

## STRESZCZENIE

Dla zrównoważonego zarządzania zasobami morskimi niezbędna jest gruntowna wiedza na temat procesów przyczynowo-skutkowych w relacjach między bytującymi w ekosystemie organizmami. Dlatego też zooplankton, a w szczególności widłonogi, stają się ważnym wskaźnikiem dla wytyczania kierunków gospodarowania zasobami morskimi. Jako organizmy planktonowe, szybko reagują na zmiany zachodzące w otaczającym je środowisku, przez co mogą być bardzo dobrymi bio wskaźnikami jego stanu ekologicznego i służyć jako narzędzie do współczesnego gospodarowania ekosystemem Morza Bałtyckiego. Widłonogi stanowią jedno z najważniejszych ogniw łańcucha pokarmowego, odgrywając znaczącą rolę w przekazywaniu energii pomiędzy producentami, a konsumentami wyższych rzędów, będąc między innymi pożywieniem dla wielu pelagicznych ryb planktonożernych. Widłonogi-fitofagi, takie jak *Acartia* spp., *Temora longicornis* oraz *Pseudocalanus* sp. są bowiem jednym z głównych źródeł bazy pokarmowej ryb o znaczeniu gospodarczym, tj. śledzia (*Clupea harengus*) i szprotka (*Sprattus sprattus*) w Morzu Bałtyckim.

Systematyczne badania dynamiki populacji oraz zmian taksonomicznych widłonogów przy stałej kontroli stanu środowiska, dostarczają cennych informacji i pozwalają ocenić w jaki sposób parametry środowiska mogą wpływać na rozwój Copepoda, kontrolując tym samym dynamikę całego łańcucha pokarmowego na danym obszarze. Badania tego typu są szczególnie ważne, ze względu na fakt, że ekosystem Morza Bałtyckiego w ostatnim stuleciu podlega różnicowanym przekształceniom między innymi na skutek globalnych zmian klimatu oraz antropopresji, a właściwości fizykochemiczne wód bałtyckich ulegają ciągłym zmianom.

Kierując się zatem potrzebą poszerzenia wiedzy o bałtyckich widłonogach, będących bardzo dobrymi wskaźnikami stanu ekologicznego ekosystemu, za główny cel niniejszej rozprawy doktorskiej przyjęto, szczegółowe zbadanie i określenie zmian w rozwoju dominujących, bałtyckich widłonogów, w tym *Acartia* spp., *Temora longicornis* i *Pseudocalanus* sp. w rejonie Zatoki Gdańskiej. W trakcie realizacji tego celu wyznaczono szczegółowe cele badawcze, takie jak:

- Analiza danych liczebności i biomasy *Acartia* spp., *Temora longicornis* i *Pseudocalanus* sp. z rejonu Zatoki Gdańskiej;
- Określenie struktury populacji badanych widłonogów;

- Wyznaczenie produkcji wtórnej i współczynnika śmiertelności badanych osobników na poszczególnych etapach ontogenezy za pomocą wyrażen matematycznych;
- Wyznaczenie czasu trwania etapów ontogenezy dla badanych widłonogów jako funkcji trzech zmiennych - temperatury, zasolenia i koncentracji pokarmu w południowym Bałtyku za pomocą wyrażen matematycznych;
- Określenie wpływu abiotycznych czynników na sezonową dynamikę populacji *Acartia spp.*, *Temora longicornis* i *Pseudocalanus sp.* w Zatoce Gdańskiej.

Badania środowiskowe, laboratoryjne, statystyczne i numeryczne podjęte w trakcie realizacji prac badawczych umożliwiły określenie dynamiki sezonowych zmian populacji wybranych widłonogów występujących w Zatoce Gdańskiej (Artykuł I, II), wpływu parametrów środowiska na czas trwania poszczególnych etapów ontogenezy masowo występujących Copepoda w Bałtyku Południowym (Artykuł III), a także zakresu oddziaływania abiotycznych czynników na sezonową dynamikę *Acartia spp.*, *Temora longicornis* i *Pseudocalanus sp.* w Zatoce Gdańskiej (Artykuł IV).

Z przeprowadzonych badań wynika, że rodzaj *Acartia* nadal pozostaje głównym komponentem Copepoda w Zatoce Gdańskiej, a jego największy udział procentowy w biomacie obserwowano od maja do września. Gatunkiem kodominującym był widłonóg *Temora longicornis*, który dominował w biomacie jesienią, (z maximum liczebności w listopadzie), natomiast najniższą liczebność i biomasę wśród badanych widłonogów stanowił *Pseudocalanus sp.*, którego maksymalną wartość biomasy obserwowano zimą (Artykuł I, II).

