

## Streszczenie

Morze Bałtyckie, podobnie jak inne akweny kuli ziemskiej, ulega silnej presji antropogenicznej, którą można obserwować na jego powierzchni, w toni wodnej, a także na podłożu morskim. Przyczyną występowania tego rodzaju oddziaływania na morskie ekosystemy bałtyckie jest stale zwiększająca się aktywność techniczna człowieka, która nieprzerwanie wzrasta od momentu rozpoczęcia rewolucji przemysłowej na przełomie XVIII i XIX wieku. Działania związane z eksploatacją zasobów naturalnych, rozwojem morskiego transportu oraz konflikty militarne prowadzone w obszarze wspomnianego akwenu skutkowały wprowadzeniem do jego wód znacznych ilości przedmiotów pochodzenia antropogenicznego. Zatapiane obiekty posiadają różne wymiary oraz kształty. Obiekty te zalegając na dnie, ulegają zagrzebaniu w miękkich osadach budujących podłoże morskie, a także rozkładają się na skutek korozji spowodowanej przez czynniki występujące w środowisku morskim. Prowadzi to do powstawania interakcji między zatapianymi przedmiotami, a organizmami morskimi zamieszkującymi strefę przydenną oraz habitaty denne. W wielu obszarach Morza Bałtyckiego można również zaobserwować charakterystyczne zagłębienia w dnie, które powstają na skutek prowadzenia komercyjnych połowów ryb z wykorzystaniem włoków dennych. Zarówno zatapiane obiekty, jak i zmiany w morfologii wierzchniej warstwy podłoża morskiego spowodowane przez człowieka będą miały wpływ na bałtyckie organizmy bentosowe oraz ich siedliska. Literatura naukowa szeroko opisuje problematykę wykrywania i klasyfikacji przedmiotów spoczywających na dnie oraz śladów widocznych na nim w obrębie wielu różnych akwenów. Proponowane metody często koncentrują się wyłącznie na jednym typie poszukiwanych obiektów, występujących w konkretnym rejonie badań. W konsekwencji, brakuje kompleksowego opracowania tego zagadnienia dla Morza Bałtyckiego lub jego większych obszarów. Wiedza na temat źródeł oraz skali oddziaływania antropogenicznego na podłoże morskie jest kluczowa podczas planowania działań związanych z ochroną ekosystemów bałtyckich, a także zrównoważonej i bezpiecznej eksploatacji naturalnych zasobów Bałtyku. Znajomość czynników wynikających z oddziaływania antropogenicznego na ekosystem Morza Bałtyckiego umożliwia poznanie w większym stopniu procesów, które wpływają na jego ewolucję.

Celem badań zaprezentowanych w niniejszej pracy była weryfikacja hipotezy mówiącej o możliwości wykorzystania technik hydroakustycznych oraz metod obserwacji bezpośredniej do oceny skali oddziaływania antropogenicznego na podłoże morskie wybranych obszarów Morza Bałtyckiego. W celu realizacji powyższego zadania, w pierwszej kolejności wyznaczono obszary badań, w obrębie których spodziewano się znaczącego oddziaływania antropogenicznego spowodowanego przez przedmioty zalegające na dnie i/lub komercyjną aktywność rybacką. Rejony te różniły się między sobą m.in. pod względem maksymalnej głębokości, jak i rodzaju osadów budujących wierzchnie warstwy podłoża morskiego. Obszary, w których przeprowadzono badania zlokalizowane były w obrębie akwenów Zatoki Gdańskiej, Głębi Gdańskiej, Głębi Bornholmskiej oraz Zatoki Kilońskiej. Dalszy etap prac polegał na wykonaniu mapowania dna wszystkich obszarów z wykorzystaniem sonaru bocznego generującego impulsy akustyczne o częstotliwości wypełnienia 900 kHz, zainstalowanego na

