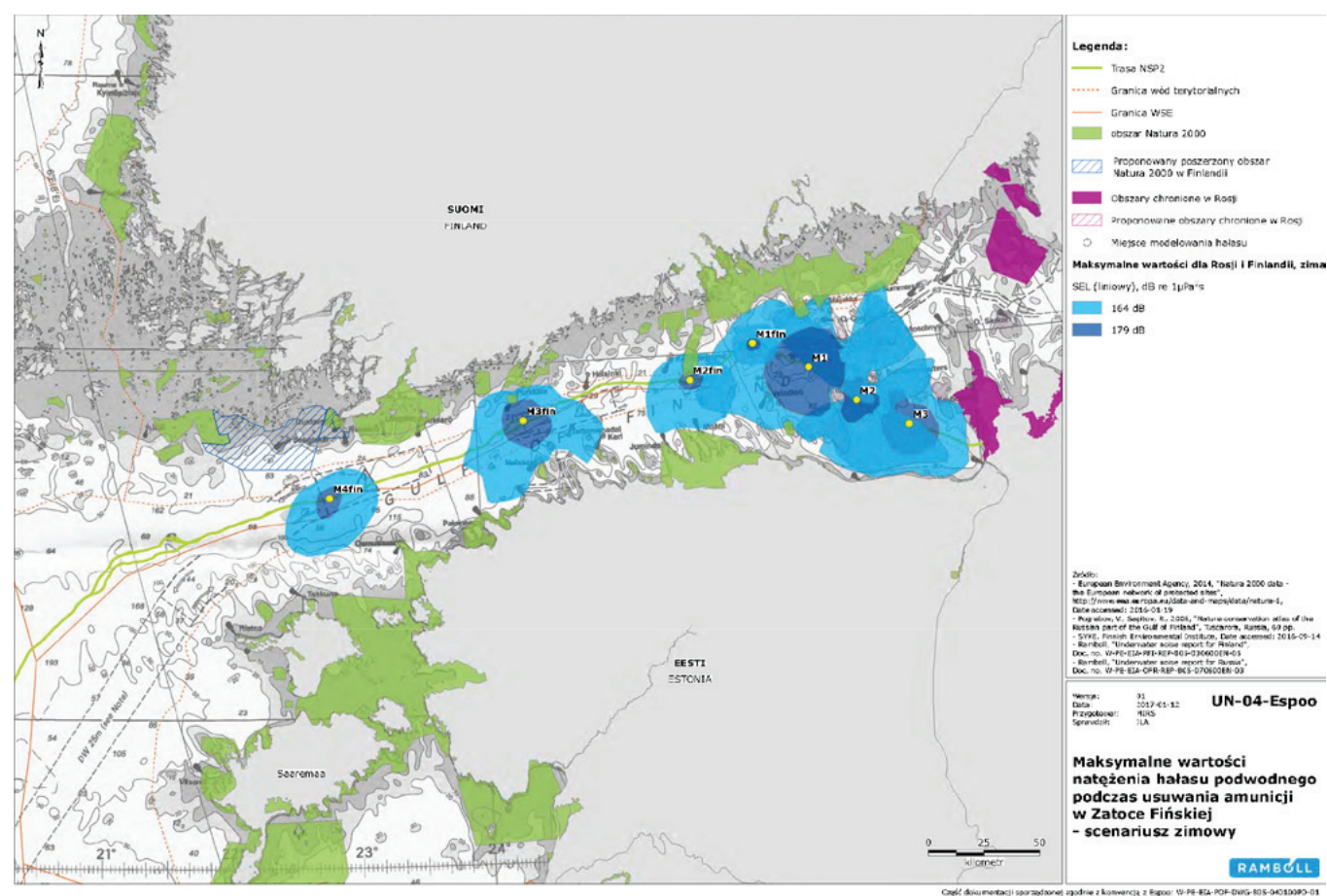
²³ <https://infrastructure.planninginspectorate.gov.uk/wp-content/ipc/uploads/projects/EN010079/EN010079-001535-Appendix%2005.04%20Underwater%20noise%20from%20UXO.pdf>

Tab. 2. Zakres oddziaływania propagacji hałasu podwodnego przy usuwaniu amunicji konwencjonalnej. Wartości hałasu są podane jako poziomy średnie w formie skumulowanego SEL (jedno zdarzenie) dB re 1μPa²s.

Wartość hałasu podczas usuwania amunicji	Kryteria	Wody rosyjskie	Wody fińskie
164 dB	Morświny TTS	13–26 km	15–26 km
179 dB	Morświny PTS	3–5 km	3,5–5 km

Tab. 3. Zakres oddziaływania propagacji hałasu podwodnego przy usuwaniu amunicji konwencjonalnej. Wartości hałasu są podane jako poziomy szczytowe w formie skumulowanego SEL (jedno zdarzenie) dB re 1μPa²s.

Wartość hałasu podczas usuwania amunicji	Kryteria	Wody rosyjskie	Wody fińskie
164 dB	Morświny TTS	55 - 60 km	15 - 44 km
179 dB	Morświny PTS	11 – 23 km	3,5 – 15 km



Rys. 3. Maksymalne wartości natężenia hałasu podwodnego podczas usuwania amunicji w Zatoce Fińskiej – scenariusz letni (mapa UN-03- raport Espoo Nord Stream 2)

Tab. 4. Proponowana ocena stanu środowiska dla cechy 11 – hałas podwodny (kryterium D11C1) w POM w oparciu o dane z zarejestrowanych eksplozji (źródło danych MON)

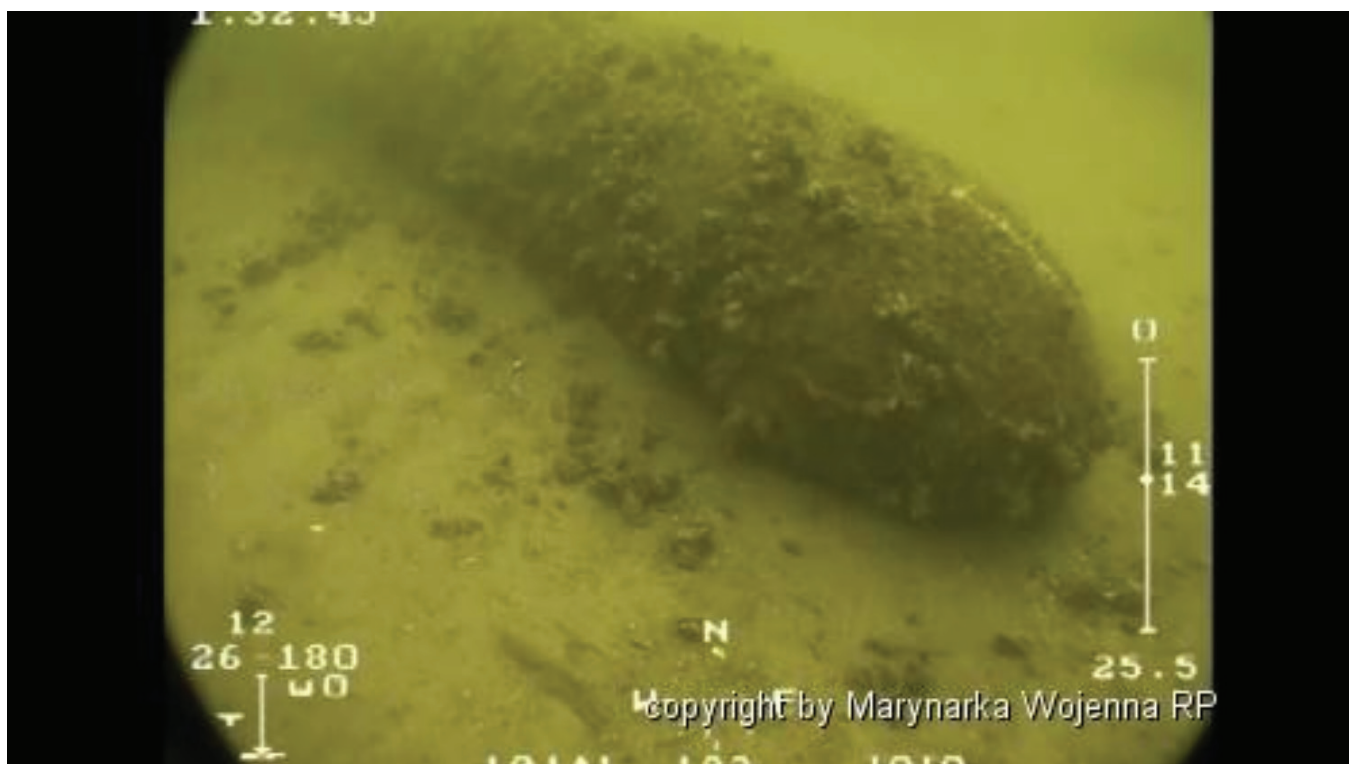
Obszar Oceny	Typ siły eksplozji	Czas trwania 2011–2016 [dni]	Średni czas występowania [dni/rok]	Średnia liczba eksplozji w roku w okresie 2011-2016 [eksplozje/dzień]	Wartość progowa	GES
Basen Gdański	Bardzo niski	0	0	0	1	tak
	Niski	6	1	0,25	1	tak
	Średni	89	14,8	1,5	1	nie
	Wysoki	45	7,5	0,6	1	tak
	Bardzo wysoki	0	0	0	1	tak
	Suma	140	23,5	2,35	1	nie
Basen Bornholmski	Bardzo niski	0	0	0	1	tak
	Niski	180	30	0,81	1	tak
	Średni	248	41,3	2,16	1	nie
	Wysoki	53	8,8	1,25	1	nie
	Bardzo wysoki	56	9,3	1	1	tak
	Suma	537	89,4	5,22	1	nie
Wschodni Basen Gotlandzki	Bardzo niski	0	0	0	1	tak
	Niski	0	0	0	1	tak
	Średni	0	0	0	1	tak
	Wysoki	0	0	0	1	tak
	Bardzo wysoki	0	0	0	1	tak
	Suma	0	0	0	1	tak

Źródło: http://rdsm.gios.gov.pl/images/aktualizacja_wstepnej_oceny_stanu_srodowiska_wod_morskich.pdf

Tab. 5. Zestawienie pięciu typów eksplozji z podaniem poziomów energii wybuchu dla sprecyzowanych zakresów ilości ładunku TNT oraz uwzględnieniem zakresów poziomu źródła energii wytwarzanego przy danym typie eksplozji. (źródło danych MON)

Typ eksplozji	Ilość ładunku [TNT]	Poziom energii wybuchu [MJ kg ⁻¹]	Poziom źródła energii (SL _e)
Bardzo małe eksplozje	8 – 210 g	0,008 – 0,210	210,3 – 224,4 dB
Małe eksplozje	210 g – 2,1 kg	0,210 – 2,1	224,4 – 234,2 dB
Średnie eksplozje	2,1 – 21 kg	2,1 – 21	234,2 – 244,4 dB
Silne eksplozje	21 - 210 kg	21 – 210	244,4 – 254,2 dB
Bardzo silne eksplozje	> 210 kg	> 210	> 254,2 dB

Źródło: http://rdsm.gios.gov.pl/images/aktualizacja_wstepnej_oceny_stanu_srodowiska_wod_morskich.pdf



Rys. 5. Detonacja ładunku w rejonie Zatoki Gdańskiej oraz przykład zatopionej na dnie torpedy z czasów II Wojny Światowej)

Źródło: <https://dziennikbaltycki.pl/detonacja-miny-w-zatoce-gdanskiej-zdjecia-wideo/ga/9326761/zd/16815632>
<http://www.gazetakaszubska.pl/33029/detonacja-torpedy-z-290-kg-ladunku-wybuchowego>

W oparciu o uzyskane wyniki zaproponowano dla dźwięków impulsowych w POM wartość progową na poziomie 1 dnia jako średnią liczbę ekspozycji w danym roku kalendarzowym. Przekroczenie tej wartości wiąże się z nieosiągnięciem dobrego stanu środowiska (Tab. 4).

