

Piotr Pieckiel  0000-0001-5021-0872

Tomasz Kuczyński  0000-0001-6242-2549

INSTYTUT MORSKI UNIWERSYTETU MORSKIEGO W GDYNI

adres e-mail do korespondencji: piotr.pieckiel@im.umg.edu.pl

DOI: 10.26408/FindFISH-05

5. ANALIZA ISTNIEJĄCYCH I NOWYCH DANYCH ŚRODOWISKOWYCH POCHODZĄCYCH Z WYPRAW RYBACKICH W CELU OKREŚLENIA PREFERENCJI RYB POŁAWIANYCH PRZEMYSŁOWO W ZATOCE GDAŃSKIEJ

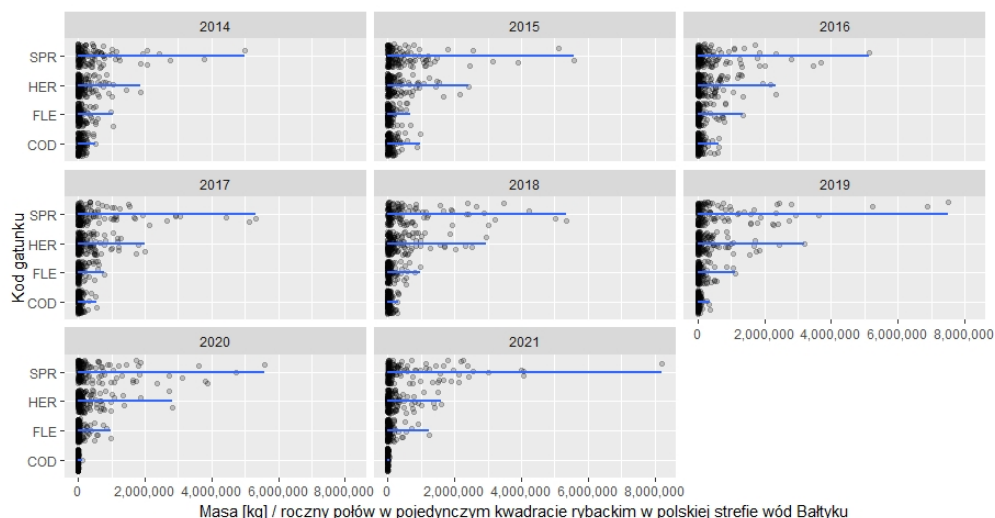
WPROWADZENIE

Jako gatunki modelowe zostały wybrane ryby najintensywniej eksploatowane przez polskie rybołówstwo w latach 2014–2021. Są to, w kolejności od najwyższego do najniższego tonażu wyładunku, według danych z Centrum Monitoringu Rybołówstwa w Gdyni:

- szprot (*Sprattus sprattus*);
- śledź (*Clupea harengus*);
- stornia (*Platichthys flesus*);
- dorsz (*Gadus morhua*) (rys. 5.1).

W analizowanym obszarze najintensywniej eksploatowanymi kwadratami rybackimi w ostatnich kilku latach były S5, S6 i S7, w których poławia się najwięcej szprota (*S. sprattus*) (5,5–8,2 tys. ton rocznie).

Zasolenie, temperatura oraz zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie są bardzo ważnymi czynnikami warunkującymi rozmieszczenie zasobów ryb w toni wodnej. W badanym obszarze parametry te okazały się szczególnie istotne dla modelowych ryb pelagicznych: śledzia i szprota (Akimova i in., 2016; Saraux i in., 2014), mniej wrażliwe na te czynniki są kolejne modelowane gatunki, jak dorsz (Gollock i in., 2006; Tirsgaard i in., 2015), a w szczególności przedstawiciel ryb płaskich – stornia (Cabral i in., 2021; Duthie i Houlihan, 1982; Fonds i in., 1992; Hutchinson i Hawkins, 2004; Martinho i in., 2009).



Rys. 5.1. Masa połowów dla najintensywniej eksploatowanych gatunków ryb w polskiej strefie wód Bałtyku w latach 2014–2021, na podstawie danych z Centrum Monitoringu Rybołówstwa w Gdyni bazujących na wszystkich złożonych deklaracjach rybaków.

Kody gatunków: COD – dorsz (*G. morhua*), FLE – stornia (*P. flesus*),
HER – śledź (*C. harengus*), SPR – szprot (*S. sprattus*)

Źródło: opracowanie własne IM UMG.

Morze Bałtyckie jest nietypowym akwenem morskim, cechującym się najmniejszym zasoleniem w skali światowej, relatywnie niewielkimi głębokościami i wysoką dynamiką wód (ICES, 2018; Meier i in., 2022), co sprawia, że wyniki przeprowadzonych analiz stanowią materiał unikatowy w porównaniu z pozostałymi akwenami na świecie. Występujące tu typowo morskie gatunki ryb, pochodzące z obszaru atlantyckiego, do których zaliczają się wszystkie gatunki objęte badaniami, są zmuszone szukać w toni wodnej optymalnych warunków środowiskowych, często warunkujących ich przeżycie, zwłaszcza w okresie rozmnażania i rozwoju narybku (Parmanne i in., 1994). Tarliska każdego z badanych gatunków mają zupełnie inną charakterystykę – w przypadku śledzia są to dość dobrze rozpoznane obszary przybrzeżne z odpowiednim substratem występującym na dnie, znajdujące się w wielu lokalizacjach strefy przybrzeżnej Bałtyku do głębokości 10 m (Rajasilta i in., 2006), natomiast szprot rozmnaża się w toni wodnej w wodach otwartych z koncentracją stadium wieku 0+ w południowo-zachodnich wodach Bałtyku (Hinrichsen i in., 2005). W przypadku szprota, żyjącego na każdym etapie życia w pelagialu, w trakcie wykluwania ikry i we wczesnych stadiach rozwoju narybku parametry takie jak temperatura, zasolenie i zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie stanowią limitujące granice dla rozwoju (Karaseva i Ivanovich, 2010; Peteret i in., 2008, 2009). Dorsz rozradza się w Bałtyku na granicy swojej tolerancji,

gdzie szuka wody „dorszowej”, dostatecznie natlenionej i o najwyższym możliwym zasoleniu, jednakże znajduje te miejsca na dużych głębokościach, gdzie często występują niedobory tlenu (Hinrichsen i in., 2011). Przedstawiciel ryb płaskich – stornia – wykazuje większą tolerancję w stosunku do warunków środowiska dla rozrodu (Hutchinson i Hawkins, 2004). Jednak parametry środowiska – bardzo ważne dla wszystkich badanych gatunków ryb w fazie rozmnażania i rozwoju – nie były przedmiotem badań. Głównym celem projektu była bowiem parametryzacja badanych czynników dla koncentracji ławic ryb w formie dorosłej, będącej w rozmiarze dozwolonym do połowu komercyjnego.

