

**„Badanie sezonowej i przestrzennej zmienności występowania morświnów w strefie przybrzeżnej
Polskich Obszarów Morskich”.**

Radomił Koza, Iwona Pawliczka
Stacja Morska im. Prof. Krzysztofa Skóry
Wydział Oceanografii i Geografii
Uniwersytet Gdański

1. Wstęp

Potrzeba przeprowadzenia badań występowania morświnów w przybrzeżnej strefie Polskich Obszarach Morskich wynikała z dostrzeżonej przez nas istotnej luki w wiedzy o rozmieszczeniu tego gatunku w polskiej części Bałtyku. Przeprowadzone w latach 2011 - 2013 w skali całego morza międzynarodowe badania w ramach projektu SAMBAH doprowadziły do najdokładniejszego jak dotąd oszacowania liczebności populacji morświnów w Bałtyku właściwym. Oprócz odpowiedzi na zasadnicze pytanie o wielkość populacji z projektu tego wynika wniosek wskazujący konieczność prowadzenia badań lokalnych w celu uzyskania dokładniejszego obrazu rozmieszczenia i potencjalnych zagrożeń dla funkcjonowania populacji. Wykonane wcześniej tego typu badania dotyczyły małych fragmentów polskich wód t.j. Zatoki Puckiej oraz południowej części Zatoki Gdańskiej. Potwierdziły one nasze wcześniejsze przypuszczenia, wynikające z rejestrowanych raportów o obserwacjach i przyłowie morświnów, że płytka strefa przybrzeżna może stanowić istotną część wykorzystywanych przez bałtyckie morświny siedlisk. Konsekwencją takich wniosków był projekt akustycznego monitoringu morświnów w obrębie całej polskiej przybrzeżnej strefy Bałtyku.