Ze względu na wyjątkowo niską liczebność morświnów w Bałtyku oraz ich szczególną wrażliwość na to zanieczyszczenie, zaproponowaną wartość na poziomie 1 dnia w roku kalendarzowym należy uznać za niewystarczającą. Tego typu parametr powinien być wyrażony nie w dniach, a w poziomie ciśnienia akustycznego powstałego podczas detonacji, jako realnego zagrożenia dla tego gatunku.

3.2.3. Prace związane z układaniem kabli oraz gazociągów

Na różnych etapach układania kabli oraz gazociągów na dnie morza, obserwuje się emisję hałasu podwodnego, którego źródło związane jest m.in. z:

- układaniem materiału skalnego,
- wkopywaniem ułożonego gazociągu/kabli,
- układaniem gazociągu/kabli,
- przemieszczaniem kotwic przez jednostki biorące udział w pracach,
- ruchem statków realizujących budowę gazociągu lub układających kable,
- hałasem powstałym w czasie eksploatacji (dotyczy gazociągów).

Spośród ww. działań największy poziom hałasu generują te związane z wkopywaniem kabli oraz gazociągów w dno morskie oraz układanie materiału skalnego jako zabezpieczenie przed ewentualnym uszkodzeniem ze strony innych użytkowników, szczególnie w rejonach głównych szlaków żegludowych oraz rejonach wykorzystywanych intensywnie przez rybołówstwo (Raport OOS Baltic Pipe, 2019). Zabezpieczeniu podlega także infrastruktura zlokalizowana na płytkich wodach celem ochrony przed działaniem silnych prądów i falowania. Prace związane z ich zabezpieczeniem wiążą się głównie z wkopywaniem w dno morskie na głębokość pozwalającą znacząco obniżyć ryzyko uszkodzenia, bądź na obłożeniu ich materiałem skalnym (metoda używana głównie przy gazociągach) (Rys. 6). Przy pracach pogłębieniowych, w czasie których wykorzystywane są pługi lub dysze wodne służące do zakopywania gazociągu lub kabli, poziom źródła dźwięku może przyjmować maksymalną wartość 178 dB re 1 μ Pa/m w zakresie częstotliwości od 1 kHz do 15 kHz. Jednocześnie rejestruje się hałas generowany przez statki prowadzące prace na poziomie 155–170 dB re 1 μ Pa/m²⁷. Przy układaniu materiału skalnego, przekroczenie poziomów hałasu podwodnego, które mogłyby prowadzić do TTS, ograniczone jest do strefy 80 m wokół miejsca układania²⁸. Hałas generowany podczas ww. prac może prowadzić głównie do zmian behawioralnych u morświnów.

27 https://www.un.org/depts/los/consultative_process/icp19_presentations/2.Richard%20Hale.pdf

28 <https://www.nord-stream2.com/media/documents/pdf/fi-2018/11/w-pe-emo-pfi-rqu-892-rqu218fi-04-web.pdf>

3.2.4. Wbijanie fundamentów pod morskie elektrownie wiatrowe

Stawianie morskich elektrowni wiatrowych generuje hałas na różnych etapach budowy, natomiast największe jego źródło rejestruje się w czasie wbijania fundamentów w dno morskie. Do instalacji fundamentów typu monopal (najczęściej stosowany fundament elektrowni wiatrowych) wykorzystywany jest zazwyczaj młot udarowy lub hydrauliczny, który z odpowiednią siłą uderza w element konstrukcji wbijając go w dno morskie. Energia uderzenia młota waha się od 100 do 3500 kJ²⁹, a liczba uderzeń może wynieść nawet 40 na minutę (zastosowanie odpowiedniego młota związane jest przede wszystkim z rodzajem dna morskiego, ale także z parametrami fundamentu: średnicą, materiałem, z jakiego jest wykonany czy z wysokością). Źródło dźwięku podczas prac związanych z wbijaniem pali w dno morskie może przy podwojeniu energii uderzenia podnieść poziom ciśnienia akustycznego o 3 dB (Bellman, 2014). Pomiary hałasu podwodnego wykonane podczas prac związanych z wbijaniem fundamentów o średnicy od 0,9 do 5 metrów przy kilkunastu różnych inwestycjach wskazały, że w odległości 750 m od źródła hałasu poziom ekspozycji na dźwięk SEL dla jednego uderzenia może dochodzić do 180 dB re 1 μ Pa²s, a szczytowy poziom ciśnienia akustycznego SPL do 200 dB re 1 μ Pa przy pojedynczym uderzeniu (Andersson i in., 2016). Jednocześnie rejestrowano hałas w postaci szumu szerokopasmowego charakteryzującego się przewagą niskich częstotliwości między 100 a 1000 Hz.

3.2.5. Dźwięki generowane przez echosondy i sonary

W echosondach nawigacyjnych stosuje się najczęściej fale akustyczne z zakresu około 20–200 kHz. Coraz częściej można spotkać również urządzenia służące do dokładniejszego obrazowania dna działające w wyższych zakresach częstotliwości. W kontekście potencjalnego zagrożenia dla morświnów istotne są powszechnie wykorzystywane częstotliwości w zakresie do około 130 kHz, który to zakres pokrywa się z zakresem słyszalności tych zwierząt (Kastelein, 2002). Impulsowy charakter sygnałów generowanych przez echosondy może w większym stopniu wpływać na zachowania morświnów niż ciągłe sygnały o tym samym natężeniu (Kastelein i in., 2008). Najczęściej w żegludze nie ma potrzeby ciągłej pracy echosond nawigacyjnych w tym zakresie częstotliwości. Dostateczne informacje o głębokościach, zapewniających bezpieczeństwo żeglugi dostarczają echosondy i sonary wykorzystujące wyższe zakresy. Współczesne urządzenia tego typu często umożliwiają wybór częstotliwości pracy przetworników, co umożliwia wyłączenie niepożądanych częstotliwości.

3.2.6. Dźwięki generowane przez łodzie motorowodne

Intensywna turystyka motorowodna, w skład której wchodzi głównie szybki jednostki motorowodne, odpowiedzialna jest za generowanie hałasu na poziomie 130–160 dB re 1 μ Pa mierzonego w odległości 1 m od źródła hałasu. Poziom hałasu może się różnić o 20–40 dB w zależności od klasy jednostki,

29 <https://acteon.com/about-us/our-operating-companies/menck/>



materiału, z jakiego wykonany jest kadłub, rodzaju napędu czy w końcu prędkości poruszania się jednostki (Erbe i in., 2019). Głównym źródłem hałasu powstałego przez szybkie jednostki motorowodne jest napęd – śruba łodzi i powstałe w ich wyniku zjawisko kawitacji czyli tworzenia pęcherzyków powietrza pod wpływem zmniejszenia ciśnienia. Pęcherzyki powietrza, powstałe podczas obracania się śruby w wodzie, wibrują i zapadają się, wytwarzając ogólne spektrum szumów szerokopasmowych w zakresie od kilku Hz do ponad 100 kHz (Erbe i in., 2019 na podstawie Ross, 1967). Poruszanie się łodzi z dużą prędkością przyczynia się do większego spadku ciśnienia w obrębie śruby, a tym samym do wzrostu hałasu. Oddziały-

wanie hałasu w wodach płytkich jest dużo większe niż w wodach głębszych, gdyż rozchodzi się on wielokrotnie, oddziałuje z powierzchnią wody i dnem morskim oraz jest odbijany, rozpraszany i częściowo pochłaniany (Erbe i in., 2019). Wpływ turystyki motorowodnej na morświny jest istotny również ze względu na rejon, w którym prowadzone są te działania. Płytke wody przybrzeżne stanowią obszar żerowania, występowania i narodzin tych zwierząt. Zakłócenie spokoju w tym obszarze może prowadzić do szeregu reakcji behawioralnych począwszy od zmiany aktywności, problemy w czasie żerowania czy komunikacji międzypokoleniowej.



Rys. 6. Prace związane z układaniem gazociągu oraz układaniem kabli na dnie morza

Źródło: <https://www.nord-stream2.com/media-info/images/audacia-installs-the-pipeline-in-german-waters-688/>, <http://www.zandp.net/en/services/pipeline-and-cable-burial>, https://en.wikipedia.org/wiki/Stemat_Spirit.

4. Morświn – charakterystyka gatunku zamieszkującego Morze Bałtyckie

Morświn jest jedynym przedstawicielem waleni zamieszkującym Bałtyk. Jego zasięg geograficzny obejmuje przybrzeżne wody mórz i oceanów północnej półkuli. Preferuje płytkie wody zatok i estuaria. W rejonie północnego Atlantyku i mórz przyległych tworzy wiele separowanych genetycznie i geograficznie populacji, z czego trzy występują w rejonie Morza Bałtyckiego: jedna we wschodniej części Morza Północnego, w tym w cieśninie Skagerrak i północnej części cieśniny Kattegat, jedna w zachodnim Bałtyku, a trzecia w Bałtyku Właściwym (ASCOBANS, 2012).