Badane parametry basenu Morza Bałtyckiego ulegają obecnie zmianom związanym z ociepleniem klimatu – dotyczy to głównie temperatury (Meier i in., 2022). Wiele prac skupia się również na modelowaniu wpływu tych zmian w basenie Morza Bałtyckiego na główne zasoby ryb, takich jak śledź i szprot (Bauer i in., 2019; Harvey i in., 2003; Maravelias i in., 2000; Tamm i in., 2018; Voss i in., 2011). Wartości badanych parametrów w basenie Morza Bałtyckiego do tej pory nie zostały precyzyjnie określone, co uniemożliwia analizy porównawcze. Obecnie w wielu przypadkach wiedza tego rodzaju bazuje na modelach matematycznych opierających się głównie na temperaturze i korelacji temperatury w kolumnie wody z temperaturą powietrza, jak w przypadku badań Freitas i in. (2021), co sprawia, że wykorzystywane dane mają charakter innowacyjny.

5.1. CHARAKTERYSTYKA GATUNKÓW RYB MODELOWYCH

5.1.1. Dorsz (*Gadus morhua*)

Jest to drapieżna ryba morska, występująca w północnej części Oceanu Atlantyckiego i w morzach północnej Europy. Jest największym przedstawicielem rodziny dorszowatych – w Bałtyku odnotowywano osobniki o długości do 130 cm i masie 20 kg, dożywające do wieku ponad 20 lat, jednak aktualne dane wskazują na zmniejszenie się rozmiarów i skrócenie wieku życia dorsza. Ciało dorsza jest wrzecionowate, owalne w przekroju, głowa jest duża o zaokrąglonym pysku i przesłonej, uzębionej paszczy. Dorsz uważany jest za rybę euryhaliczną, jednak za granicę zasięgu tego gatunku na znanym obszarze jego występowania w Morzu Bałtyckim uznaje się zasolenie równe 7. Jest to gatunek typowo drapieżny i zazwyczaj trzyma się w mniejszych lub większych ławicach.

Preferencje siedliskowe

Żerowiska

Dorsz żeruje głównie w strefie demersalnej, a czynnikiem warunkującym jego obecność w danej warstwie wody jest zawartość tlenu. Wartością graniczną dla dorsza jest zawartość tlenu na poziomie $3,4 \text{ mg/dm}^3$ (40–50% natlenienia w temperaturze 5–10°C), ale okresowo w celu zdobycia pokarmu może on przebywać w warstwach o niższej zawartości tlenu. Dlatego w obszarach głębokowodnych żeruje pelagicznie, jednak nie schodząc poniżej warstw wody zawierających tlen w ilości mniejszej niż $2,5 \text{ mg/dm}^3$. Zakres temperatur, w jakich obserwuje się występowanie dorsza, to 0–15°C, przy czym preferowany zakres to 6–8°C.

Tarliska

Okres tarła dorsza w Bałtyku jest rozłożony w czasie i trwa od marca do października, ze szczytem w okresie letnim. Ikra dorsza jest pelagiczna i do prawidłowej inkubacji wymaga natlenienia wody powyżej 2 mg/dm^3 oraz zasolenia powyżej 11, zapobiegającego opadaniu rozwijających się jaj w wody, w których w Bałtyku często występuje niedotlenienie. Temperaturą optymalną do rozwoju ikry jest przedział 2–6°C. W Bałtyku takie warunki występują tylko w obszarze głębi poniżej halokliny, a przestrzenny zakres ich występowania jest zależny od intensywności wlewów słonej wody z Morza Północnego. Woda o parametrach zasolenia, natlenienia i temperatury mieszczących się w granicach sprzyjających prawidłowej inkubacji ikry dorsza jest nazywana „wodą dorszową”. Jej zasięg przestrzenny oraz miąższość są różne w poszczególnych latach, w zależności od sytuacji hydrologicznej. Ze względu na spadek intensywności wlewów do Bałtyku słonych wód pochodzenia atlantyckiego historyczne tarliska dorsza na Głębiach Gotlandzkiej i Gdańskiej utraciły na znaczeniu, a istotne dla zachowania zasobów dorszy tarliska obecnie znajdują się praktycznie wyłącznie w rejonie Głębi Bornholmskiej.

Preferencje pokarmowe

Dorośle osobniki dorsza w południowej części Bałtyku żywią się głównie rybami z rodziny śledziowatych, ale też rybami babkowatymi, dobijakowatymi, a także skorupiakami, takimi jak podwój i garnela. Przy czym preferencje pokarmowe dorsza zmieniają się wraz z wielkością osobniczą dorszy. W pokarmie małych, 30–40-centymetrowych dorszy dominują szprot i ryby babkowate, natomiast w pokarmie osobników większych najczęstszy jest śledź. Widoczne są również różnice sezonowe, wynikające z dostępności określonego rodzaju pokarmu. W okresach zimowych znaczącym składnikiem pokarmu są obok ryb także garnele.

Wędrówki sezonowe

Podstawowy wzorzec migracji obejmuje cykliczne przemieszczanie się dorosłych dorszy do głębokich basenów w celu tarła, które jest rozciągnięte w czasie od wiosny do lata. Po odbyciu tarła ryby migrują na żerowiska również w płytsze wody, jednak nie stwierdzono, żeby bałtyckie stada dorszy odbywały w okresie letnio-jesiennym dalsze migracje za podążającymi w tym czasie na północ ławicami szprotów.

5.1.2. Stornia (*Platichthys flesus*)

Dorosłe osobniki storni, jak wszystkie gatunki płastug, żyją przy dnie. Stornia występuje wzdłuż północno-wschodniego wybrzeża Atlantyku, od Morza Śródziemnego poprzez Morze Czarne do Morza Białego. Jej ciało jest mocno bocznie spłaszczone, ma owalny kształt, głowa jest mała, paszcza niewielka. Stornia może żyć do 15 lat i osiągnąć w Bałtyku maksymalną wielkość do 60 cm. Gatunek ten wykazuje wysoki zakres tolerancji na niskie zasolenie, zamieszkuje głównie wody przybrzeżne i słonawe, ale często spotykany jest też w ujściach i dolnych odcinkach rzek. Stornie mogą długo przebywać w siedliskach słodkowodnych, chociaż nie mogą się tam rozrządzać. Preferują piaszczyste i muliste podłoże o głębokości do 100 m, ale najczęściej przebywają na głębokościach płytszych niż 50 m.

Preferencje siedliskowe

Żerowiska

Żerowiska dorosłych storni to przede wszystkim piaszczyste dno w strefie przybrzeżnej, gdzie przebywają latem i jesienią na głębokościach do 20 m. Optymalna temperatura wody to 11–19°C, jednak gatunek ten toleruje dużo szerszy zakres – 5–25°C. Stornie tolerują niedobory tlenu i znoszą 20–40% zawartości tlenu w wodzie, a poziom letalny jest poniżej 10% natlenienia.

Tarliska

W obszarze południowo-wschodniego Bałtyku stornie odbywają tarło w okresie wczesnowiosennym, od marca do maja. Pelagiczna ikra jest składana na głębokościach 70–130 m, gdzie występuje zasolenie 10,6–12,0, które umożliwia utrzymanie zapłodnionych jaj w toni. Do prawidłowego rozwoju ikry potrzebna jest zawartość tlenu powyżej 1–2 mg/dm³.