Tempo produkcji wtórnej analizowanych widłonogów wykazało dużą zmienność w okresie badawczym. Obserwowano międzyletnie oraz sezonowe, istotne statystycznie różnice. Najwyższymi wartościami tempa produkcji charakteryzował się sezon letni, a szczególnie wysokie wartości notowano w 2007 roku. *Acartia spp.* i *Temora longicornis* wyróżniały się wyższymi wskaźnikami produkcji w porównaniu do *Pseudocalanus sp.* osiągając najwyższe wartości latem (Artykuł I, II). Przeprowadzona analiza statystyczna dla pierwszych lat badań, potwierdziła korelację pomiędzy tempem produkcji a temperaturą wody dla *Acartia spp.* a także dla większości *Temora longicornis*. Nie obserwowano natomiast tej zależności dla *Pseudocalanus sp.*, co mogło być związane ze zbyt małą ilością danych lub znacznym wpływem innego czynnika na wartość produkcji (Artykuł I). Dla późniejszych lat badań, wyniki analizy statystycznej wykazały wyraźną korelację między temperaturą, a tempem produkcji wtórnej dla dominującego gatunku *Acartia spp.* (Artykuł

II). Uzyskane wyniki wydają się, być skorelowane z naturalną dynamiką populacji rozpatrywanych widłonogów w badanym akwencie.

Przeprowadzone badania wykazały ponadto tendencję do zwiększonej śmiertelności widłonogów wiosną i latem, co związane może być ze wzmogoną presją ryb planktonożernych w tym okresie. Najniższe fluktuacje współczynnika śmiertelności w kolejnych stadiach rozwojowych odnotowano dla *Acartia* spp., podczas gdy dla *Temora longicornis* wyniki pokazały znaczną różnicę wskaźnika śmiertelności między poszczególnymi etapami rozwoju. Jesienią i zimą najwyższa śmiertelność dotyczyła pierwszych stadiów copepodit, zaś latem osobników starszych. Z przeprowadzonych badań wynika również, że dla *Pseudocalanus* sp. zimą i wiosną śmiertelność była najniższa, a wzrastała w okresie letnim (Artykuł I).

Kolejnym etapem badań były prace numeryczne, których celem było określenie wpływu parametrów środowiska takich jak, temperatura, zasolenie i koncentracja pokarmu, na rozwój *Pseudocalanus* sp., *Temora longicornis* oraz *Acartia* spp. (Artykuł III).

Analizując otrzymane wyniki modelowe dla *Acartia* spp., jednoznacznie stwierdzono, że temperatura i koncentracja pokarmu mają istotny wpływ na tempo rozwoju *Acartia* spp. na wszystkich etapach ontogenezy i to one są czynnikami kontrolującymi stan populacji tego taksonu w Bałtyku Południowym. Istotne różnice w rozwoju *Acartia* spp. są widoczne w okresie zimowym i wczesną wiosną, kiedy to następuje wzrost temperatury oraz ilości pożywienia, a te czynniki mają znaczny wpływ na rozwój badanego osobnika. Z kolei latem, głównie temperatura odgrywa decydującą rolę. Wykonane symulacje numeryczne sugerują, że w badanym rejonie w okresie następnych stu lat, liczba populacji *Acartia* spp. zwiększy się przynajmniej o jedną do dwóch w ciągu roku, a tempo wzrostu na każdym etapie ontogenezy będzie szybsze i pojawienie się pierwszej populacji w roku nastąpi we wcześniejszym czasie. W przypadku *Temora longicornis* wykonane obliczenia sugerują podobnie jak w przypadku *Acartia* spp., że temperatura i koncentracja pokarmu są decydującymi parametrami, które mają wpływ na rozwój tego gatunku na wszystkich etapach ontogenezy. Dla *Temora longicornis*, zasolenie zgodnie z przyjętą funkcją  $f/s$ , ma zauważalny wpływ na jego rozwój, które nieznacznie ogranicza wpływ temperatury. Uzyskane rezultaty numeryczne sugerują, że w badanym rejonie liczba populacji *Temora longicornis* może zwiększyć się o jedną generację w ciągu jednego roku. Rozwój tego gatunku będzie szybszy w okresie zimowo-wiosennym i tak jak w przypadku *Acartia* spp., pierwsza populacja *Temora longicornis* pojawi się wcześniej. Biorąc pod uwagę otrzymane dane modelowe dla *Pseudocalanus* sp. wykazano, że temperatura i zasolenie są czynnikami