Populacja z Bałtyku Właściwego została zaklasyfikowana w 2008 roku przez Międzynarodową Unię Ochrony Przyrody (IUCN) jako krytycznie zagrożona (CR), co jest najwyższą stosowaną kategorią zagrożenia, poprzedzającą bezpośrednio wyginięcie gatunku lub populacji w danym siedlisku. Powodem takiej klasyfikacji jest skrajnie niska liczebność morświnów w tym akwenie oraz jego genetyczna odrębność. W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat przeprowadzono szereg badań poświęconych określeniu liczebności populacji morświna w Bałtyku Właściwym. Pierwsze badania z 1995 r. wskazały na obecność



Rys. 7. Morświn (*Phocoena phocoena*)

Fot. Jerzy Abramowicz i Zbigniew Kegel

599 osobników (CI 95%: 200–3300 osobników) (Hiby i Lovell, 1996), kolejne w 2002 r. na 93 grupy morświnów (CI 95%: 10–460 osobników) (Berggren i in., 2004), a przeprowadzone w latach 2011–2012 r. badania po raz pierwszy wykorzystujące metodę podwodnego nasłuchu w ramach projektu SAMBAH dały rezultat około 500 osobników (CI 95%: 80–1091) (www.sambah.org). W projekcie tym wykorzystano na dużą skalę pasywny monitoring akustyczny za pomocą detektorów hydroakustycznych C-POD, które rejestrowały dźwięki emitowane przez te zwierzęta. Dzięki technice modelowania przestrzennego opracowano mapy sezonowego rozmieszczenia morświnów w Bałtyku, wskazujące rejony, w których okresowo przebywają różne populacje tych ssaków – populacja z Bałtyku Właściwego i z zachodniej części Morza. Uzyskane dane wskazały na prawdopodobną rozrodczą koncentrację morświnów w Bałtyku Właściwym w rejonie ławicy Środkowej. W polskich obszarach morskich morświny rejestrowano głównie w okresie zimowym: styczeń - kwiecień, ze znaczącą koncentracją w pobliżu środkowego wybrzeża (Rys. 8).

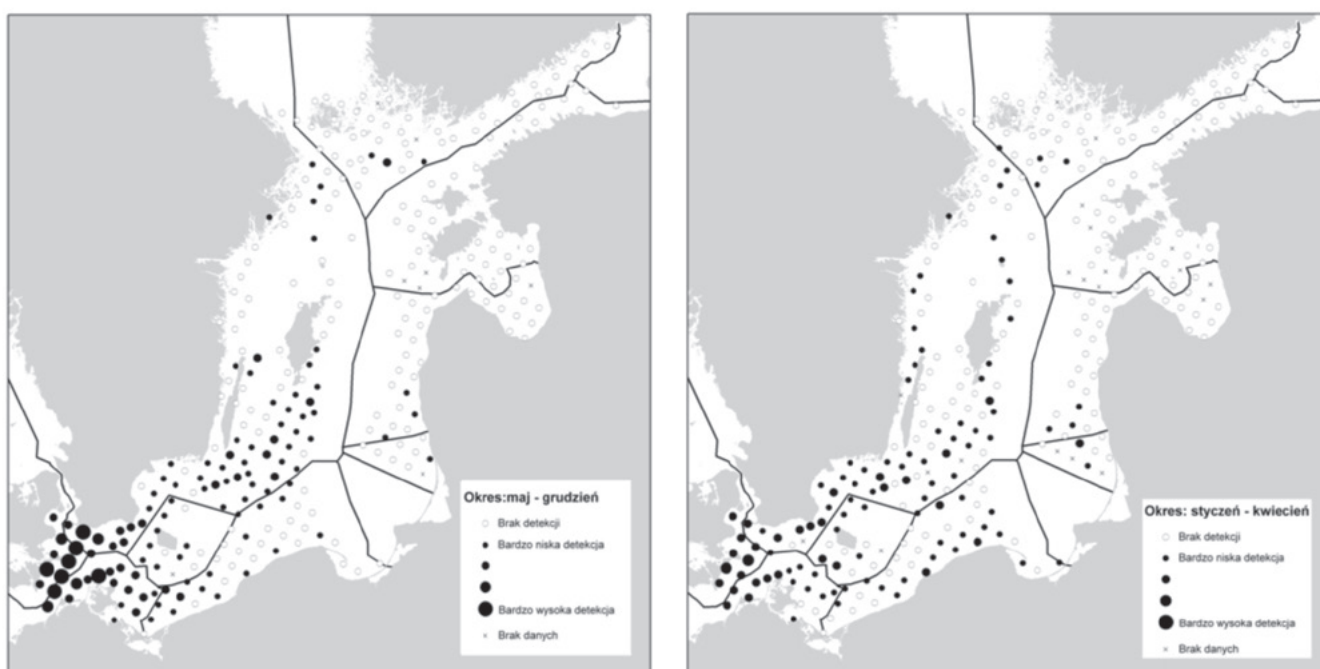
Utrzymująca się niska liczebność morświnów jest wynikiem wielu czynników wynikających w pierwszej kolejności z dużej presji ze strony człowieka na gatunek oraz siedlisko, ale także z uwarunkowań biologicznych gatunku. Średnia długość życia morświnów wynosi około 15 lat, przypuszcza się jednak, że większość zwierząt żyje maksymalnie 7–8 lat (Klinowska, 1991, Lockyer, 2003). W Bałtyku przeciętną długość życia tego gatunku szacuje się na 12 lat, a jedynie 5% populacji osiąga bardziej zaawansowany wiek (Koschinski, 2002). Zdolność do rozrodu morświny uzyskują około 4–5 roku życia, a do nardzin dochodzi po okresie ok. 11 miesięcy od maja do lipca (Lockyer i Kinze, 2003). Dodatkowo samice nie rodzą każdego roku. Laktacja trwa do 10 miesięcy, a młode mogą pozostać pod opieką matki nawet do czasu przyjścia na świat kolejnego potomstwa (Lockyer i Kinze, 2003). Ponad to morświny żyją

blisko brzegu i muszą mieć stały dostęp do pożywienia, a strefa przybrzeżna jest szczególnie obciążona hałasem podwodnym ze względu na znaczną aktywność człowieka w tym obszarze. Wszystkie te biologiczne parametry gatunku powodują, że przyrost naturalny populacji jest niewielki i każdy osobnik dojrzały do rozrodu jest ważny dla przeżycia bałtyckich morświnów.

W przypadku zagrożeń pochodzenia antropogenicznego za główne zagrożenie dla bałtyckiej populacji morświna uznaje się przyłów rybacki, czyli przypadkowy połów tych zwierząt w narzędzia połowowe (ASCOBANS, 2016). Jednocześnie coraz większą uwagę zwraca się na problem hałasu podwodnego, który wraz z rozwojem działalności człowieka na morzu zaczyna w coraz większym stopniu oddziaływać i zagrażać morświnom, tym bardziej, że oddziałuje na gatunek na wielu płaszczyznach.

4.1. Wpływ hałasu podwodnego na morświny

Morświny do orientacji w przestrzeni oraz poszukiwania pokarmu posługują się echolokacją. System generowania i odbierania dźwięków jest wyjątkowo czuły, co z jednej strony umożliwia precyzyjne lokalizowanie przeszkód oraz pokarmu, z drugiej jednak sprawia, że jest on bardzo wrażliwy na dźwięki pochodzące ze środowiska. Morświny emitują impulsy dźwiękowe o częstotliwości około 120–130 kHz, zwanych potocznie „klikami” (Richardson i in., 1995), które służą im również do komunikacji między osobnikami. Morświny słyszą dźwięki o częstotliwościach pomiędzy 16 kHz a 140 kHz, a największa czułość ich aparatu słuchu zawiera się zakresie od 100 kHz do 140 kHz (Veerbom i Kastelein, 1995). Szeroki zakres odbiera-



Rys. 8. Rozmieszczenie gęstości detekcji morświnów w ciepłej i zimnej porze roku na stacjach badawczych projektu SAMBAH

nych sygnałów akustycznych sprawia, że zwierzęta te są bardzo wrażliwe na występujące w środowisku dźwięki pochodzenia antropogenicznego. Nawet nieznaczny hałas ma wpływ na te zwierzęta, powodując płoszenie, wpływając na ich zachowanie, komunikację międzyosobniczą, zdolność polowania oraz rozpoznawania przeszkód. Intensywny hałas, zwłaszcza impulsywny, może powodować m.in. trwałe wypłoszenie z siedliska, utrudniony dostęp do pokarmu, utratę kontaktu samicy z karmionym mlekiem potomstwem, oddzielenie osobników od grupy, uszkodzenie aparatu słuchowego czy wręcz bezpośrednią śmierć. Zarówno hałas impulsywny, jak i długotrwale utrzymujący się hałas ciągły mogą wpływać i zagrażać przetrwaniu całej bałtyckiej populacji.

Prowadzone w zamkniętym ośrodku badania nad wpływem hałasu podwodnego na morświny, przy ekspozycji zwierząt na dźwięki o poziomie SEL poniżej 145 dB re 1μ Pa²s, nie wykazały u zwierząt żadnych reakcji behawioralnych. Jednak przy przekroczeniu tego poziomu okazywało się, że morświny objawiały typową reakcję behawioralną związaną z unikaniem źródła hałasu podczas ekspozycji na hałas. Zwierzę za każdym razem, kiedy było poddawane próbie, starało się unikać źródła emisji dźwięku. Morświn wykazywał również niechęć do zbliżania się do miejsca, z którego generowane były dźwięki podczas eksperymentów kontrolnych (Lucke i in., 2009).

Określony powyżej poziom hałasu jest zbliżony do tego, jaki generuje transport morski. Podczas obserwacji morświnów prowadzonych w miejscach narażenia na hałas pochodzący z jednostek okazało się, że zwierzęta wykazują szereg reakcji behawioralnych począwszy od zmiany aktywności związanej z nurkowaniem, po różnice w zachowaniu w czasie żerowania, a także różnice wynikające ze zmniejszenia zasięgu komunikacji między osobnikami (Dyndo i in. 2015, Wiśniewska i in., 2018). Utrzymujący się w środowisku hałas prowadzący do zakłóceń w żerowaniu tych zwierząt może doprowadzić do bardzo poważnych konsekwencji. Jednocześnie hałas może zakłócać dźwięki generowane przez morświny, w związku z czym zwierzęta te mogą mieć kłopot przy lokalizowaniu przeszkód np. sieci rybackich lub pokarmu. Zjawisko zakłócania naturalnej echolokacji i innych dźwięków używanych przez zwierzęta określa się mianem maskowania dźwięków.