2. Materiały i metody

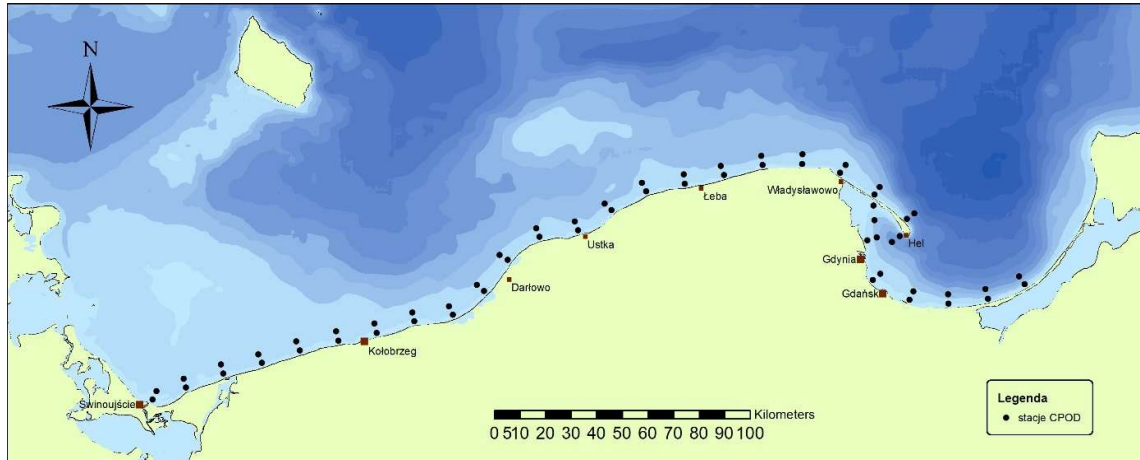
2.1 Pasywny monitoring akustyczny

Badania przeprowadzone zostały z zastosowaniem metody pasywnego monitoringu akustycznego (PAM) przy wykorzystaniu autonomicznych wykrywaczy morświnów typu C-POD produkcji angielskiej firmy Chelonia Ltd. Podstawową informacją, którą można uzyskać przy zastosowaniu metody PAM w monitoringu posługujących się echolokacją ssaków morskich jest potwierdzenie ich obecności w określonym czasie w zasięgu detektora. Dane akustyczne pozyskane w ten sposób mogą także informować o zachowaniach zwierząt w konkretnym miejscu i czasie takich jak żerowanie, czy interakcje pomiędzy osobnikami (Sørensen i in., 2018; Koschinski, Diederichs, Amundin, 2008; DeRuiter i in., 2009). Przy spełnieniu odpowiednich warunków wyniki badań prowadzonych metodą PAM można także wykorzystać do szacowania wielkości populacji (Marques i in., 2013; Amundin i in., 2022). Realizacja tego rodzaju zadania wymaga jednak uwzględnienia skomplikowanych zależności funkcji detekcji, określającej prawdopodobieństwo akustycznego wykrycia zwierzęcia, od specyficznych dla konkretnego miejsca i czasu parametrów środowiska, a także zmienności samego źródła sygnału wynikającej między innymi z różnic osobniczych. W tym celu w badaniach zrealizowanych w ramach projektu SAMBAH przeprowadzono dodatkowe badania i eksperymenty, które pozwoliły na oszacowanie wpływu takich zmiennych jak głębokość, pionowe rozkłady temperatury i zasolenia wody, ukształtowanie dna i rodzaj osadów, czy wreszcie częstość emisji sygnałów przez morświny z uwzględnieniem zmienności dobowej (Amundin i in., 2022). Dane uzyskane metodą PAM umożliwiają również badanie zmienności czasowej, przestrzennej i funkcjonalnej w wykorzystaniu monitorowanego siedliska (Carlén i in., 2018), czy reakcji badanego gatunku na zmiany środowiskowe ze szczególnym uwzględnieniem wpływu czynników antropogenicznych (Teilmann, Carstensen, 2012; Tougaard i in., 2009).

Dane zapisywane na karcie pamięci SD wykrywacza morświnów typu C-POD obejmują dokładny czas odbioru impulsowego sygnału akustycznego emitowanego przez morświny (kliknięcia), długość jego trwania, częstotliwość środkową sygnału, poziom ciśnienia akustycznego oraz liczbę cykli w impulsie. W wyniku automatycznej analizy parametrów kolejnych impulsów w połączeniu z czasem ich odbioru program CPOD.exe grupuje je w sekwencje złożone z pojedynczych kliknięć, czyli „click trains”, zidentyfikowane jako sygnały pochodzące z jednego źródła. Ponieważ urządzenia C-POD rejestrują sygnały akustyczne w zakresie od 20 do 160kHz, pliki takie mogą zawierać zapisy sygnałów z różnych źródeł, wykraczających znacznie poza spektrum w wąskim przedziale około 130 kHz, którym posługują się morświny. Jakość i spójność zarejestrowanych sygnałów wpływa również na prawdopodobieństwo właściwego ich przyporządkowania do jednej grupy. Stąd zidentyfikowane wstępnie sekwencje są przypisane do różnych kategorii źródeł oraz różnych klas jakości sygnału. W przypadku dużych zbiorów danych zawierających liczne detekcje można uznać za wystarczające ograniczenie się do automatycznej klasyfikacji, co przy odpowiednio zweryfikowanym algorytmie pozwala na uzyskanie niskiego poziomu błędów, jak w przypadku klasyfikatora HEL1 w projekcie SAMBAH (Amundin i in., 2022). W omawianych w niniejszym dokumencie badaniach wyniki zautomatyzowanego procesu klasyfikacji zostały zweryfikowane przez specjalistę z doświadczeniem w zakresie analizy danych z C-PODów.

2.2 Obszar i przebieg badań

W celu wykonania badań w strefie do 3 mil morskich od brzegu, wzdłuż całego polskiego wybrzeża rozmieszczono sześćdziesiąt wykrywaczy morświnów C-POD. Urządzenia zostały rozlokowane w parach - w odległości około 1 mili morskiej oraz 3 mil morskich od brzegu z zachowaniem około 8 mil morskich odległości pomiędzy kolejnymi parami urządzeń. Rozmieszczenie stacji pomiarowych przedstawia rys. 1.