Preferencje pokarmowe

Stornie żywią się w Bałtyku głównie małżami, takimi jak: *M. baltica* (preferowany) i *M. trossulus edulis*, w mniejszym stopniu pobierają również pokarm w postaci pozostałych bezkręgowców bentosowych oraz okazjonalnie żywią się małymi rybami.

Wędrówki sezonowe

Dorosłe stornie, po odbyciu tarła w głębokowodnych rejonach Bałtyku, migrują późną wiosną w rejony przybrzeżne, gdzie intensywnie żerują przez całe lato i wczesną jesień. Wraz z ochładzaniem się wody wędrują w głębsze partie wód, by w końcu zimy odbyć tarło w głębinie.

5.1.3. Śledź (*Clupea harengus*)

Śledź jest niewielką rybą pelagiczną osiągającą długość osobniczą 20–24 cm, żyjącą w ławicach. Ciało śledzia jest wydłużone, owalne w przekroju, dolna szczeka pyska jest wyraźnie wysunięta do przodu. Gatunek ten jest szeroko rozpowszechniony w rejonie Północnego Atlantyku. Ryba ta żyje do 20 lat, a dojrzałość płciową osiąga w 2.–3. roku życia. Śledź toleruje szeroki zakres zasolenia, nawet w dolnym zakresie do 3, i w Bałtyku występuje głównie na otwartej części morza, aż po Zatokę Fińską. W Morzu Bałtyckim rozróżnia się dwie populacje śledzia o odmiennych okresach rozrodu. Jedna odbywa tarło wiosną, druga – jesienią, przy czym na obszarze Bałtyku południowo-wschodniego występuje praktycznie wyłącznie populacja tarła wiosennego, w której wyróżnić można trzy grupy ryb, cechujące się zróżnicowanymi preferencjami odbywania tarła: przy brzegu, w zatokach oraz w otwartych wodach.

Preferencje siedliskowe

Żerowiska

Śledzie poza okresem tarła żerują zazwyczaj w otwartych wodach o temperaturze 1–18°C, często w warstwach przydennych, gdzie znajdują odpowiedni pokarm. Ryba ta może tolerować niskie natlenienie, nawet do 22%. Obecność pojedynczych śledzi stwierdza się w okresie letnim również w płytkowodnych rejonach Zatoki Puckiej, co sugeruje, że temperatura wody nie jest dla tego gatunku czynnikiem decydującym o wyborze żerowisk. Jednak w okresie letnim śledzie żerują najczęściej w warstwach wody o zakresie temperatur 3–15°C.

Tarliska

Śledź wiosenny rozpoczyna rozród najczęściej w marcu, przy temperaturze wody powyżej 6°C. Tarło odbywa się w strefie przybrzeżnej na głębokościach 2–10 m. Ikra jest składana na substracie twardym lub porośniętym roślinnością. Najważniejsze tarlisko śledzia wiosennego w rejonie Zatoki Gdańskiej to Zalew Wiślany. Mniejsze znane tarliska znajdują się także w rejonie ujścia Wisły Śmiałej, Portu Północnego i Orłowa.

Preferencje pokarmowe

Dorosłe śledzie preferują w zakresie zooplanktonu większy pokarm, jak widłonogi *Pseudocalanus* sp., lasonogi *Mysidacea* oraz obunogi *Hyperia galba*, jak również inne organizmy nektobentosowe. Przy braku dostępu do większego pokarmu żerują też na mniejszym zooplanktonie, jak *Acartia* spp. i *Temora* spp.

Wędrówki sezonowe

Ogólny wzór migracji śledzia „wiosennego” obejmuje wędrówkę na tarło w rejon przybrzeżny wiosną, a następnie migrację starszych śledzi na żerowiska. Główne żerowiska w południowej części centralnego Bałtyku to Głębia Bornholmska i Głębia Gdańska, dokąd śledź przybywa w lipcu i gdzie przebywa do grudnia. Z końcem zimy śledzie znowu kierują się w stronę rejonów przybrzeżnych.

Wędrówki dobowe

W ciągu dnia śledzie mają tendencję do przebywania w zależności od głębokości akwenu w warstwach pośrednich (haloklina do zawartości tlenu $>1,3$ mg/dm³) lub w wodach płytszych przydennych, podczas gdy w nocy agregują się w wyższych warstwach toni wodnej.

5.1.4. Szprot (*Sprattus sprattus*)

Szprot jest niewielką rybą pelagiczną z rodziny śledziowatych, osiągającą 16–18 cm długości, żyjącą w ławicach. Ciało ma wydłużone, o owalnym przekroju, z wyraźnie zarysowanym kilem w części brzusznej. Gatunek ten jest szeroko rozpowszechniony w północnowschodnim Atlantyku, Morzu Śródziemnym i Bałtyku, który stanowi dla niego północną granicę zasięgu występowania. Jest to ryba krótko żyjąca, rzadko dożywa 5 lub więcej lat, a dojrzałość płciową osiąga już w drugim roku życia. Szprot toleruje szeroki zakres zasolenia, nawet do 4, i w Bałtyku występuje głównie na otwartej części morza aż po środkową część Zatoki Fińskiej. Jest to gatunek o ekologicznie kluczowym znaczeniu w bałtyckim

ekosystemie pelagicznym, stanowiący główny składnik diety dla ryb i ssaków drapieżnych. Jako najliczniej występujący organizm planktonożerny szprot może wpływać na rekrutację dorsza poprzez wyzerowywanie jego pelagicznej ikry.

Preferencje siedliskowe

Żerowiska

Szprot preferuje siedliska pelagiczne o zasoleniu wyższym niż 4, z cieplejszymi wodami o temperaturze powyżej 5,1°C i o zawartości rozpuszczonego tlenu wyższej niż 1,3 mg/dm³. Zaobserwowano, że przy dostępności w okresie letnim pokarmu w postaci widłonogów *Acartia spp.* i *Temora spp.* ławice szprotów przemieszczają się w wyższe, cieplejsze warstwy wody.

Tarliska

Głównymi tarliskami szpota są obszary głębokowodne w obrębie Głębi Bornholmskiej, Gdańskiej i Gotlandzkiej na głębokościach powyżej 60 m. Okres rozrodu szpota w Morzu Bałtyckim zwykle trwa od marca do sierpnia, tarło jest parcjalne, a jego nasilenie jest zależne od minimalnej temperatury i dostępności wysokokalorycznego pokarmu w tym czasie i największe przypada najczęściej na okres od maja do czerwca. Ikra szpota jest pelagiczna, jednak cechuje się większą pływalnością niż ikra dorsza, dlatego nie wymaga tak wysokiego zasolenia i występuje również powyżej halokliny.

Preferencje pokarmowe

Gatunek ten żywi się zooplanktonem, w tym w Bałtyku głównie widłonogami, takimi jak: *Pseudocalanus sp.*, *Acartia spp.* i *Temora longicornis*.

Wędrówki sezonowe

Latem i jesienią główne koncentracje szprotów są obserwowane w północnych rejonach Bałtyku Właściwego i w Zatoce Ryskiej. Wraz z ochłodzeniem wody ławice szprotów wczesną zimą migrują w głębsze baseny Morza Bałtyckiego (Basen Bornholmski, Głębia Gdańska i Basen Gotlandzki). Na tych obszarach koncentracje szpota znajdują się poniżej halokliny. Wczesnym latem, po tarle szproty przenoszą się do płytszych warstw wody i migrują do obszarów położonych bliżej wybrzeża. Przejście między tymi rejonami ma miejsce najczęściej w czerwcu (od obszarów otwartego morza w kierunku obszarów przybrzeżnych) i grudniu (od płytkich wód w kierunku głębszych obszarów).