Dużo poważniejsze konsekwencje, biorąc pod uwagę czas narażenia i efekt działania, niosą za sobą detonacja ładunków oraz prace przy wbijaniu fundamentów pod morskie elektrownie wiatrowe. Tego typu działania generują dużo wyższy poziom natężenia hałasu (więcej informacji znajduje się w rozdziałach 3.2.2 i 3.2.4), a tym samym mogą powodować u morświnów tymczasową lub trwałą zmianę progu słyszalności dźwięków.

5. Przegląd najważniejszych dokumentów regulujących kwestie emisji hałasu podwodnego w polskich obszarach morskich i jego wpływu na morskie zwierzęta

Kryteria oraz standardy metodologiczne w odniesieniu do hałasu podwodnego zostały ustanowione decyzją Komisji (UE) 2017/848 z dnia 17 maja 2017 r. (decyzja ustanawiająca kryteria i standardy metodologiczne dotyczące określania dobrego stanu środowiska wód morskich oraz specyfikacje i ujednolicone metody monitorowania i oceny). Zgodnie z wytycznymi dla wskaźnika 11, wprowadzenie energii, w tym hałasu podwodnego do środowiska morskiego, powinno utrzymywać się na takim poziomie, który nie spowoduje negatywnego wpływu na środowisko. Kryteria wraz ze standardami metodologicznymi przygotowano dla dwóch elementów: dźwięku impulsowego w wodzie związanego z działalnością człowieka (D11C1) oraz dźwięku ciągłego o niskiej częstotliwości w wodzie związanego z działalnością człowieka (D11C2) (Tab. 6).

Zgodnie z decyzją Komisji (UE) 2017/848, podawane są wytyczne dla monitorowania oby wskaźników:

1. dla D11C1 (dźwięk impulsowy):

- a) *rozdzielczość przestrzenna: lokalizacje geograficzne, których kształt i obszary są ustalane na poziomie regionalnym lub podregionalnym, na podstawie na przykład działań wymienionych w załączniku III do dyrektywy 2008/56/WE*
- b) *dźwięk impulsowy opisany jako poziom źródła energii monopolu w jednostkach dB re 1μPa² lub poziom źródła monopolu o maksymalnym wychyleniu od zera do wartości szczytowej w jednostkach dB re 1μPa m, oba powyżej pasma częstotliwości 10 Hz do 10 kHz. Państwa członkowskie mogą uwzględnić inne konkretne źródła o wyższej częstotliwości pasm, jeśli ich długofalowe skutki są uznawane za istotne.*

2. Dla D11C2 (dźwięk ciągły o niskiej częstotliwości):

Średnia roczna lub inne odpowiednie wskaźniki uzgodnione na poziomie regionalnym lub podregionalnym, wyrównanego poziomu ciśnienia akustycznego w każdym z dwóch „pasm 1/3 oktaowych”, jedno ustawione na paśmie 63 Hz, a drugie na paśmie 125 Hz, wyrażone jako poziom w decybelach w jednostkach dB re 1 μPa przy odpowiednim rozkładzie przestrzennym w stosunku do ciśnienia. Może to być zmierzone bezpośrednio lub zostać wywnioskowane z modelu zastosowanego do interpolacji między pomiarami lub ekstrapolacji pomiarów. Państwa członkowskie mogą również zdecydować się na poziomie regionalnym lub podregionalnym na monitorowanie dodatkowych pasm częstotliwości.

W polskich obszarach morskich opis stanu środowiska w odniesieniu do dźwięków impulsowych został określony na podstawie danych z detonacji ładunków w latach 2011-2016 pozyskanych z Ministerstwa Obrony Narodowej, natomiast dla dźwięków ciągłych wykorzystano wyniki projektu BIAS. W przypadku dźwięków impulsowych zaproponowano w wartość progową na poziomie 1 jako średniej liczby eksplozji w roku kalendarzowym w przeliczeniu na jeden dzień (szczegółowy opis w rozdziale 3.2.2). Z kolei dla dźwięku ciągłego o niskiej częstotliwości zaproponowano wartość progową na poziomie 108 dB (szczegółowy opis w rozdziale 3.2.1).

Zgodnie z Krajowym programem ochrony wód morskich (KPOWM) sugeruje się opracowanie rejestru hałasu dźwięków impulsowych oraz ciągłych zgodnie z zaleceniami Unii Europejskiej opisanymi w przewodniku do monitorowania hałasu podwodnego. Wskazuje się na potrzebę pozyskiwania danych

Tab. 6. Kryteria oraz standardy metodologiczne dotyczące jakości określania dobrego stanu środowiska dla wskaźnika 11

Elementy kryteriów	Kryteria	Standardy metodologiczne
Dźwięk impulsowy w wodzie związany z działalnością człowieka	D11C1 – podstawowe: Rozmieszczenie przestrzenne, zakres czasowy i poziomy dźwięku impulsowego w wodzie związanego z działalnością człowieka nie osiągają poziomów mających negatywny wpływ na populacje zwierząt morskich. Państwa członkowskie ustalają wartości progowe dla tych poziomów poprzez współpracę na szczeblu unijnym, z uwzględnieniem specyfiki regionalnej lub podregionalnej.	Skala oceny: Region, podregion lub podrejon Zastosowanie kryteriów: Zakres, w jakim osiągnięto dobry stan środowiska dla każdego ocenianego obszaru podaje się w następujący sposób: a) dla D11C1 czas trwania w roku kalendarzowym emisji dźwięku impulsowego ze źródeł, ich rozłożenie w ciągu roku i rozkład przestrzenny na ocenianym obszarze oraz czy ustalone wartości progowe zostały osiągnięte; b) dla D11C2 średni roczny poziom dźwięku lub innych odpowiednich wskaźników czasowych uzgodnionych na poziomie regionalnym lub podregionalnym, na jednostkę powierzchni i ich rozłożenie przestrzenne na ocenianym obszarze oraz zasięg (% , km²) ocenianego obszaru, na którym ustalone wartości progowe zostały osiągnięte. Stosowanie kryteriów D11C1 i D11C2 do oceny dobrego stanu środowiska dla cechy 11 jest uzgadniane na poziomie unijnym. Wyniki dla tych kryteriów wnoszą również wkład do ocen w ramach cechy 1.
Ciągły dźwięk o niskiej częstotliwości w wodzie związany z działalnością człowieka	D11C2 – podstawowe: Rozmieszczenie przestrzenne, zakres czasowy i poziomy ciągłych dźwięków o niskiej częstotliwości w wodzie związanych z działalnością człowieka nie osiągają poziomów mających negatywny wpływ na populacje zwierząt morskich. Państwa członkowskie ustalają wartości progowe dla tych poziomów poprzez współpracę na szczeblu unijnym, z uwzględnieniem specyfiki regionalnej lub podregionalnej.	

przez okres kilku lat i przygotowania informacji o liczbie dni w skali roku dla danej strefy, gdzie generowany był dźwięk o charakterze impulsowym. Podkreśla się jednocześnie, by rejestr obejmował całą polską wyłączną strefę ekonomiczną. Dla dźwięków o charakterze ciągłym w dokumencie wskazuje się na potrzebę systematycznego mapowania tła akustycznego z wykorzystaniem np. wyników projektu BIAS lub innych źródeł. Prace związane z mapowaniem dźwięków ciągłych powinny obejmować ocenę wartości wyjściowych w odniesieniu do hałasu podwodnego.

Wytyczne odnośnie monitoringu hałasu podwodnego w POM, generowanego w czasie prac związanych z wbijaniem fundamentów elektrowni wiatrowych w dno morskie, opierają się na niemieckich wytycznych dla oceny oddziaływania na środowisko morskich farm wiatrowych (MFW). W dokumencie pn. „*Measuring instruction for underwater sound monitoring*” opracowanego przez Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) w 2011 roku wskazuje się m.in. na wartość progową SEL na poziomie 160 dB re 1μPa²s mierzona w odległości 750 m od źródła hałasu związanego z instalacją fundamentów MEW.

W oparciu o ww. dokument Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska opracowała wytyczne na potrzeby planowanej budowy farmy wiatrowej Bałtyk Środkowy III, w tym listę wy-

mogów i obowiązków spoczywających na inwestorze w związku z planowanymi pracami, zawartej w decyzji dla inwestora (RDOŚ-Gd-WOO.4211.12.2015.KP.22) z 7 lipca 2016 roku. Wśród wytycznych wskazuje się na konieczność prowadzenia pomiarów hałasu w okresie wykonywania intensywnych prac np. związanych z wbijaniem fundamentów w dno morskie. Na etapie budowy proponuje się użycie co najmniej trzech detektorów (C-POD) rejestrujących dźwięki emitowane przez morświny. Zaleca się, by umieścić je w tych samych miejscach, co podczas monitoringu przedinwestycyjnego. Dodatkowo należy zainstalować 3 urządzenia C-POD na dwóch różnych głębokościach referencyjnych, zlokalizowanych przynajmniej 20 km od źródła oddziaływania (tj. w zasięgu reakcji behawioralnej na wbijanie fundamentów). Pomiary hałasu podwodnego należy wykonać przy pomocy urządzeń o zakresie rejestrowanych częstotliwości 10 - 20 kHz, w odległości 750 m i 5 000 m od źródła hałasu oraz w najbliższym obszarze chronionym. Pomiary hałasu podwodnego podczas budowy powinny być prowadzone w trakcie palowania, w regularnych odstępach czasowych. Dodatkowo należy wykonywać pomiary poza terenem planowanej MFW, w odległości 1km i 5 km od MFW. Z kolei pomiar hałasu emitowanego przez pracujące elektrownie wiatrowe powinny być przeprowadzone jednokrotnie, dla 3 różnych stanów morza - 2, 4 i 6 Bft.

6. Przegląd dostępnych metod i technologii minimalizujących negatywny wpływ podwodnego hałasu na morświny, mogących mieć zastosowanie w warunkach Morza Bałtyckiego

W związku z silnym rozwojem transportu morskiego oraz coraz większą liczbą inwestycji prowadzonych na morzu, w czasie których generowany jest hałas podwodny (budowa morskich elektrowni wiatrowych, budowa gazociągów na dnie mórz i oceanów), zaczęto przykładać większą wagę do metod i technologii minimalizujących wpływ tego zanieczyszczenia na organizmy morskie. Na przestrzeni ostatnich lat widać szczególnie rozwój technologii, które pozwalają skutecznie przeciwdziałać temu zagrożeniu. Jednocześnie zaczęto pracować nad stworzeniem wytycznych, które będą regulować negatywny wpływ tych działań na środowisko naturalne.