Rys. 1 Mapa stacji pomiarowych C-POD

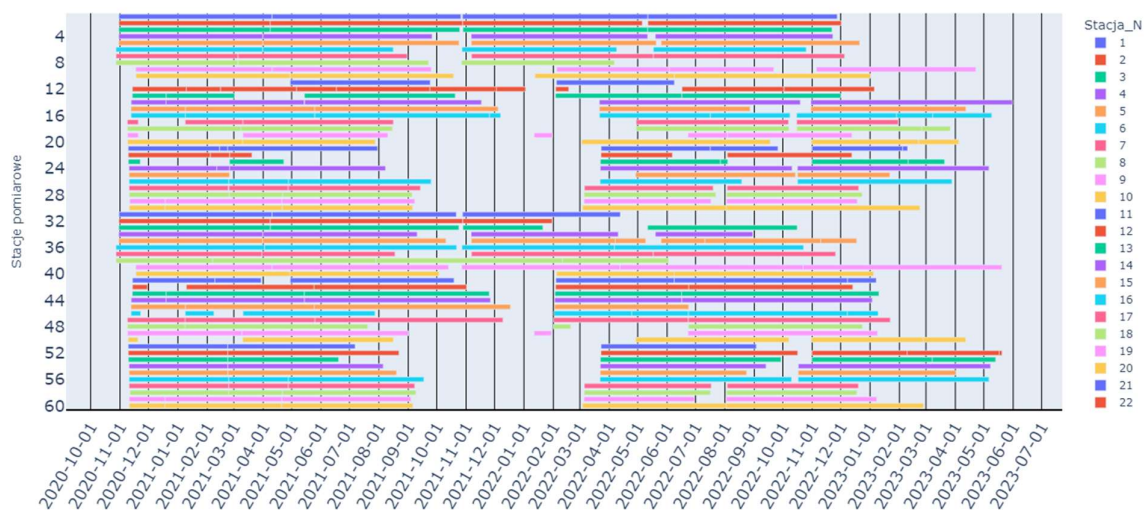
W celu ograniczenia ryzyka utraty sprzętu i danych urządzenia zostały osadzone na dnie morskim z wykorzystaniem specjalnych systemów kotwiczących chroniących je przed skutkami kolizji z narzędziami połowowymi oraz dużą dynamiką wód w płytkiej przybrzeżnej strefie morza. Głębokości w miejscach wystawienia urządzeń mieściły się w przedziale od 9 do 80 metrów, przy czym znakomita większość nie przekraczała 25 m, co wynika z charakteru polskiej części wybrzeża Bałtyku (rys1). Jedynie w rejonie zatok Gdańskiej i Puckiej głębokości bardziej oddalonych od brzegu stacji przekraczały 30 metrów. Zaplanowane początkowo na okres 12 miesięcy pomiary zostały przedłużone z powodu zakłóceń wynikających z długotrwałej awarii napędu jednostki pływającej wykorzystywanej do prowadzenia badań. Ostatecznie wystawione na przełomie października i listopada 2020 roku wykrywacze zakończyły działanie w 2023 roku i były sukcesywnie usuwane ze stacji pomiarowych pomiędzy kwietniem a październikiem tego roku. W okresie badań miały miejsce przerwy w ciągłości zapisu danych spowodowane różnymi przyczynami. Do największej przyczyniła się wspomniana wcześniej awaria napędu łodzi w czerwcu 2021 roku, ale przerwy w zapisach danych na niektórych stacjach pomiarowych spowodowane były również przez sztormy podczas których w kilkunastu przypadkach doszło do wyłączeń urządzeń rejestrujących. Spowodowane silnym falowaniem dynamiczne warunki na niektórych płytkich stacjach pomiarowych były prawdopodobną przyczyną niespodziewanych przerw w zapisie danych wskutek ekspozycji urządzeń na duże przeciążenia. Duża dynamika osadów spowodowała również zasypanie trzech zestawów pomiarowych, w tym dwóch na jednej stacji pomiarowej nr 11 pomiędzy Władysławowem a przylądkiem Rozewie. Trzeci zestaw ugrzązł w dnie na stacji nr 25 w okolicy portu Dźwirzyno. O obecności urządzeń na miejscach wystawienia świadczą niewielkie fragmenty wystające ponad powierzchnię osadu dennego. Zestawy te pozostają tymczasowo na miejscach, ale planowane jest ich wydobywanie w odpowiednich warunkach. Odnotowano również zaginięcie jednego zestawu na stacji nr 45 w okolicy Łeby. W czasie dwukrotnego

przeszukania dna w pobliżu miejsca wystawienia nie odnaleziono urządzenia. Planowane jest również przeszukanie większego obszaru dna w sprzyjających warunkach w przyszłości. Łącznie do czasu przygotowania raportu nie odzyskano czterech urządzeń, z czego w jednym przypadku położenie urządzenia jest nieznane, a pozostałe trzy znajdują się w miejscach wystawienia.