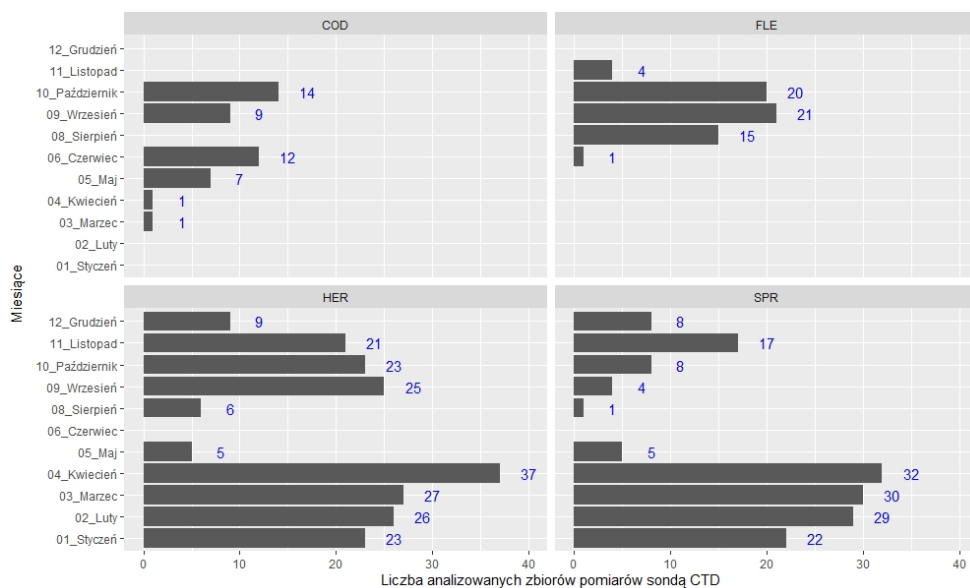
Wędrówki dobowe

W ciągu dnia szprot ma tendencję do przebywania w warstwach pośrednich i dolnych, podczas gdy w nocy agreguje się w warstwach powierzchniowych, gdzie ma ograniczony kontakt z dorszem.

5.2. CHARAKTERYSTYKA POZYSKANYCH DANYCH POCHODZĄCYCH Z POŁOWÓW RYBACKICH ORAZ METODA ANALIZ

Do analiz wykorzystano łącznie 2 857 288 rekordów z sondy CTD, pochodzących z zestawów danych pozyskanych z pojedynczego wydania sondy, dla odpowiednich gatunków ryb w liczbie:

- 44 dla dorsza;
- 61 dla stornia;
- 202 dla śledzia;
- 156 dla szprot (rys. 5.2).



Rys. 5.2. Zestawienie analizowanych zestawów danych z sondy CTD, pochodzących z wypraw rybackich z lat 2018–2021. Zestawy danych zagregowano do poszczególnych miesięcy. Kody gatunków: COD – dorsz (*G. morhua*), FLE – stornia (*P. flesus*), HER – śledź (*C. harengus*), SPR – szprot (*S. sprattus*)

Źródło: opracowanie własne IM UMG.

Połowy rybackie z sondą CTD prowadzono w każdym miesiącu z wyłączeniem lipca, w zróżnicowanych okresach roku dla wybranych gatunków ryb (rys. 5.2). Największą częstotliwością dla miesięcy charakteryzowały się zestawienia danych dla ryb pelagicznych: śledzia (*C. harengus*) i szprota (*S. sprattus*), których połowy prowadzono we wszystkich miesiącach z wyłączeniem czerwca i lipca. Dla pozostałych gatunków częstotliwość była mniejsza, przy czym dla dorsza (*G. morhua*) było to 6 miesięcy, a dla storni (*P. flesus*) 5 miesięcy.

Parametry wody mierzono z użyciem sondy Midas CTD+ Valeport umieszczonej na włoku połowowym. Analizowane dane opierają się na czterech parametrach mierzonych przez sondę:

- ciśnieniu;
- przewodności;
- temperaturze;
- tlenie rozpuszczonym w wodzie (tabela 5.1).

Zasolenie zostało przeliczone przez oprogramowanie sondy Valeport Software Ltd. o rozdzielczości 0,01 z dokładnością na poziomie $\pm 0,02$.

Tabela 5.1

Specyfikacja czujników multiparametrycznej sondy Midas CTD+ Valeport, użytej do zbioru danych w trakcie połowów rybackich

Czujnik	Typ	Zasięg	Dokładność	Rozdzielczość
[A] Przewodnictwo	Inductive Cell	0–80 mS/cm	$\pm 0,01$ mS/cm	0,002 mS/cm
[B] Temperatura	PRT	od -5 do $+35^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,005^{\circ}\text{C}$	0,002 $^{\circ}\text{C}$
[C] Ciśnienie	Piezo-Resistive	do 600 Bar	$\pm 0,01\%$	0,001%
[D] Tlen rozpuszczony w wodzie	Clark Cell	0–16 ml/l	$\pm 0,07$ ml/l	0,017 ml/l

Dane z sondy CTD, uzyskane od rybaków komercyjnych i przekazane do analiz, podano obróbcie w celu usunięcia danych niekwalifikowalnych do analiz, takich jak:

- pomiary na świeżym powietrzu na pokładzie po włączeniu sondy;
- pomiary w trakcie wydawania narzędzia;
- pomiary w trakcie zbioru narzędzia;
- dane nieprawidłowo zapisane (różne błędy pomiarowe czujników i/lub oprogramowania);
- dane prawidłowo zapisane, lecz wybiegające poza zakres spodziewanych wartości dla poszczególnych badanych parametrów – w wielu przypadkach zaobserwowano błędne działanie wrażliwego na mechaniczne uszkodzenia sensora tlenowego Clark Cell ze wskazaniem np. 0% dla głębokości 0,5 m, 315% dla głębokości 40 m.

W pierwszej kolejności przeprowadzono analizy danych za pomocą metody pudełkowej „ramka–wasy” (ang. *boxplots*) (Schwertman i in., 2004) dla wszystkich badanych parametrów, dokonując zróżnicowanej filtracji. Głębokość została odfiltrowana od 1 m, tak aby móc zaobserwować cały przebieg profilu sondy. Temperatura, zasolenie oraz zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie zostały poddane analizie po filtracji danych poniżej 15 m głębokości. Pomiary sondy poniżej tej głębokości w zakresie każdej analizowanej serii danych znajdowały się w przedziale <75% rekordów. Działanie to umożliwiło zwiększenie precyzji danych dla analizy porównawczej w każdym miesiącu dla całego zbioru. Dane dla tlenu rozpuszczonego w wodzie zostały poddane transformacji, w ramach której wydzielono, usunięto i zastąpiono błędne pomiary za pomocą ekstrapolacji wartości w przewidzianym zakresie z najbliższych poprawnych profili.