pokładzie autonomicznego pojazdu podwodnego oraz holowanego za nim magnetometru. Uzyskane dane zostały przetworzone w taki sposób, aby możliwe było stworzenie z nich szczegółowych mozaik sonarowych przedstawiających akustyczny obraz powierzchni badanego dna. Przed przeprowadzeniem akwizycji danych hydroakustycznych oraz magnetometrycznych wykonano wstępne rozpoznanie dna w obszarach Głębi Gdańskiej i Głębi Bornholmskiej przy pomocy sonaru o częstotliwości roboczej 100 kHz, holowanego za jednostką badawczą, w celu zapewnienia bezpieczeństwa nawigacji platformy autonomicznej. W rejonach Zatoki Gdańskiej i Zatoki Kilońskiej zadanie to nie było realizowane, ponieważ informacji o potencjalnych przeszkodach na dnie (np. dużych wrakach) dostarczyły szczegółowe mapy nawigacyjne. Następnie, na uzyskiwanych zobrazowaniach wyznaczono w sposób manualny obiekty referencyjne, które w późniejszych etapach prowadzonych prac były poddawane wizualnej inspekcji i identyfikacji. Selekcja tych obiektów odbywała się na podstawie ich zdolności do odbijania wstecz nadawanych impulsów akustycznych, co zobrazowane było za pomocą poziomów jasności pikseli odzwierciedlających poszczególne cele podwodne na mozaikach sonarowych, a także poprzez analizę ich kształtów i rozmiarów oraz porównanie z zapisami magnetometrycznymi. W konsekwencji, w obrębie każdej z 11 opracowanych mozaik sonarowych wyznaczono przynajmniej jeden obiekt referencyjny. W dalszych krokach realizowanych prac opracowano metodę półautomatycznej detekcji obiektów antropogenicznych widocznych na uzyskiwanych rastrowych zobrazowaniach dna. Metoda ta wykorzystywała techniki analizy tekstur oparte na wyznaczaniu statystyk I i II rzędu w obrębie ruchomego, kwadratowego okna przesuwnego, które przemieszczało się w obrębie kolejnych pikseli tworzących zobrazowanie dna. Dodatkowy deskryptor opisujący analizowane mozaiki sonarowe otrzymano przy zastosowaniu filtracji górnoprzepustowej na bazie szybkiej dwuwymiarowej transformacji Fouriera i filtru Gaussa. Deskryptory obrazów uzyskane przy pomocy wspomnianych powyżej przekształceń rastrowych zobrazowań dna zostały następnie poddane klasyfikacji z zastosowaniem algorytmu *k*-średnich. Na podstawie otrzymywanych wyników możliwe było wyznaczenie w sposób półautomatyczny lokalizacji poszukiwanych obiektów antropogenicznych o przyjętych wcześniej wymiarach minimalnych na mozaikach sonarowych w każdym z obszarów badań. Zobrazowania dna, na których widoczne były ślady działalności człowieka w postaci bruzd na podłożu morskim, zostały również poddane analizie pod kątem detekcji i określania kierunkowości widocznych zagłębień. Zadanie to zostało zrealizowane dla odpowiednich mozaik przy pomocy metody dwuwymiarowej szybkiej transformacji Fouriera, przetworzeniu uzyskanych widm mocy z udziałem algorytmu Bresenham'a oraz wyznaczeniu na ich podstawie momentów spektralnych niskiego rzędu. Wszystkie opisywane powyżej analizy mozaik sonarowych były prowadzone z wykorzystaniem autorskiego oprogramowania stworzonego w środowisku MATLAB. Następnym etapem prowadzonych prac była wizualna inspekcja i identyfikacja wykrytych obiektów referencyjnych. Krok ten był realizowany z wykorzystaniem zdalnie sterowanej platformy podwodnej wyposażonej w kamery optyczne oraz aparaturę hydroakustyczną, która umożliwiła odnajdywanie i rozpoznawanie pożądaných celów w warunkach niskiej przejrzystości wody morskiej.

Na podstawie uzyskanych wyników określono skalę oddziaływania antropogenicznego w każdym z obszarów badań. Całkowite liczby wykrytych celów podwodnych pochodzenia antropogenicznego, wynosiły odpowiednio: 86 celów w Zatoce Gdańskiej, 149 w Głębi

Gdańskiej, 167 w Głębi Bornholmskiej i 280 w Zatoce Kilońskiej. Gęstości powierzchniowe odnajdywanych obiektów antropogenicznych w obrębie mapowanych obszarów wynosiły odpowiednio 195,46 celów/km<sup>2</sup>; 275,93 celów/km<sup>2</sup>; 298,21 celów/km<sup>2</sup> i 509,09 celów/km<sup>2</sup>. Liczba wybranych do analizy i zbadanych obiektów referencyjnych w każdym z wymienionych obszarów wynosiła kolejno 5, 10, 11 oraz ok. 99 (dwa duże klastry celów podwodnych). Obiekty te zostały poddane szczegółowej inspekcji, a następnie przypisano je do jednej z trzech kategorii: duże śmieci i odpady przemysłowe, wraki oraz obiekty o pochodzeniu militarnym. Opisano również oddziaływanie, jakie powodowały poszczególne typy obiektów referencyjnych na bałtyckie habitaty bentosowe oraz ich mieszkańców. Orientacje bruzd obserwowanych na dnie zostały przeanalizowane. Otrzymane wyniki zestawiono z danymi modelowymi dotyczącymi prędkości i kierunków wiania wiatrów w odstępach godzinnych w latach, w których prowadzona była akwizycja danych akustycznych. Kierunkowość bruzd była częściowo zbieżna z kierunkami wiania wiatrów w obszarach badań. Ponadto, na podstawie informacji dostępnych w literaturze naukowej, opisano negatywny wpływ śladów działalności człowieka powstałych na skutek prowadzenia intensywnych połowów ryb z wykorzystaniem włoków dennych na bałtyckie organizmy bentosowe i ich siedliska. Całość uzyskanych wyników pozwoliła na pozytywną weryfikację hipotezy mówiącej o możliwości określania skali oddziaływania antropogenicznego na dno wybranych obszarów Morza Bałtyckiego w oparciu o badania hydroakustyczne oraz obserwacje bezpośrednie. Na podstawie dodatkowych pomiarów wykonanych w ramach realizacji niniejszej pracy ustalono, że obiekty antropogeniczne mogą w całości ulegać zagrzebaniu w miękkich i uwodnionych osadach budujących podłoże morskie. Dowiedziono również, że obiekty antropogeniczne występujące na dnie Morza Bałtyckiego tworzą nowe habitaty dla organizmów bentosowych. Na podstawie informacji zawartych w literaturze naukowej określono, że przedmioty te mogą mieć jednak negatywny wpływ na stan oraz bioróżnorodność przydennej flory i fauny bałtyckiej.