Prace na morzu obejmowały 54 rejsy, w czasie których wykonano 265 operacji wystawienia i 261 wydobycia sprzętu pomiarowego. Obsługa urządzeń w czasie tych rejsów polegała na wymianie baterii i kart pamięci, kontroli sprawności oraz ewentualnych drobnych naprawach całego systemu. Uzyskane surowe dane były archiwizowane w postaci kopii kart pamięci z C-PODów, a wstępnie przetworzone informacje w postaci plików CP1 i CP3 poddane walidacji i dalszym analizom. Metadane obejmujące informacje o czasie i miejscu wystawienia, stanie baterii, czasie wydobycia, długości zapisu oraz ewentualne uwagi o stanie sprzętu i innych okolicznościach rejestrowano w odpowiedniej bazie danych. Walidacja danych polegała na kontroli zgodności czasów rejestracji danych z zapisami w bazie metadanych oraz ocenie ich ciągłości i spójności. Pliki CP1 zawierające informacje o zarejestrowanych przez urządzenia sygnałach impulsowych były automatycznie przetwarzane przez będący elementem programu CPOD.exe klasyfikator KERNO do plików CP3 zawierających już wstępnie sklasyfikowane sekwencje sygnałów. Następnie pliki te poddawane były działaniu kolejnego klasyfikatora - HEL1, stworzonego do analizy danych z obszarów o małym zagęszczeniu populacji, gdzie szczególnie ważna jest eliminacja fałszywych detekcji mogących w takich lokalizacjach mieć poważny udział w ogólnej liczbie detekcji. Ostatecznie wyniki zostały zweryfikowane przez specjalistę. W następnym kroku informacje o zweryfikowanych detekcjach zostały wyeksportowane do zestawień umożliwiających dalsze analizy.