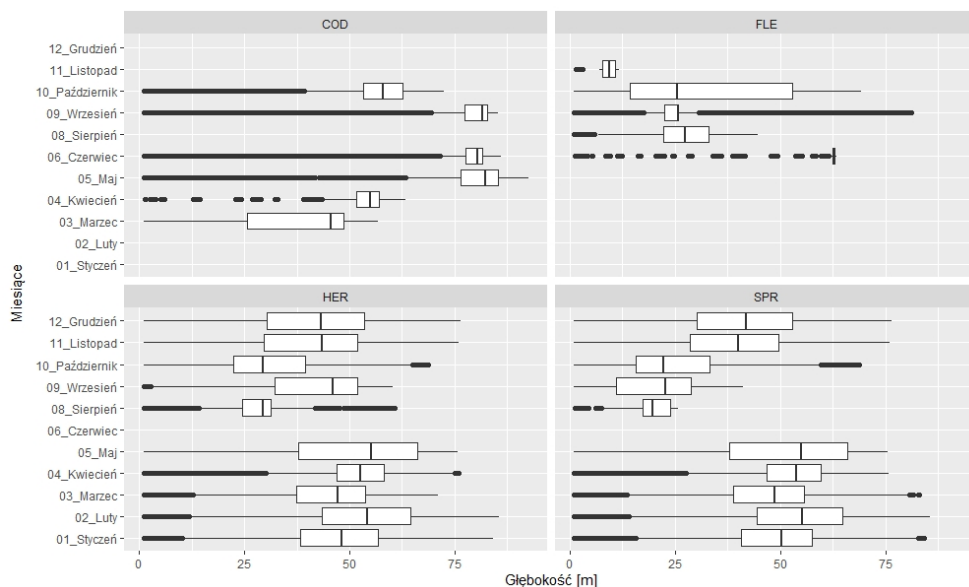
Kolejnym krokiem była analiza korelacji wartości badanych parametrów dla efektów (wielkości) połowu poszczególnych gatunków ryb. W tym celu w odniesieniu do każdego badanego parametru wyliczono medianę dla każdej serii połowu, wartość najczęściej pojawiającą się w zbiorze danych po filtracji każdej serii, która reprezentowała warunki, jakie panowały w miejscu koncentracji ryb. Analiza ta została przeprowadzana dla korelacji r Pearsona i analizie wariancji ANOVA.

Na zbiorze wszystkich danych wykonano analizę głównych składowych na podstawie testu PCA (ang. *principal component analysis*), który umożliwił wytypowanie najistotniejszych parametrów determinujących wykonywane połowy komercyjne. Do testu przygotowano zestawienie median dla każdego połowu rybackiego na danych wyfiltrowanych ze zbioru na podstawie głębokości połowu, która znajdowała się w obszarze badań poniżej 15 m. Dane poddano transformacji metodą Hellinger z pakietu Vegan w. 2.6-2.

Analizy wykonywano w programie R w. 4.1.2 (2021-11-01) – „Bird Hippie” Copyright © 2021 The R Foundation for Statistical Computing. Dodatkowo do filtracji i porządkowania danych użyto pakietów: ‘dplyr’ w. 1.0.7, ‘tidyverse’ w. 1.3.1, ‘tidyr’ w. 1.1.4, ‘purrr’ w. 0.3.4, ‘car’ w. 3.0-12, do analiz graficznych wykorzystano pakiet ‘ggplot2’ w. 3.3.5 oraz oprogramowanie właściwe w R, a także pakiet Vegan wersja 2.6-2 do wykonania testu PCA.

5.3. ANALIZA DANYCH ŚRODOWISKOWYCH

Dane dotyczące głębokości połowów charakteryzowały się rozmieszczeniem zawsze poniżej 15 m, bez względu na badany gatunek. W połowach pominięto zatem strefę przybrzeżną. Głębokości połowu były zmienne w poszczególnych sezonach, a w przypadku ryb pelagicznych dużą zmienność obserwowano również w ciągu poszczególnych miesięcy (rys. 5.3).



Rys. 5.3. Rozkład zmienności głębokości w połowach rybackich dla poszczególnych gatunków ryb; zagregowane dla miesięcy. Kody gatunków: COD – dorsz (*G. morhua*), FLE – stornia (*P. flesus*), HER – śledź (*C. harengus*), SPR – szprot (*S. sprattus*).
Boxplot: maks. = wartości skrajne maksymalne, Q3 = 75% wartości, Me = mediana, Q1 = 25% wartości, min. = wartości skrajne minimalne

Źródło: opracowanie własne IM UMG.

Połowy dorsza odbywały się najgłębiej spośród wszystkich badanych gatunków; maksymalna głębokość wynosiła 92,5 m. Najczęściej połowy odbywały się poniżej 64,2 m, połowy narzędziami pasywnymi odbyły się na głębokości 25–50 m, natomiast wszystkie połowy narzędziami aktywnymi były prowadzone poniżej 50 m.

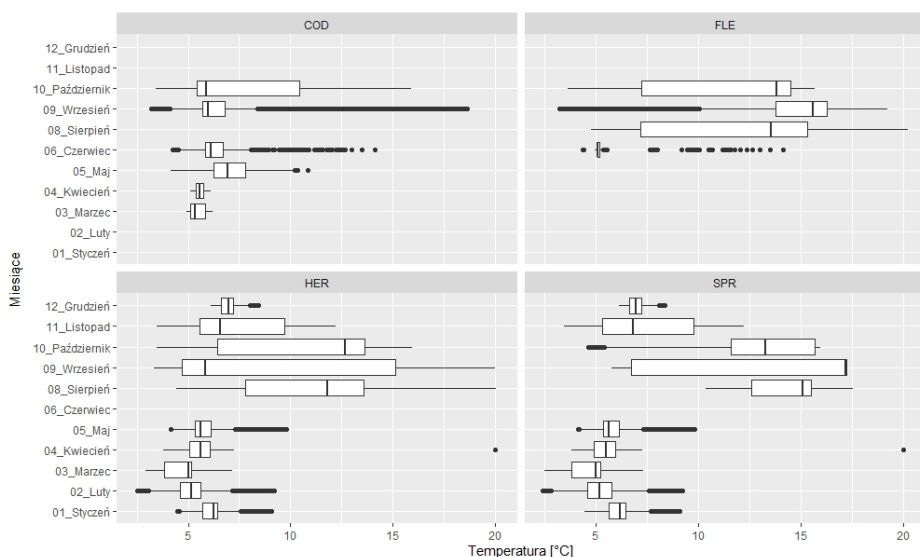
Stornia jest gatunkiem charakteryzującym się najmniejszymi głębokościami połowu za sprawą stosowania w większości przypadków narzędzi pasywnych. Najczęściej połowy odbywały się na głębokościach 20–25 m. Raz łowiono stornię również przy użyciu narzędzi aktywnych na głębokości 81,3 m.

Śledzia łowiono najczęściej na głębokości 46,4 m. Maksymalna głębokość połowu wyniosła nawet 85,67 m w sezonie zimowym. Jesienią średnie głębokości połowów spadały do 33 m. W przypadku tego gatunku nie wykonywano połowów na głębokościach poniżej 20 m.