6.1. Metody minimalizowania hałasu generowanego przez transport morski

Głównym źródłem hałasu podwodnego generowanego przez transport morski są silniki oraz śruby statków. Rozwój nowych technologii związanych z jednostkami napędowymi oraz wirnikami umożliwia skutecznie ograniczać hałas. Wśród tego typu rozwiązań są napędy spalinowo-elektryczne, w których silniki spalinowe napędzają generatory prądu, którym zasilane są silniki elektryczne napędzające śruby. Niższym poziomem hałasu i wibracji cechują się także napędy podwieszane oraz silniki elektryczne, które jednocześnie cechują się niższym zużyciem paliwa¹⁵.

Biorąc pod uwagę to, że na intensywność oraz propagację hałasu w środowisku naturalnym ma wpływ wiele czynników, od temperatury i zasolenia po głębokość akwenu, ustalenie limi-

tów generowania hałasu przez statki jest wręcz niemożliwe. Do najprostszych sposobów redukcji hałasu przez transport morski można zaliczyć: ograniczenie prędkości, unikanie gwałtownego przyspieszania, regularne usuwanie zanieczyszczeń z kadłuba i śruby okrętowej oraz stosowanie odpowiednich powłok ochronnych na kadłub, celem zmniejszenia oporu i poprawy efektywności energetycznej jednostki¹⁶.

6.2. Metody minimalizowania hałasu generowanego podczas detonacji ładunków

Detonacja broni konwencjonalnej w środowisku morskim powinna być prowadzona w ostateczności. Zaleca się wydobycie amunicji i przetransportowanie jej na lądowy poligon wojskowy, gdzie będzie można ją bezpiecznie zdetonować. Również tam, gdzie jest to możliwe rekomenduje się zmianę przebiegu trasy inwestycji po to by ograniczyć oddziaływanie hałasu podwodnego na organizmy morskie.

Wśród podstawowych metod minimalizowania hałasu w czasie detonacji broni konwencjonalnej jest stosowanie kurtyn powietrznych, które otaczają źródło hałasu uniemożliwiając jego rozprzestrzenianie na większe odległości (więcej o tej metodzie w rozdziale 6.4.1). W 2018 r. użyto tej techniki przy zmniejszeniu emisji hałasu podwodnego w czasie detonacji wybranych ładunków zlokalizowanych na trasie gazociągu NordStream 2 w Zatoce Fińskiej. Innym rozwiązaniem jest zamrożenie pocisku w środowisku, a następnie jego wyciągnięcie

15 <https://new.abb.com/pl/o-nas/technologie/technologie-abb-ktore-zmienily-swiat/naped-dla-statkow>

16 <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Documents/833%20Guidance%20on%20reducing%20underwater%20noise%20from%20commercial%20shipping%2C.pdf>

i przetransportowanie na poligon (Koschinski i Kock 2009). Proponuje się również stosowanie odstraszaczy fok (seal scarer) jako metody płoszenia morświnów. Należy jednak zaznaczyć, że hałas emitowany przez te urządzenia może przyczynić się do wystąpienia u morświnów tymczasowego ubytku słuchu (TTS), dlatego też w rejonie Bałtyku, gdzie występuje krytycznie zagrożona populacja tego gatunku, odradza się stosowanie tej metody.

Wśród metod stosowanych przez Polską Marynarkę Wojenną zgodnie z decyzją Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska (decyzja nr. RDOŚ-Gd-WZG.6401.176.2018.AB.2) dotyczącej umyślnego płoszenia i niepokojenia m.in. ssaków morskich w czasie prowadzenia detonacji broni konwencjonalnej, znajduje się szereg działań związanych z minimalizowaniem wpływ detonacji i hałasu podwodnego na tę grupę organizmów. Wśród zaleceń znajduje się m.in.:

- użycie 4 szybkich łodzi motorowych, zataczających koła, koncentrycznie od środka rejonu płoszenia,
- przejście przez rejon płoszenia 2 jednostek pływających w włączonych urządzeniach echolokacyjnych,
- użycie ładunków podwodnych trotylu o masie nie przekraczającej 20 g, z częstotliwością co 10 minut, przez cały czas przeprowadzania akcji.

Do innych, pośrednich metod należy zaliczyć udział obserwatorów, którzy w chwili zaobserwowania ssaka morskiego zobowiązani są do powiadomienia o tym dowództwo, które z kolei wstrzymuje dalsze działania związane z detonacją ładunku oraz prowadzenie monitoringu z wykorzystaniem detektorów hydroakustycznych przed i po przeprowadzeniu detonacji.

6.3. Metody minimalizowania hałasu generowanego podczas prac związanych z układaniem kabli i gazociągów

Jednym ze sposobów ograniczenia hałasu w czasie prac związanych z układaniem kabli oraz gazociągów na dnie morza jest ograniczenie tych działań do rejonów, gdzie istnieje konieczność prowadzenia tego typu prac np. strefa płytkowodna, rejon wysokiej aktywności floty rybackiej czy żeglugi morskiej. Tam, gdzie jest to możliwe należy zastąpić wkopywanie lub układanie materiału skalnego, innymi metodami nie generującymi hałasu podwodnego np. betonowymi matami (Rys. 9) (Taormina i in. 2018).



Rys. 9. Mata betonowa zabezpieczająca kabel (Taormina i in. 2018)

6.4. Metody minimalizowania hałasu generowanego podczas budowy morskich elektrowni wiatrowych

Dla morskich farm wiatrowych jako pierwsi wytyczne związane z monitoringiem akustycznym opracowali Niemcy (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, 2011), którzy wskazywali, że emisja hałasu (SEL) podczas wbijania fundamentów morskich elektrowni wiatrowych nie może przekraczać 160 dB (re 1 μ Pa) w odległości 750 metrów od źródła hałasu. W związku z brakiem polskich wytycznych w tej dziedzinie, Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska zaleca inwestorom, by monitoring akustyczny prowadzić zgodnie z niemieckimi wytycznymi dla oceny oddziaływania na środowisko dla MFW. Dlatego też, aby sprostać tym wymogom i uniknąć negatywnego oddziaływania hałasu na zwierzęta, opracowano szereg rozwiązań mających na celu minimalizowanie oddziaływania tego czynnika.

Metody minimalizowania hałasu podczas wbijania fundamentów w dno morskie zostały dla tego sektora podzielone na dwie kategorie: pierwotne i wtórne. Do systemów pierwotnych zaliczamy metody związane z modyfikacją młota, tak by niwelować emitowany hałas u źródła. Z kolei system wtórny obejmuje techniki, które ograniczają propagację dźwięku generowanego w czasie wbijania fundamentów w dno morskie (Verfuss i in., 2019). Wśród technik, które znalazły już zastosowanie w minimalizowaniu oddziaływania hałasu podwodnego bądź są na etapie wdrażania lub testowania, można zaliczyć:

- kurtyny powietrzne,
- osłony izolacyjne,
- HSD (*Hydro Sound Dampers*),
- osłona „BEKA” (*BEKA Jacket*),
- koferdamy/Groble (*cofferdams*),
- nasada na młot,
- technika wibro-palowania.

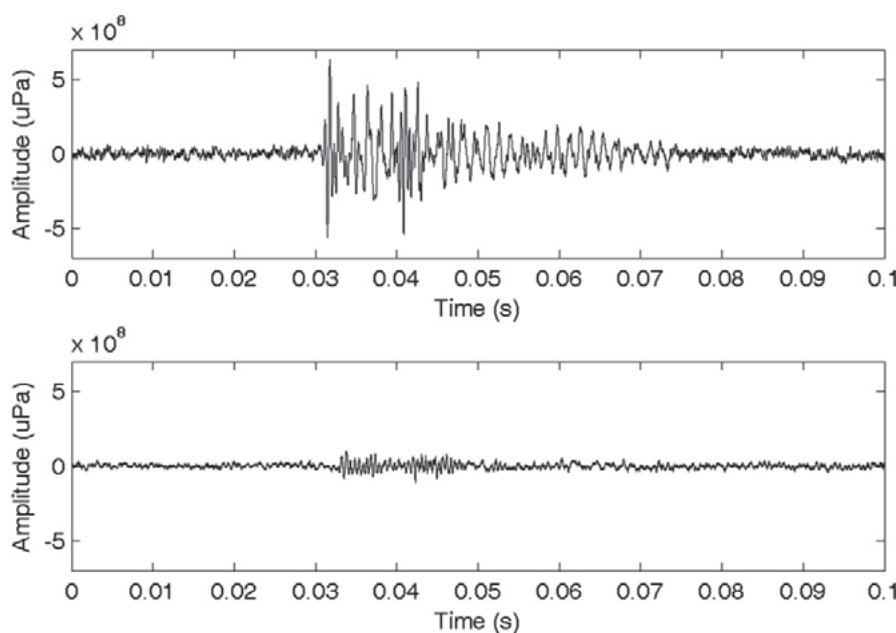
6.4.1. Kurtyna powietrzna (bubble curtains)

Kurtyna powietrzna jest pierwszym, wykorzystywanym na tak dużą skalę systemem minimalizującym negatywny wpływ hałasu podwodnego na organizmy morskie, w tym morświny. Kurtynę tworzą powstałe w wyniku tłoczenia powietrza do perforowanej rury, pęcherzyki powietrza (Rys. 11). W ten sposób powstaje zasłona składająca się z setek tysięcy pęcherzyków, które otaczają źródło hałasu, zmniejszając jego rozprzestrzenianie (Rys. 10). Dodatkowo efektywność zasłony można regulować i dopasowywać do zakresu emitowanego hałasu poprzez zmianę wielkości powstałych pęcherzyków oraz ich ilości. Przy wbijaniu fundamentów MEW w dno morskie kurtyna powietrzna jest w stanie zredukować emisję hałasu na poziomie 5–18 dB w zależności od ilości i rozmiaru kurtyn (Andersson i in. 2016).