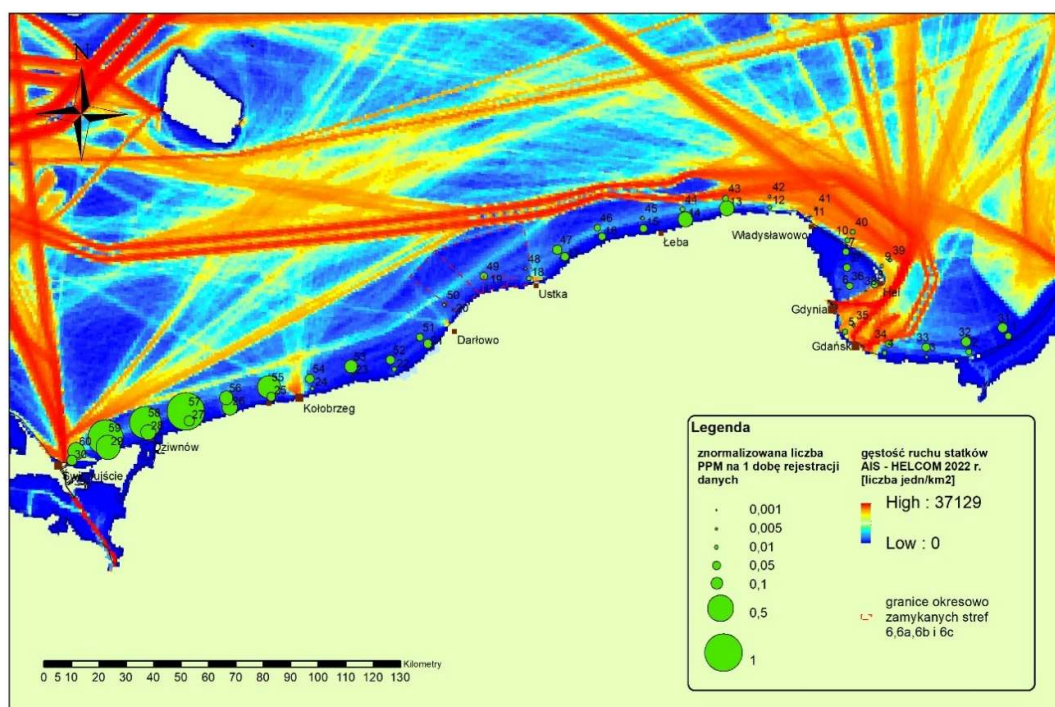
3. Wyniki

W wyniku wykonanych prac w okresie pomiędzy 27 października 2020 r., a 31 maja 2023 r. zebrano około 37 tysięcy dób danych łącznie we wszystkich sześćdziesięciu lokalizacjach. W całym tym okresie odnotowano około 3500 minut z detekcjami morświnów (Porpoise Positive Minutes - w skr. PPM). Liczba dób z detekcjami morświnów (Porpoise Positive Days w skr. PPD) jako suma dób z detekcjami z poszczególnych stacji wynosi 632. Obecność morświnów w czasie badań stwierdzono na 55 stacjach pomiarowych. Przebieg czasu rejestracji danych na poszczególnych stacjach pomiarowych przedstawia wykres Gantta na rys nr 2.



Rys. 2 Przebieg zapisu danych na poszczególnych stacjach pomiarowych. Kolorowe linie oznaczają okres działania rejestratorów w wodzie

Wyniki wykazują zarówno geograficzne jak i czasowe zróżnicowanie liczby minut detekcji (PPM). Najmniejszą liczbą wyróżniały się stacje położone blisko podejść do portów Zatoki Gdańskiej oraz morskiej strony Półwyspu Helskiego, gdzie ma miejsce intensywny ruch statków (rys.3). Podobnie niskie wyniki zarejestrowano w rejonie pomiędzy Ustką a Darłowem, gdzie funkcjonuje Centralny Poligon Sił Powietrznych regularnie wykorzystujący okresowo zamykany akwen numer 6 do ćwiczeń z uzbrojeniem. Przez obszar ten przebiega również zaproponowana w wyniku badań projektu SAMBAH hipotetyczna granica pomiędzy populacją morświnów Bałtyku Właściwego, a populacją żyjącą w Cieśninach Duńskich i Zachodnim Bałtyku (Carlén i in., 2018).



Rys. 3 Suma wartości PPMpD na tle mapy gęstości ruchu statków.

Największe liczby, znacznie przekraczające wartości z którymi mieliśmy do czynienia w naszych dotychczasowych badaniach, zarejestrowano w Zatoce Pomorskiej, pomiędzy Kołobrzegiem a Świnoujściem, ze szczególnie dużymi wartościami w okolicach Dziwnowa i wyspy Wolin. Stosunkowo wysokie wartości jak na tę część Bałtyku uzyskano również na stacjach środkowego wybrzeża pomiędzy Białogórą a Rowami. Zestawienie liczb minut i dób detekcji dla poszczególnych stacji przedstawia tabela 1.

Nr stacji CPOD	Szerokość geograficzna [dd.ddddd]	Długość geograficzna [dd.ddddd]	Liczba dób z detekcjami morświnów (klasyfikator HEL1)	Liczba minut z detekcjami morświnów (klasyfikator HEL1)	Liczba dób rejestracji danych
1	54,42933	19,52233	11	27	755,6
2	54,37883	19,30117	8	22	755,8
3	54,362	19,06383	4	7	748,5
4	54,3755	18,82817	4	10	703,4
5	54,44433	18,60717	9	18	763,1
6	54,58333	18,57283	0	0	616,1
7	54,70617	18,6085	8	24	700,5
8	54,59883	18,7695	8	22	688,6
9	54,65933	18,81183	3	6	708,3
10	54,74417	18,61467	5	16	688,5
11	54,82067	18,403	0	0	271,8