Szprota łowiono najczęściej na głębokości 50,6 m. Maksymalna głębokość połowu wyniosła nawet 85,67 m w sezonie zimowym. Jesienią średnie głębokości połowów spadały do 39 m. W przypadku tego gatunku nie wykonywano połowów

na głębokościach poniżej 20 m. Połowy tego gatunku odbywały się często w połowach łączonych ze śledziem.

Temperatura połowów dla większości gatunków charakteryzowała się niskimi wartościami, poniżej 10°C (rys. 5.4). W sezonie jesiennym w większości prowadzonych pomiarów obserwowano wzrost temperatury w szerszym zakresie głębokości.



Rys. 5.4. Rozkład zmienności temperatury w połowach rybackich dla poszczególnych gatunków ryb; zagregowane dla miesięcy. Kody gatunków: COD – dorsz (*G. morhua*), FLE – stornia (*P. flesus*), HER – śledź (*C. harengus*), SPR – szprot (*S. sprattus*).

Boxplot: maks. = wartości skrajne maksymalne, Q3 = 75% wartości, Me = mediana, Q1 = 25% wartości, min. = wartości skrajne minimalne

Źródło: opracowanie własne IM UMG.

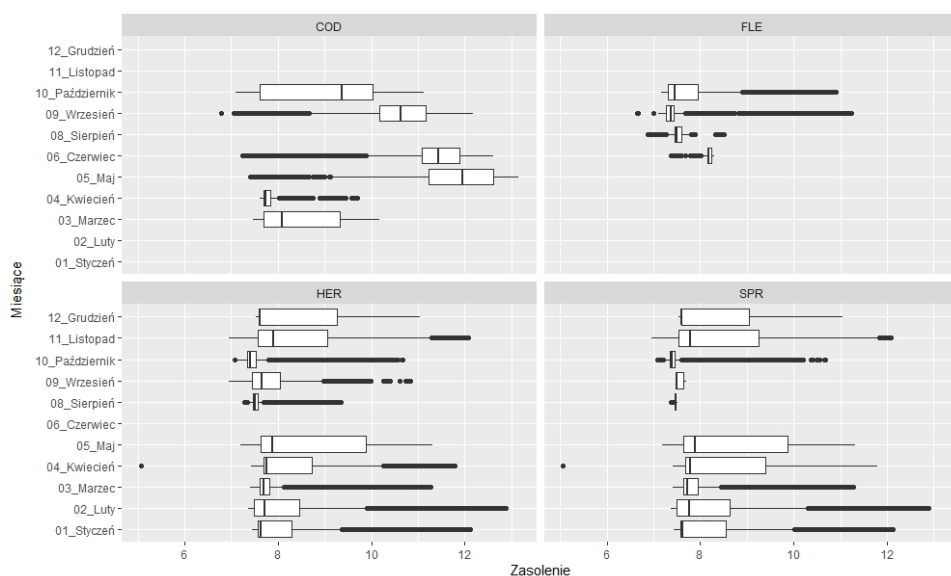
W przypadku dorsza temperatura wody podczas połowu najczęściej oscylowała wokół wartości 5,9°C. Skrajne minimalne wartości na najwyższych głębokościach osiągały 3,2°C. W październiku podczas połowu tego gatunku odnotowano wyższe temperatury, sięgające 10,1°C.

Stornię poławiano głównie w sezonach letnim i jesiennym na niskich głębokościach, stąd temperatura podczas połowu była dla tego gatunku najwyższa i najczęściej wynosiła 14,9°C. Niektóre połowy prowadzono na wysokich głębokościach, gdzie temperatura wyniosła 3,2°C.

Śledzia łowiono najczęściej w ciągu całego roku w temperaturze 5,9°C. Minimalna temperatura połowu wynosiła w lutym 2,5°C. Temperatura połowu w ciągu całego roku nie przekraczała w 75% przypadków 9,6°C. W sezonie jesiennym wystąpiła największa amplituda dla tego parametru.

Szprotka łowiono najczęściej w ciągu całego roku w temperaturze 5,5°C. Minimalna temperatura połowu wynosiła w lutym 2,4°C. Temperatura połowu w ciągu całego roku nie przekraczała w 75% przypadków 6,4°C. W sezonie jesiennym wystąpiła największa amplituda dla tego parametru. Połowy tego gatunku odbywały się często w łączonych połowach ze śledziem, występuje jednak pewna zmienność w kierunku preferencji tego gatunku do niższych temperatur.

Zasolenie charakteryzowało się najmniejszymi różnicami pomiędzy badanymi parametrami, gatunkami i sezonami, jednak za sprawą prowadzenia niektórych połowów na głębokościach poniżej 80 m wystąpiło różnicowanie pomiędzy maksymalnymi wartościami tego parametru oraz nastąpił ich nagły wzrost (rys. 5.5).



Rys. 5.5. Rozkład zmienności zasolenia w połowach rybackich dla poszczególnych gatunków ryb; zagregowane dla miesięcy. Kody gatunków: COD – dorsz (*G. morhua*), FLE – stornia (*P. flesus*), HER – śledź (*C. harengus*), SPR – szprot (*S. sprattus*).
Boxplot: maks. = wartości skrajne maksymalne, Q3 = 75% wartości, Me = mediana, Q1 = 25% wartości, min. = wartości skrajne minimalne

Źródło: opracowanie własne IM UMG.

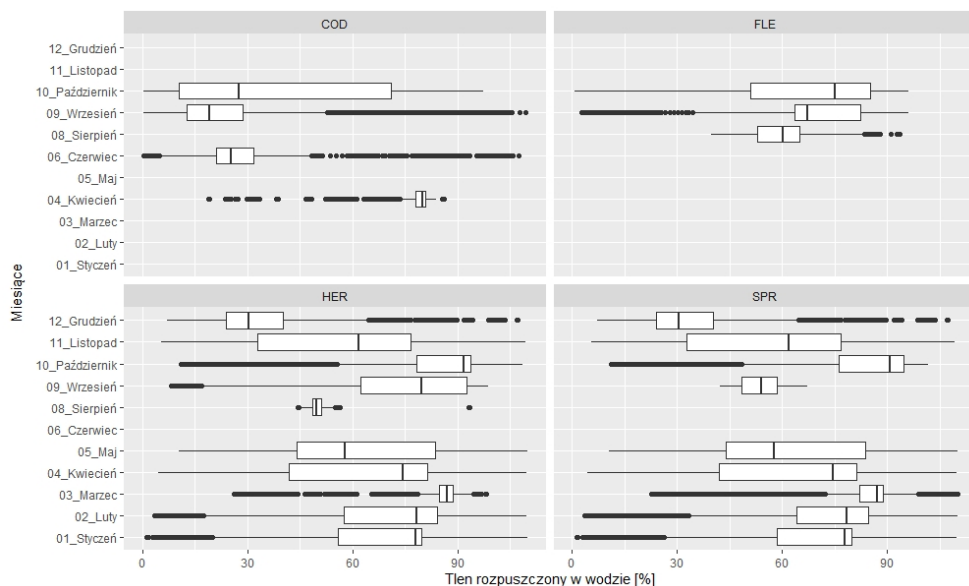
W przypadku dorsza wartości zasolenia, jakie wystąpiły podczas połowu, są najwyższe spośród modelowych gatunków ryb i oscylowały w granicach 6,8–13,4. Najczęściej pomiary prowadzone były dla wartości 10,1. Wysokie wartości zasolenia wystąpiły głównie za sprawą prowadzenia połowów tego gatunku na największych głębokościach.