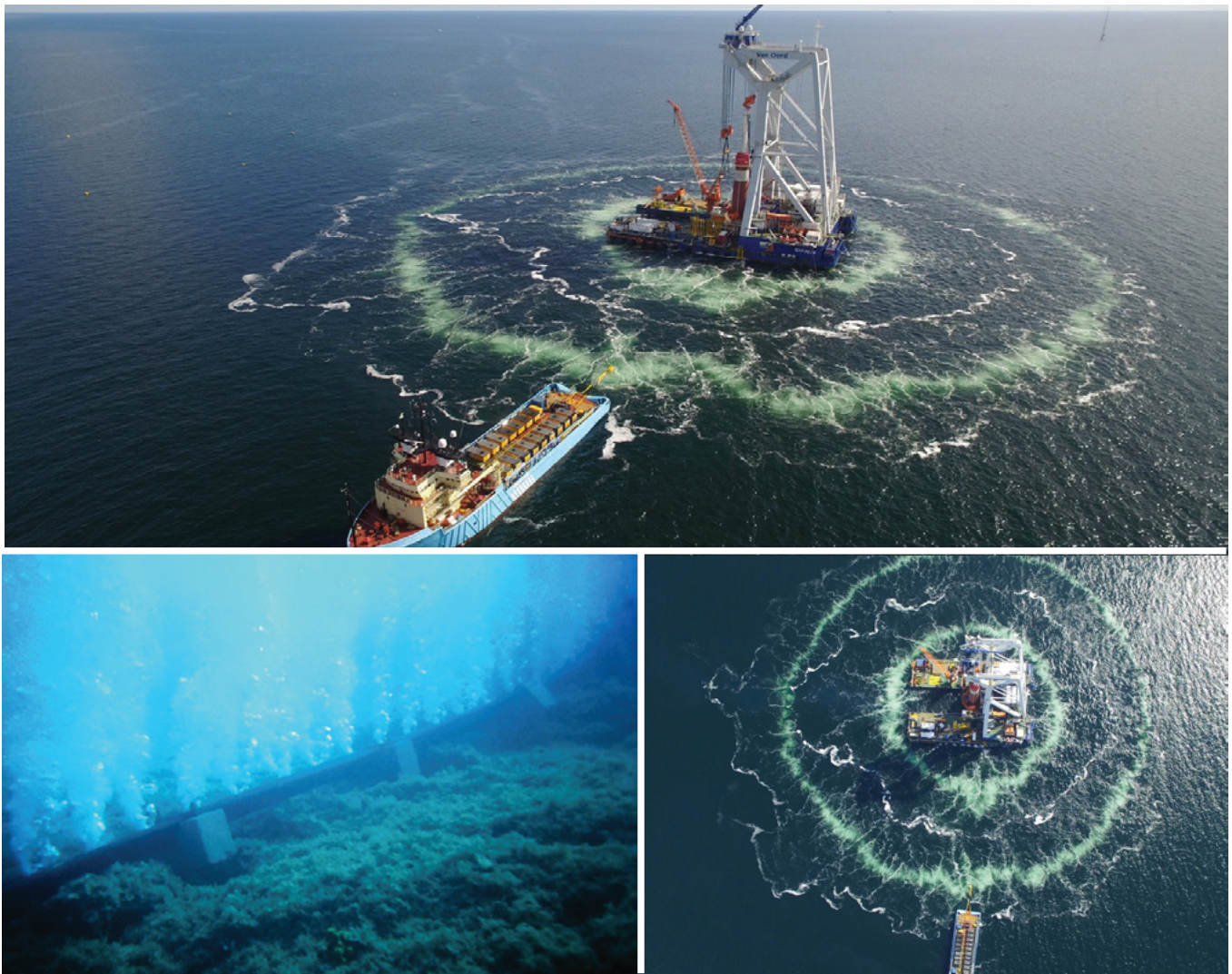
Ze względu na liczbę użytych kurtyn można je podzielić na kilka kategorii:

- **duże kurtyny powietrzne (BBC)** – otaczają cały obszar, w którym prowadzone są prace, łącznie ze statkiem dzięki czemu tłumiony jest hałas w obrębie całej operacji. Dla zwiększenia efektu tłumienia hałasu można stosować podwójne duże kurtyny powietrzne (DBBC),
- **małe kurtyny powietrzne (SBC)** – otaczają jedynie fundament, a tym samym tłumią hałas generowany jedynie w obrębie palowania.

Na podstawie przeprowadzonych badań wskazano, że maksymalne poziomy hałas podczas wbijania pali o średnicy 2,4 m. z energią uderzenia rzędu 800 kJ w dno morskie w odległości 750 m od źródła hałasu, odnotowywane są dla częstotliwości 100 Hz i 400 Hz. Przy wartościach częstotliwości < 100 Hz i > 400 Hz poziom hałasu małał. Najwyższą redukcję poziomu hałasu obserwowano przy kurtynie, do której wtłaczano powietrze o objętości 0,32 m³/min*m. Kurtyna umożliwiała również redukcję szumów w zakresie częstotliwości od 80 Hz do 1,6 kHz. Przy wyższych wartościach różnice nieznacznie malały, prawdopodobnie w związku z niskim poziomem hałasu w tym zakresie częstotliwości (Bellman 2014).



Rys. 10. Porównanie amplitudy ciśnienia akustycznego podczas wbijania fundamentu MEW w dno morskie wewnątrz i na zewnątrz kurtyny powietrznej (Lucke 2011).



Rys. 11. System kurtyny powietrznej podczas instalowania fundamentów morskiej elektrowni wiatrowej

Źródło: <https://www.vanoord.com>, www.upload.wikimedia.org



Rys. 12. Przykład systemu IHC-NMS podczas prac na morzu

Źródło: <https://www.royalihc.com/>



Rys. 13. System skorupy BEKA stosowany podczas prac na morzu

Źródło: www.weyres-offshore.de.



Rys. 14. Osłona HydroNas

Źródło: <http://www.w3gmarine.com/>



Rys. 15. Oslona HSD (Hydro Sound Dampers)

Źródło: <https://www.windpowerengineering.com/adbm-noise-mitigation-system-successfully-tested-for-offshore-wind/>, <https://www.offnoise-solutions.com/the-hydro-sound-damper-system-hsd-system/>

6.4.2. Osłony izolacyjne (isolation casings)

Osłony izolacyjne przyczyniają się do zatrzymywania dźwięków emitowanych w czasie palowania wewnątrz obudowy, która wykonana jest z różnych materiałów: twardych (stalowych), elastycznych (materiałowych) lub różnych ich kombinacji. Przewagą osłon izolacyjnych w stosunku do kurtyn powietrznych jest zdecydowanie mniejszy wpływ lokalnych warunków środowiskowych na efektywność tłumienia hałasu np. prądy morskie.

Obecnie stosuje się lub testuje kilka systemów osłon izolacyjnych:

6.4.2.1. Osłona IHC-NMS

Osłona IHC-NMS składa się z izolowanej akustycznie dwuściennej obudowy wykonanej ze stali, której przestrzeń wypełniona jest powietrzem (Rys. 12). Dodatkowo między obudową a fundamentem zainstalowana jest podwójna kurtyna powietrzna, będąca dodatkową barierą absorbującą dźwięki. Prowadzone pomiary *in situ* wskazują na możliwość tłumienia emitowanych dźwięków o 15 dB, z kolei testy przeprowadzone w laboratoriach wskazują na możliwość redukcji hałasu nawet o 20 dB. System ten jest najczęściej stosowanym z pośród osłon izolacyjnych przy komercyjnych projektach farm wiatrowych.

6.4.2.2. Skorupa „BEKA” (BEKA shell)

Osłona składa się z kilku warstw osłon wykonanych z materiałów pochłaniających dźwięki, jak również korpusów stalowych oraz kołnierzy wodnych wypełnionych pęcherzykami powietrza. Konstrukcja taka umożliwia redukcję hałasu o 16-20 dB. W związku z tym, że osłona składa się z dwóch identycznych połówek, transport całej konstrukcji jest dużo prostszy niż w przypadku osłon składających się z jednej części (Rys. 13). Montaż osłony polega na nałożeniu jej na fundament przed jego instalacją. Modułowa budowa osłony umożliwia stosowanie jej przy różnych głębokościach¹⁷.

6.4.2.3. Osłona HydroNAS

W odróżnieniu od poprzednich osłon, HydroNAS wykonana jest z lekkiego, nadmuchiwanego materiału, który tworzy osłonę wokół fundamentu od dna morskiego aż po powierzchnię (Rys. 14). Po napompowaniu, osłona tworzy panel powietrza o stałej objętości, który utrzymuje określoną strukturę pod wodą. Dużą zaletą osłony HydroNAS jest możliwość jej dopasowania do instalowanego fundamentu. Redukcja hałasu sięga 24 dB SEL (www.w3gmarine.com)

6.4.2.4. Osłona HSD (Hydro Sound Dampers)

System HSD stanowi kombinację osłon wykonanych z materiałów twardych i miękkich. Osłona, ograniczająca powstały w czasie prac hałas, zbudowana jest z sieci z wbudowanymi elementami HSD tłumiącymi dźwięki, a całość schowana jest w stalowych koszach, odpowiedzialnych za stabilizację osłony

(Rys. 15). Zawieszone w sieci elementy HSD wykonane są z pianki polietylenowej (PE) oraz balonów wypełnionych powietrzem. Poprzez zmianę ich wielkości i ilości, można regulować efektywność tłumienia hałasu. Podobnie jak system HydroNAS, osłonę HSD można dopasować do średnicy i długości wbijanego fundamentu (Elmer i Savery 2014).

Osłona HSD testowana była na wodach Morza Bałtyckiego w 2011 roku. Testy prowadzono dla fundamentu o średnicy 2,35 m i długości 79 m. Głębokość w miejscu wbijania wynosiła 8,5 metra. Podczas testów, wykorzystano sieć z elementami tłumiącymi HSD w postaci baloników wypełnionych gazem oraz elementów z pianki polietylenowej. Łącznie na testowanych sieciach zainstalowano blisko 100 000 elementów (30 elementów na 1 m²) (Rys. 16). Uzyskane wyniki wskazały na redukcję szumów do 23 dB w zakresie częstotliwości od 100 do około 600 Hz (Rys.16) (Bruns i in. 2014).

6.4.3. Modyfikacje młotów i nasadek na młoty

Blue piling – zaliczany jest do pierwotnych metod minimalizowania hałasu podwodnego. Polega on na redukcji hałasu u jego źródła czyli podczas wbijania fundamentu w dno morskie. Konstrukcja młota składa się z kapsuły wypełnionej wodą morską, która podczas wbijania generuje zdecydowanie mniej hałasu niż ma to miejsce w przypadku klasycznych konstrukcjach młotów (Rys. 17). Technika ta nie wymaga zastosowania dodatkowych, zewnętrznych metod ograniczania hałasu (Verfuss i in. 2019).

Wibro-palowanie – łączy wibracyjne wbijanie fundamentu oraz wbijanie przy pomocy młota. Technika wibro-palowania ma szczególne zastosowanie przy palowaniu fundamentów o małej średnicy lub przy mocowaniu fundamentów *jacket* i *tripod* (Verfuss i in. 2019) (Rys. 17).