abiotycznymi, mającymi znaczący wpływ na rozwój *Pseudocalanus* sp. na wszystkich etapach ontogenezy. Decydujące znaczenie ma zasolenie, jako czynnik maskujący zgodnie z przyjętą funkcją  $f_s$ , ogranicza rozwój tego gatunku w okresie zimowym, a latem potęguje wpływ temperatury. Znaczące różnice w rozwoju są obserwowane w okresie zimowym, a także wiosennym, kiedy to pomimo wzrostu temperatury w stosunku do początkowego stanu modelowego, rozwój osobników zostaje zahamowany w wyniku spadku zasolenia. Symulacje numeryczne wskazują, że to zasolenie ma większy wpływ na rozwój osobnika w tym okresie aniżeli temperatura. Natomiast w sezonie letnim, zarówno zasolenie jak i temperatura, powyżej wartości optymalnej  $T_o$ , limitują rozwój *Pseudocalanus* sp. zmniejszając tempo wzrostu i wydłużając czas rozwoju na poszczególnych etapach rozwoju osobniczego. Zaprezentowane wyniki obliczeń sugerują, że w badanym rejonie, i) liczba populacji *Pseudocalanus* sp.. zmniejszy się, ii) rozwój osobników tego gatunku będzie zahamowany, iii) czas całkowitego rozwoju może być kontynuowany przez okres dłuższy niż jeden rok i iv) pojawienie się nowej generacji w ciągu roku nastąpi w okresie późniejszym (Artykuł III).

Badania prowadzone przy użyciu metod statystycznych na podstawie danych środowiskowych dla określenia wpływu abiotycznych czynników środowiskowych na dynamikę populacji badanych widłonogów pokazały, że 26,1% całkowitej zmienności obserwowanej w biomacie badanych widłonogów, wyjaśniają czynniki środowiskowe, takie jak: temperatura wody, zasolenie, temperatura powietrza, zachmurzenie, prędkość i kierunek wiatru oraz głębokość stacji poboru prób. Zmienną środowiskową w Zatoce Gdańskiej o największej sile objaśniającej zmienności składu populacji i biomasy widłonogów była temperatura wody. Dodatkowo, wykorzystując uogólnione modele addytywne (GAM) przeanalizowano wpływ czynników abiotycznych na biomasę badanych gatunków na kolejnych etapach ontogenezy. Istotnymi parametrami okazały się temperatura i zasolenie wody na wszystkich etapach rozwoju *Acartia* spp. i *Temora longicornis* i dla większości stadiów ontogenezy *Pseudocalanus* sp. oprócz stadium C1 zarówno dla temperatury i zasolenia oraz dla samców ale tylko dla parametru zasolenia (Artykuł IV).

Wykonane w ramach pracy doktorskiej badania potwierdziły główną hipotezę badawczą, z założeniem, że abiotyczne czynniki środowiskowe mają istotny wpływ na sezonową i długoletnią dynamikę zmian rozwoju *Acartia* spp., *Temora longicornis* i *Pseudocalanus* sp. w południowym rejonie Morza Bałtyckiego. W świetle globalnych zmian klimatu zaprezentowane wyniki badań pokazały, że największy wpływ na obraz populacji badanych widłonogów w południowym rejonie Morza Bałtyckiego ma

temperatura, ale także zasolenie i dostępność pokarmu decydują o tempie rozwoju masowo występujących w tym rejonie widłonogów.

Wyniki przedstawione w pracy są cennym źródłem informacji, w znacznej mierze uzupełniającym wcześniejsze badania Copepoda Zatoki Gdańskiej. Biomonitoring z uwzględnieniem wykazanych powyżej czynników środowiskowych, które w mniejszym lub większym stopniu wpływają na zbiorowość planktonu, są istotnym narzędziem do zarządzania ekosystemem morskim. Natomiast modelowanie może być wykorzystane do prognozowania zmian w ekosystemie, nawet w odległym czasie. Symulacje numeryczne pozwalają na odtworzenie procesów zachodzących w środowisku morskim i określenie w jaki sposób wpływają one na rozwój życia biologicznego w warunkach odmiennych niż aktualnie występujące.

Przeprowadzone w ramach rozprawy doktorskiej badania pokazują, że w przyszłości nastąpią istotne zmiany w liczebności i biomacie widłonogów. Copepoda odgrywają kluczową rolę w transformacji materii organicznej, dlatego wcześnie ustalenie kierunku tych nieuniknionych zmian może mieć szczególne znaczenie, dostarczając nowych elementów wiedzy, dotyczących procesów decydujących o stanie ekosystemów morskich, w szczególności akwenów słonawowodnych, jakim jest Morze Bałtyckie. Wiedza taka ma bezpośredni wpływ na zakres i stopień wykorzystania jego zasobów żywych, co w konsekwencji przekłada się na kondycję gospodarki morskiej.

Pogłębiona wiedza o mechanizmach funkcjonowania Copepoda, ich strukturze taksonomicznej, liczebności, biomacie, produkcji, tempie rozwoju i śmiertelności umożliwia prześledzenie kierunku zmian zachodzących w ekosystemie. Zintegrowane badania środowiskowe, prace modelowe i statystyczne umożliwiają przewidywanie negatywnych lub pozytywnych skutków zmian środowiskowych oraz prognozowanie zmian zachodzących w bazie pokarmowej ryb planktonożernych.