12	54,84933	18,17267	3	7	631,0
13	54,84417	17,931	8	90	567,5
14	54,80633	17,69633	6	92	580,4
15	54,77283	17,45983	5	28	708,9
16	54,74383	17,22533	7	30	796,0
17	54,67467	17,01783	3	25	498,3
18	54,60017	16,819	3	9	603,2
19	54,57217	16,5855	0	0	355,4
20	54,488	16,4	0	0	615,0
21	54,37483	16,26383	5	31	549,7
22	54,28733	16,0815	1	5	336,6
23	54,25883	15,852	1	1	343,5
24	54,212	15,62883	2	8	674,3
25	54,17817	15,40217	5	21	371,5
26	54,13667	15,17417	15	117	630,4
27	54,0855	14,95167	12	44	580,6
28	54,04033	14,72667	18	98	579,6
29	53,98283	14,5095	36	248	572,0
30	53,93333	14,31433	16	51	654,2
31	54,4565	19,491	6	36	521,9
32	54,41233	19,28583	6	32	456,9
33	54,39433	19,06117	6	28	600,3
34	54,40517	18,85183	3	20	572,2
35	54,4665	18,65217	3	7	734,9
36	54,5945	18,62833	10	24	719,4
37	54,65483	18,6145	10	28	678,0
38	54,57833	18,72117	0	0	796,4
39	54,67933	18,85667	1	7	899,0
40	54,77083	18,64533	3	11	653,6
41	54,8475	18,4365	1	1	646,0
42	54,884	18,1725	2	3	624,4
43	54,8765	17,92117	6	18	717,8
44	54,83817	17,67683	8	13	713,5
45	54,80583	17,45217	2	5	541,2
46	54,77234	17,198	4	17	520,8
47	54,69633	16,9755	11	48	750,3
48	54,63083	16,7975	2	3	578,7
49	54,6025	16,5645	7	19	513,5
50	54,50433	16,34833	2	4	492,7
51	54,39567	16,21833	5	16	402,8
52	54,31667	16,0565	8	41	692,9
53	54,28983	15,83817	12	73	605,8
54	54,24417	15,61267	10	35	645,2
55	54,21017	15,38567	40	232	602,4
56	54,16733	15,15133	23	97	713,6
57	54,11533	14,92817	66	579	573,0

58	54,07167	14,70833	62	415	571,6
59	54,01367	14,492	76	506	571,5
60	53,96383	14,335	31	142	658,4

Tab. 1 Liczba dób i minut detekcji oraz czas rejestracji danych z podziałem na stacje pomiarowe.

Na podstawie przywołanych powyżej badań projektu SAMBAH zaproponowano również podział roku na dwa sezony w kontekście rozmieszczenia populacji morświnów w Bałtyku t.j. od maja do października oraz od listopada do kwietnia (Carlén i in., 2018). Uzasadnienie takiego podziału bardzo wyraźnie potwierdzają różnice sezonowe widoczne na mapach przedstawiających miesięczne sumy PPM na poszczególnych stacjach pomiarowych, przy czym radykalne zmiany w liczbach PPM w obszarze Zatoki Pomorskiej zachodzą już w kwietniu, zarówno w roku 2021 jak i 2022. (zał. Miesięczne mapy detekcji). Zestaw map z danymi miesięcznymi obejmuje okresy od listopada 2020 r. do sierpnia 2021 r. oraz od kwietnia 2022 r. do listopada 2022 r. Okres od września 2021 r. do marca 2022 r. został pominięty w tym zestawieniu ze względu na opisaną wcześniej masową przerwę w działaniu detektorów spowodowaną brakiem możliwości ich obsługi w tym okresie. Podobnie zestawienie map nie obejmuje okresu po listopadzie 2022 r. kiedy znaczna część urządzeń już zakończyła działanie ze względu na wyczerpanie baterii.