6.4.4. Kombinacje metod

Dla zwiększenia efektu redukcji hałasu podwodnego można łączyć ze sobą różne techniki. Najczęściej stosuje się łączenie kurtyn powietrznych oraz osłon izolacyjnych:

- IHC- NMS + BBC
- HSD + BBC/DBBC
- BBC + DBBC = potrójna kurtyna BBC

W zależności od głębokości, na jakich prowadzone są prace oraz średnicy wbijanych fundamentów, uzyskuje się różne wyniki (HELCOM 2019).

Dla głębokości poniżej 25 metrów i średnicy fundamentu ≤ 6 m:

- Pojedyncza kurtyna powietrzna SBC - 14 dB
- Osłona IHC-NMS - 14 dB
- Osłona HSD - 10 dB

Dla głębokości między 25–43 metra i średnicy fundamentu 6–8 m:

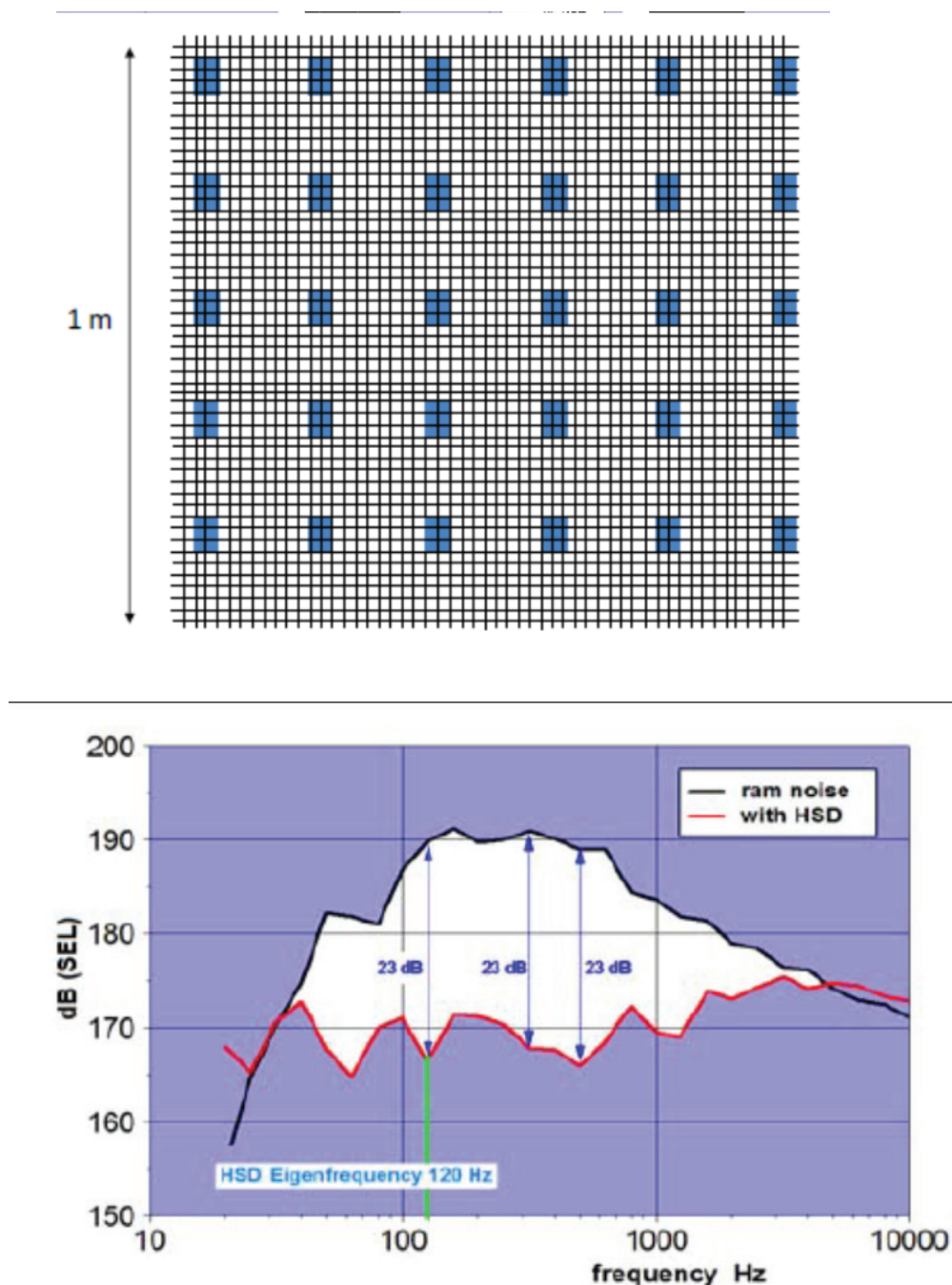
- DBBC - 16 dB
- Osłona IHC-NMS - 17 dB
- Osłona HSD - 10 dB
- BBC + osłona IHC-NMS - 22 dB
- BBC + osłona HSD - 20 dB

¹⁷ www.veyres-offshore.de/cms/website.php

6.5. Metody minimalizowania hałasu generowanego przez turystykę motorowodną

Podstawowym sposobem ograniczenia hałasu generowanego przez turystykę motorowodną, a tym samym zmniejszenie jego oddziaływania na morświny, jest ograniczenie prędkości przez szybkie łodzie motorowodne w strefie przybrzeżnej. Do metod minimalizowania hałasu, podobnie jak opisane w rozdziale 6.1 można zaliczyć również regularne usuwanie zanieczyszczeń

z kadłuba i śruby łodzi oraz stosowanie odpowiednich powłok ochronnych na kadłub, celem zmniejszenia oporu i poprawy efektywności energetycznej jednostki.



Rys. 16. Schemat sieci wyposażonej w elementy HSD podczas testów na Morzu Bałtyckim oraz wykres prezentujący wyniki redukcji hałasu podczas testów (Bruns i in. 2014)



Rys. 17. Nasadka na młot w postaci wibro młota oraz nasadka Blue piling

Źródło: <https://www.technischweekblad.nl/nieuws/monopiles-heien-met-water>, <https://offshore.pve-holland.com/content/954/617/Research--Vibratory-Piling-Faster-and-Less-Noisy.html>

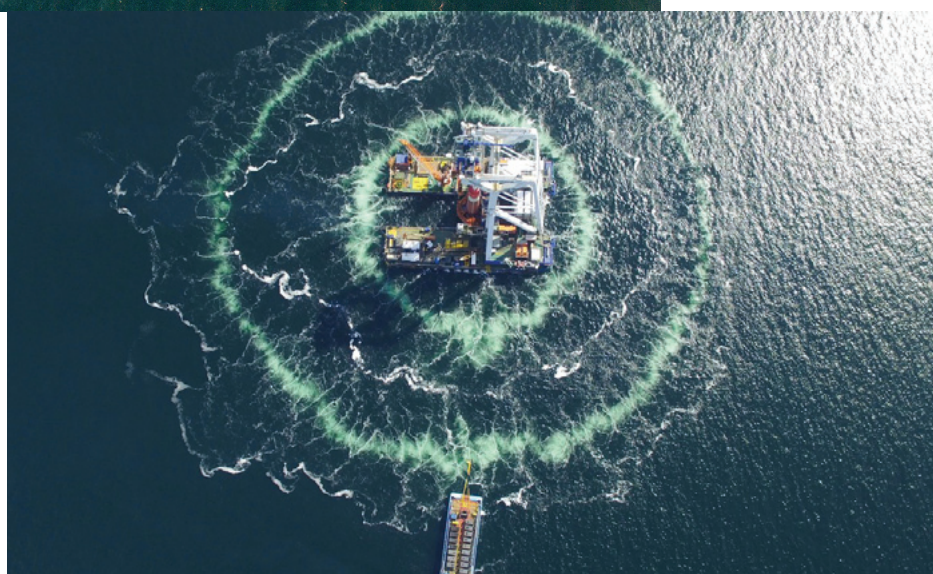
7. Wskazania i rekomendacje do metodyk monitoringu wpływu hałasu podwodnego na morświny

1. W rejonie Morza Bałtyckiego, gdzie występuje krytycznie zagrożona populacja morświna, inwestycje czy działania, podczas których generowany jest hałas podwodny, powinny być realizowane przy udziale odpowiednich metod minimalizujących oddziaływanie tego zanieczyszczenia na morświny. Środki minimalizujące powinny być stosowane zawsze, niezależnie od miejsca inwestycji czy uzyskanych w ramach monitoringu wyników.
2. Rekomenduje się ustanowienie nowego kryterium wartości progowej dla hałasu impulsowego – propozycja wskazania konkretnej wartości wyrażonej w dB, której nie można przekroczyć podczas detonacji ładunków.
3. Do środków minimalizujących wpływ detonacji na morświny należy obowiązkowo dołączyć zastosowanie kurtyny powietrznej, niezależnie od miejsca prowadzenia detonacji czy też wielkości detonowanego ładunku. Proponowane zalecenia odnośnie sposobu płoszenia ssaków morskich z rejonu detonacji opracowane przez Regionalną Dyрекję Ochrony Środowiska powinny zostać uzupełnione również o elementy monitoringu przed i po wykonaniu detonacji oraz powinny uwzględniać udział niezależnych obserwatorów.
4. Należy zaprzestać stosowania odstraszczy fok (seal scarer) jako metody płoszenia morświnów w rejonie Morza Bałtyckiego. Hałas generowany przez te urządzenia może powodować utrzymujący się przez dłuższy czas tymczasowy ubytek słuchu TTS.
5. Należy rozważyć wszystkie możliwe do zastosowania metody alternatywne związane z wydobywaniem ładunku i zdetonowania go na lądzie.
6. Monitoring inwestycyjny związany z hałasem podwodnym powinien również obejmować etap likwidacji inwestycji np. farm wiatrowych.
7. Rekomenduje się stosowanie technik instalacji fundamentów, które nie generują hałasu podwodnego np. fundamenty grawitacyjne. Biorąc pod uwagę coraz większe i wyższe konstrukcje planowanych elektrowni wiatrowych, generowany będzie coraz większy hałas w czasie ich instalacji, a dostępne techniki minimalizujące hałas mogą okazać się niewystarczające.