Stornię poławiano głównie w zasoleniu 7,4 na podstawie wszystkich zebranych danych. Raz połów odbył się również w wyższym zasoleniu przekraczającym 11. Połowy odbywały się głównie przy użyciu narzędzi pasywnych, wystawianych na najmniejszych głębokościach w całym zestawieniu danych, gdzie nie odnotowano wzrostu wartości tego parametru.

Śledzia łowiono najczęściej w zasoleniu 7,6. Minimalne zasolenie wynosiło 5,0, a maksymalne w ciągu wszystkich miesięcy 12,8. Regularnie prowadzono połowy w granicach o niewielkim zróżnicowaniu tego parametru – 7,4–7,9.

Szprota łowiono najczęściej w zasoleniu 7,7. Minimalne zasolenie wynosiło 5,0, a maksymalne w ciągu wszystkich miesięcy 12,8, jak w przypadku śledzia. Jednak zakres dla tego parametru zawiera się dla tego gatunku w wyższych granicach wartości – 7,5–8,6.

Rozkład zmienności tlenu rozpuszczonego w wodzie należy do najbardziej zmiennych analizowanych parametrów. Różnice pomiędzy gatunkami wynikają również z liczby analizowanych rekordów z poprawnymi wartościami dla tego parametru, stąd również dla storni i dorsza dane charakteryzują się największymi różnicami (rys. 5.6).



Rys. 5.6. Rozkład zmienności tlenu rozpuszczonego w wodzie w połowach rybackich dla poszczególnych gatunków ryb; zagregowane dla miesięcy. Kody gatunków: COD – dorsz (*G. morhua*), FLE – stornia (*P. flesus*), HER – śledź (*C. harengus*), SPR – szprot (*S. sprattus*). Boxplot: maks. = wartości skrajne maksymalne, Q3 = 75% wartości, Me = mediana, Q1 = 25% wartości, min. = wartości skrajne minimalne

Źródło: opracowanie własne IM UMG.

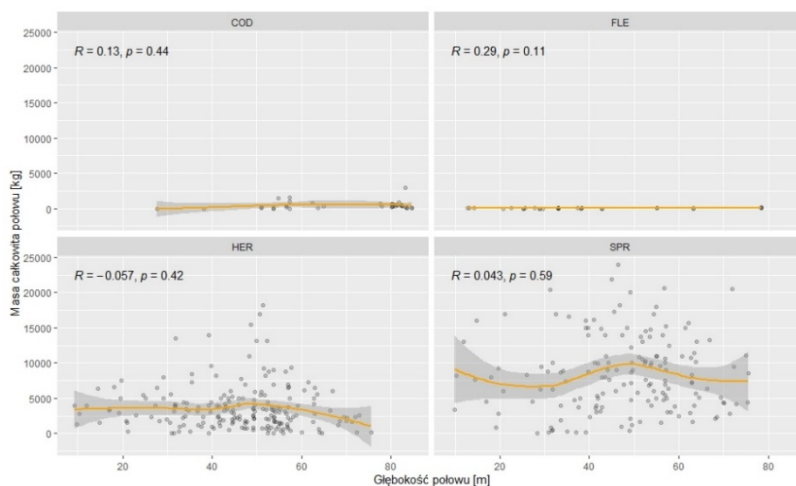
Połowy dorsza odbywały się na największych głębokościach, dlatego też wartości tlenu rozpuszczonego w wodzie były w tym przypadku najmniejsze i zawierały się w granicach ekstremalnie niskich – 0,3–12,2% dla 25% analizowanych tu połowów. Większość połowów prowadzona była dla wartości nasycenia wody tlenem 23%.

Stornię łowiono na małych głębokościach, najczęściej wartości nasycenia wody tlenem znajdowały się w okolicach 68,4%.

Śledzia łowiono przy najwyższych średnich wartościach nasycenia wody tlenem – 73,5%. Na początku zimy, w grudniu, raz przeprowadzono połów przy najniższych wartościach – w okolicach 30%. W październiku natomiast wartości te były najwyższe – 91,1%.

Wartości średnie nasycenia wody tlenem w trakcie połowów szprota były na poziomie 67,7%. Gatunek ten łowiono częściej na większych głębokościach niż śledzia, stąd też wartości tego parametru były zawsze dla szprota o kilka procent niższe. W październiku odnotowano najwyższe wartości nasycenia wody tlenem – na poziomie 85,9%.

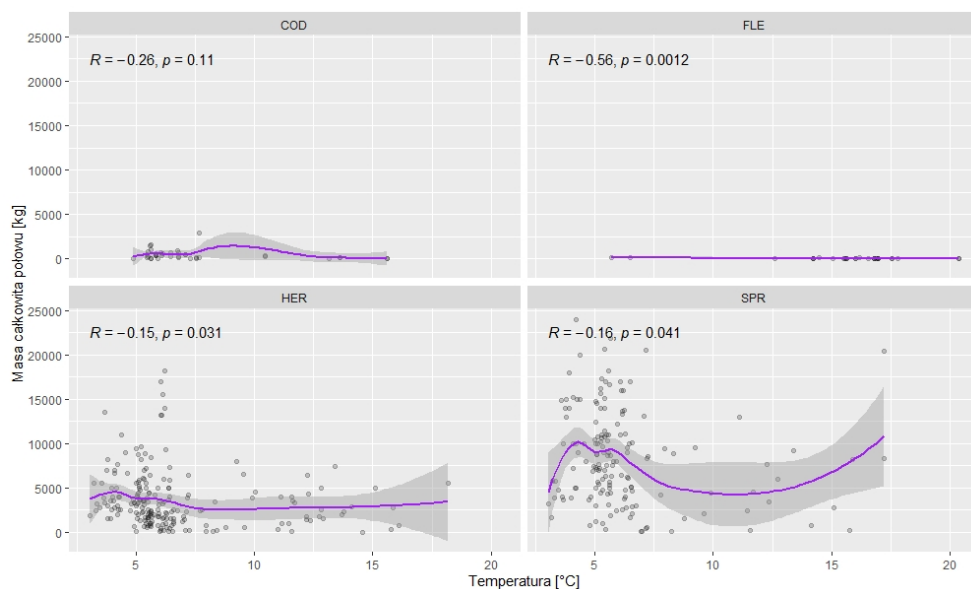
Biomasa połowów nie wykazała silnego związku z głębokością dla żadnego gatunku. Jedynie u storni stwierdzono statystycznie istotną zależność ($p = 0,11$, r Pearsona (R) 0,29) pomiędzy głębokością a uzyskaną masą połowu (rys. 5.7). Jednakże w analizowanych połowach stosowano różne narzędzia połowowe, co wpłynęło na tę różnicę.