4. Wnioski

Pasywny monitoring akustyczny po raz kolejny potwierdził swoją skuteczność w badaniach mało licznej i rozproszonej populacji bałtyckich morświnów. Badania wykazały ich obecność w przybrzeżnych wodach całej polskiej strefy Bałtyku. Zaobserwowana zmienność czasowa i przestrzenna detekcji jest zgodna z wynikami wcześniejszych badań w tym przede wszystkim projektu SAMBAH. Jednocześnie liczby minut detekcji w okresie przeprowadzonego monitoringu akustycznego przewyższyły w wielu miejscach te uzyskane na stacjach pomiarowych SAMBAH. Podobne relacje zanotowano wcześniej w przypadku bardziej lokalnych badań w zatokach Gdańskiej i Puckiej. Może to świadczyć o szczególnej roli strefy przybrzeżnej w funkcjonowaniu populacji. Jest to jednocześnie obszar najbardziej bezpośredniego kontaktu z zagrożeniami wynikającymi z aktywności człowieka takimi jak rybołówstwo przybrzeżne, rozwój i działanie infrastruktury, intensywny ruch turystyczny czy zwiększona koncentracja zanieczyszczeń. Świadomość tego powinna skutkować zwróceniem szczególnej uwagi na kontrolę zagrożeń antropogenicznych, rygorystycznym podejściem do realizacji wszelkich badań wpływu na środowisko i konsekwentnym wdrażaniem procedur i środków mitygujących szkodliwe czynniki.

5. Bibliografia

- Amundin, M., Carlström, J., Thomas, L., Carlén, I., Koblitz, J., Teilmann, J., Tougaard, J., Tregenza, N., Wennerberg, D., Loisa, O., Brundiers, K., Kosecka, M., Kyhn, L. A., Tiberi Ljungqvist, C., Sveegaard, S., Burt, M. L., Pawliczka, I., Jussi, I., Koza, R., ... Benke, H. (2022). Estimating the abundance of the critically endangered Baltic Proper harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) population using passive acoustic monitoring. *Ecology and Evolution*, 12, e8554. <https://doi.org/10.1002/ece3.8554>
- Betke K., Folegot T., Matuschek R., Pajala J., Persson L., Tegowski J., Tougaard, J., Wahlberg M. (2015). BIAS Standards for Signal Processing. Aims, Processes and Recommendations. Amended version. 2015. Editors: Verfuß U.K., Sigray P. <https://biasproject.wordpress.com/2016/02/16/bias-standards-for-signal-processing/>
- Carlén, I., Thomas, L., Carlström, J., Amundin, M., Teilmann, J., Tregenza, N., . . . Acevedo-Gutiérrez, A. (2018). Basin-scale distribution of harbour porpoises in the Baltic Sea provides basis for effective conservation actions. *Biological Conservation*, 226, 42-53.
- DeRuiter, S. L., Bahr, A., Blanchet, M.-A., Fobian Hansen, S., Højer Kristensen, J., Madsen, P. T., . . . Wahlberg, M. (2009). Acoustic behaviour of echolocating porpoises during prey capture. *Journal of Experimental Biology*, 19(3100-3107).
- Koschinski, S., Diederichs, A. i Amundin, M. (2008). Click train patterns of free-ranging harbour porpoises acquired using T-PODs may be useful as indicators of their behaviour. *Journal of Cetacean Research and Management*, 2.
- Marques, T. A., Thomas, L., Martin, S. W., Mellinger, D. K., Ward, J. A., Moretti, D. J., . . . Tyack, P. L. (2013). Estimating animal population density using passive acoustics. *Biological Reviews*, 88(287-309).
- Mustonen, M., Klauson, A., Andersson, M., Clorennec, D., Folegot, T., Koza, R., . . . Sigray, P. (2019) Spatial and Temporal Variability of Ambient Underwater Sound in the Baltic Sea. *Sci Rep* 9, 13237. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48891-x>
- Sørensen, P., Wisniewska, D., Jensen, F., Johnson, M., Teilmann, J. i Madsen, P. (2018). Click communication in wild harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *Scientific Reports*(9702).
- Teilmann, J. i Carstensen, J. (2012). Negative long term effects on harbour porpoises from a large scale offshore wind farm in the Baltic - evidence of slow recovery. *Environmental Research Letters*, 7(045101).
- Tougaard, J., Carstensen, J., Teilmann, J., Skov, H. i Rasmussen, P. (2009). Pile driving zone of responsiveness extends beyond 20 km for harbor porpoises (*Phocoena phocoena* (L.)) . *Journal of the Acoustical Society of America*, 126(No. 1), 11-14.

Załącznik 1. Mapy detekcji w poszczególnych miesiącach badań