8. Literatura

1. Andersson MH, Andersson S, Ahlsén J, Andersson BL, Hammar J, Persson LKG, Pihl J, Sigray P & Wikström A 2016. Framework for Regulating Underwater Noise During Pile Driving. A technical Vindval report, ISBN 978-91-620-6775-5, Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, Sweden.
2. ASCOBANS 2012. Conservation Plan for the Harbour Porpoise. Population in the Western Baltic, the Belt Sea and the Kattegat. https://www.ascobans.org/sites/default/files/document/HarbourPorpoise_ConservationPlan_WesternBaltic_MOP7_2012.pdf
3. ASCOBANS 2016. Monitoring and Mitigation of Small Cetacean Bycatch. 8th Meeting of the Parties to ASCOBANS, Resolution 8.5, Helsinki, Finlandia.
4. Bagočius D., 2013. Underwater noise generated by the detonation of historical ordnance in the Baltic Sea, Lithuania: potential ecological impacts on marine life. *Baltica*, 26 (2) 187–192. Vilnius. ISSN 0067–3064.
5. Bellman, M. A., 2014. Overview of existing Noise Mitigation Systems for reducing Pile-Driving Noise. 2014 inter-noise Conference, Melbourne, Australia.
6. Berggren, P., Hiby, L., Lovell, P. and Scheidat, M. 2004. Abundance of harbour porpoises in the Baltic Sea from aerial surveys conducted in summer 2002. International Whaling Commission SC/56/SM7.
7. Betke, K. 2008. Measurement of wind turbine construction noise at Horns Rev II. ITAP – Institut für technische und angewandte Physik GmbH, ITAP Report no.: 1256-08-a-KB. 30 p. <https://tethys.pnnl.gov/publications/measurement-wind-turbine-construction-noise-horns-rev-ii>
8. Bruns, B., C. Kuhn, P. Stein, J. Gattermann and K. Elmer, K., 2014. The new noise mitigation system 'Hydro Sound Dampers': History of development with several hydro sound and vibration measurements, inter-noise. 2014 Conference, Melbourne, Australia, 2014.
9. Croci K., Arrigoni M., Boyce P., Gabillet C., Grandjean H., et al. Mitigation of underwater explosion effects by bubble curtains : experiments and modelling. 23rd MABS (Military Aspects of Blast and Shock), Oxford, UK, 7-12 September 2014, Sep 2014, United Kingdom. 14 p. hal-01071652.
10. Dyndo, M., Wiśniewska, D.M., Rojano-Doñate, L., Madsen, P.T., 2015. Harbour porpoises react to low levels of high frequency vessel noise. *Sci. Rep.* 5.
11. Elmer, K.H., Savery J. 2014. New hydro sound dampers to reduce underwater pile driving noise emissions, inter-noise2014 Conference, Melbourne, Australia, 2014.
12. Erbe C, Marley SA, Schoeman RP, Smith JN, Trigg LE and Embling CB (2019) The Effects of Ship Noise on Marine Mammals—A Review. *Front. Mar. Sci.* 6:606. doi: 10.3389/fmars.2019.00606
13. Evans, P.G. H., Teilmann, J. 2009. ASCOBANS/HELCOM Small Cetacean Population Structure Workshop: Held on 8-10 October 2007 At UN Campus, Hermann-Ehlers-Str. 10, 53113 Bonn, Germany. Bonn: ASCOBANS.
14. Frisk, G.V., 2012, Noiseconomics: The relationship between ambient noise levels in the sea and global economic trends, *Sci. Rep.* 2, 437; doi:10.1038/srep00437.nature.com/scientificreports.
15. HELCOM 2018. HELCOM Assessment on maritime activities in the Baltic Sea 2018. Baltic Sea Environment Proceedings No.152. Helsinki Commission, Helsinki. 253pp.
16. HELCOM. 2019. HELCOM PRESSURE – Underwater noise during impact pile-driving: Influencing factors on impulsiveness noise and technical options for complying with thresholds at activity level. Online: <https://portal.helcom.fi/meetings/PRESSURE%2011-2019-628/MeetingDocuments/4-3%20Underwater%20noise%20during%20impact%20pile-driving.pdf>
17. Hiby, L. and Lovell, P. 1996. 1995 Baltic/North Sea Aerial Surveys – Final report. Conservation Research Ltd.
18. <https://acteon.com/about-us/our-operating-companies/menck/>
19. http://bip.szczecin.rdos.gov.pl/files/obwieszczenia/142530/Raport_OOS_BP_czesc_polska.pdf
20. <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Documents/833%20Guidance%20on%20reducing%20underwater%20noise%20from%20commercial%20shipping%2C.pdf>
21. <https://logistyczny.com/biblioteka/lancuch-dostaw/item/4797-na-pelnym-morzu>
22. <http://maritimecongress.com/wp-content/uploads/2017/06/baltyk-na-swiatowej-mapie-zeglugi-morskiej.pdf>
23. <https://www.nord-stream2.com/media/documents/pdf/pl/2017/04/nsp2-espoo-report-pol.pdf>
24. <https://www.nord-stream2.com/media/documents/pdf/fi/2018/11/w-pe-emo-pfi-rqu-892-rqu218fi-04-web.pdf>
25. http://rds.m.gios.gov.pl/images/aktualizacja_wstepnej_oceeny_stanu_srodowiska_wod_morskich.pdf
26. https://www.un.org/depts/los/consultative_process/icp19_presentations/2.Richard%20Hale.pdf
27. Kastelein, R. A., Brunskoek, P., Hagedoom, M., Au, W. W. L. & de Haan, D. 2002. Audiogram of a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) measured with narrow-band frequency-modulated signals. *J. Acoust. Soc. Am.* 112, 334–344.
28. Kastelein, R. A., Verboom, W. C., Jennings, N., de Haan, D. & van der Heul, S. 2008. The influence of 70 and 120 kHz tonal signals on the behavior of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in a floating pen. *Mar. Environ. Res.* 66, 319–326.
29. Klinowska, M. 1991. Harbour porpoise. In: *Dolphins, Porpoises and Whales of the World. The IUCN Red Data Book*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, K:88-101.
30. Klinowska, M. 1991. Harbour porpoise. In: *Dolphins, Porpoises and Whales of the World. The IUCN Red Data Book*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, K:88-101.
31. Klusek Z. 2015. Pola hałasów antropogenicznych i szumów w Bałtyku, ich unikalne charakterystyki, prognozy trendów i potencjalnego wpływu na organizmy morskie. Krajowa Konferencja Naukowa „BAŁTYK 2015”, Sopot, Polska, 2015.
32. Koschinski, S. i Kock, K. 2009. Underwater unexploded ordnance—Methods for a cetacean-friendly removal of explosives as alternatives to blasting. International Whaling Commission. Scientific Committee Paper SC/61 E, 21.
33. Lockyer, C. 2003. Harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in the North Atlantic: Biological parameters. NAMMCO Scientific Publications 5: 71-89.

34. Lockyer, C. and Kinze, C. 2003. Status, ecology and life history of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*), in Danish waters. NAMMCO Scientific Publications 5: 143-175.
35. Lucke K., Siebert U. 2009. Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli. The Journal of the Acoustical Society of America 125 (6): 4060-4070.
36. Lucke K., Lepper P., Blanchet M., Siebert U. 2011. The use of an air bubble curtain to reduce the received sound levels for harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). The Journal of the Acoustical Society of America 130 (5): 3406-3412.
37. Mueller i Zerbs 2011. Offshore wind farms -Measuring instruction for underwater sound monitoring, Mueller, A. and Zerbs C., Report/protocol for Bundesamt fur Seeschifffahrt und Hydrographie, Germany.
38. Mustonen M., Klauson A., Andersson M., Clorennec D., Folegot T., Koza R., Pajala J., Persson L., Tegowski J., Tougaard J., Wahlberg M., Sigray P. 2019. Spatial and Temporal Variability of Ambient Underwater Sound in the Baltic Sea, Sci. Rep. 9, 13237.
39. National Marine Fisheries Service (NMFS) 2016. Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing: Underwater Acoustic Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Dept. of Commerce., NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-55, 178 p.
40. Nikolopoulos A., Sigray P., Andersson M., Carlström J., Lallander E., 2016: BIAS Implementation Plan -Monitoring and assessment guidance for continuous low frequency sound in the Baltic Sea, BIAS LIFE11 ENV/SE/841. Available from www.bias-project.eu.
41. Taormina B., Bald J., Want A., Thouzeau G., Lejart M., Derooy N., Carlier A. 2018. A review of potential impacts of submarine power cables on the marine environment: Knowledge gaps, recommendations and future directions. Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol. 96, 380-391.
42. Wisniewska DM, Johnson M, Teilmann J, Siebert U, Galatius A, Dietz R, Madsen PT. 2018 High rates of vessel noise disrupt foraging in wild harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). Proc. R. Soc. B 285: 20172314. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2017.2314>
43. Veerbom, W. C., and Kastelein, R. A., 1995. "Acoustic signals by harbour porpoises *Phocoena phocoena*," in Harbour Porpoises—Laboratory Studies to Reduce Bycatch, edited by P. E. Nachtigall, J. Lien, W. W. L. Au, and A. J. Read De Spil, Woerden, Netherlands, pp. 343–362.
44. Verfuss U K, Sinclair R R, Sparling C E (2019). A review of noise abatement systems for offshore wind farm construction noise, and the potential for their application in Scottish waters. Scottish Natural Heritage Research Report No. 1070.
45. Verfuß, U.K., Andersson, M., Folegot, T., Laanearu, J., Matuschek, R., Pajala, J., Sigray, P., Tegowski, J., Tougaard, J. BIAS Standards for noise measurements. Background information, Guidelines and Quality Assurance. Amended version. 2015.



Źródło: <https://www.vanoord.com/activities/constructing-arkona-offshore-wind-farm-baltic-sea>



Źródło: <https://www.hydrotechnik-luebeck.de> oraz <https://hmc.heerema.com>

NASZĄ MISJĄ JEST ZATRZYMANIE DEGRADACJI NATURALNEGO ŚRODOWISKA PLANETY I BUDOWANIE PRZYSZŁOŚCI, W KTÓREJ LUDZIE BĘDĄ ŻYĆ W HARMONII Z NATURĄ



Po co jesteśmy

Aby zapobiec degradacji środowiska naturalnego na Ziemi
i zbudować przyszłość, w której ludzie żyją w harmonii z przyrodą.

wwf.pl

© 1986 Panda Symbol WWF – World Wide Fund For Nature – Światowy Fundusz dla
Przyrody (dawniej World Wildlife Fund)

® WWF jest znakiem zastrzeżonym WWF. WWF, Rue Mauverney 28, 1196 Gland, Szwajcaria
– tel. +41 22 364 9111; faks +41 22 364 0332. Dane kontaktowe i dodatkowe informacje
znajdują się na stronie www.panda.org