Rys. 5.7. Zależność pomiędzy masą całkowitą połowu poszczególnych gatunków ryb a głębokością na podstawie współczynnika korelacji r Pearsona oraz analizy wariancji ANOVA. Kody gatunków: COD – dorsz (*G. morhua*), FLE – stornia (*P. flesus*), HER – śledź (*C. harengus*), SPR – szprot (*S. sprattus*)

Źródło: opracowanie własne IM UMG.

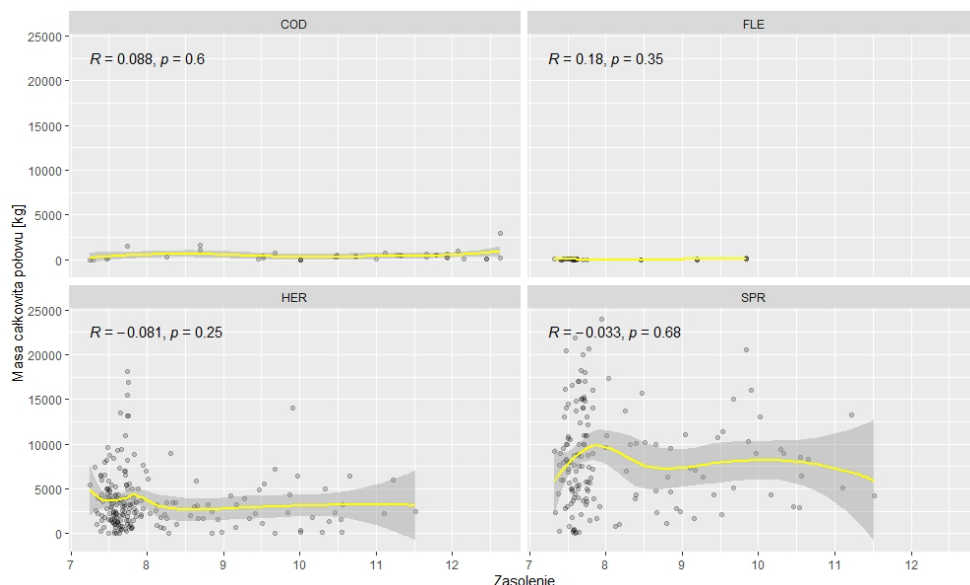
Wykazano statystycznie istotną korelację pomiędzy temperaturą i masą połowu dla każdego gatunku modelowego (rys. 5.8). Zależność ta jest dobrze uwierzytelniona dla ryb pelagicznych – śledzia i szprota, dla których istnieje największa liczba danych. Masa połowów wzrasta wraz ze spadkiem zakresu temperatury. Do obliczeń użyto wartości mediany wyliczonej po odfiltrowaniu powierzchniowych warstw morza do głębokości 20 m.



Rys. 5.8. Zależność pomiędzy masą całkowitą połowu poszczególnych gatunków ryb a temperaturą na podstawie współczynnika korelacji r Pearsona oraz analizy wariancji ANOVA. Kody gatunków: COD – dorsz (*G. morhua*), FLE – stornia (*P. flesus*), HER – śledź (*C. harengus*), SPR – szprot (*S. sprattus*)

Źródło: opracowanie własne IM UMG.

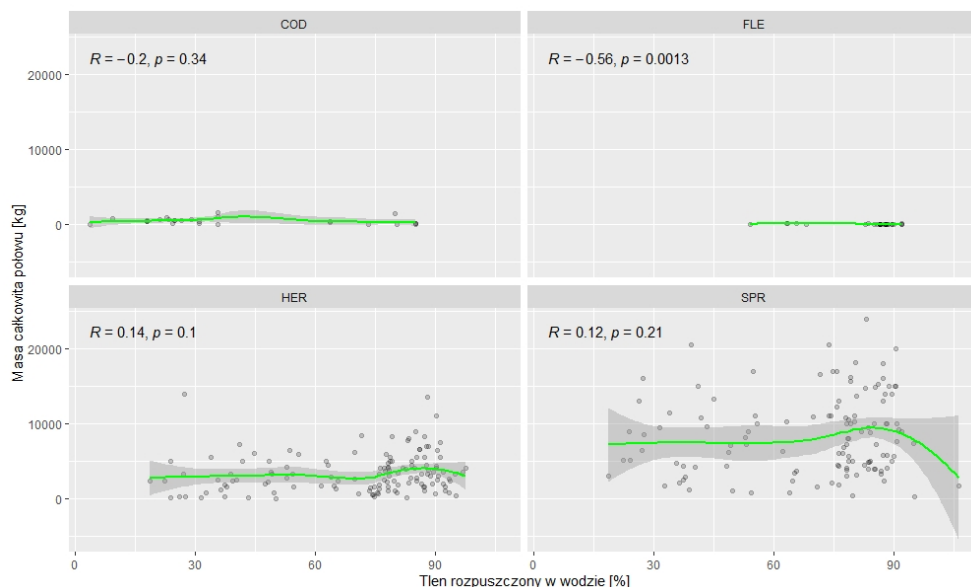
Nie wykazano statystycznie istotnej korelacji pomiędzy zasoleniem a masą połowu dla żadnego badanego gatunku (rys. 5.9).



Rys. 5.9. Zależność pomiędzy masą całkowitą połowu poszczególnych gatunków ryb a zasoleniem na podstawie współczynnika korelacji r Pearsona oraz analizy wariancji ANOVA. Kody gatunków: COD – dorsz (*G. morhua*), FLE – stornia (*P. flesus*), HER – śledź (*C. harengus*), SPR – szprot (*S. sprattus*)

Źródło: opracowanie własne IM UMG.

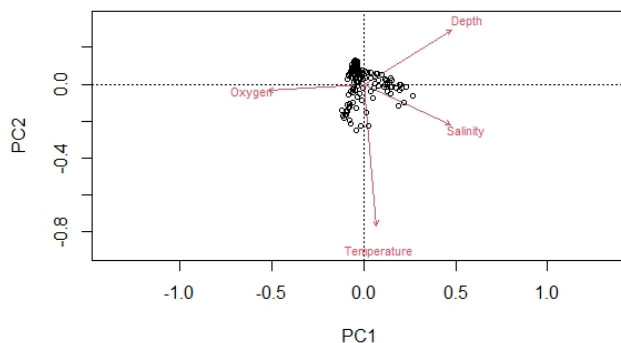
Wykazano statystycznie istotną zależność pomiędzy zawartością tlenu rozpuszczonego w wodzie a masą uzyskanego połowu, jednakże za wiarygodne należy uznać jedynie wyniki dla połowów ryb pelagicznych – śledzia i szprota, dla których istnieje największa liczba danych, a połowy miały powtarzalny przebieg. Dla śledzia odnotowano wartość $p = 0,1$, natomiast dla szprota wartość mniej istotną $p = 0,21$, co było uwarunkowane faktem, że połowy tego gatunku były prowadzone na większych głębokościach, na których występują niższe wartości nasycenia wody tlenem (rys. 5.10).



Rys. 5.10. Zależność pomiędzy masą całkowitą połowu poszczególnych gatunków ryb a tlenem rozpuszczonym w wodzie na podstawie współczynnika korelacji r Pearsona oraz analizy wariancji ANOVA. Kody gatunków: COD – dorsz (*G. morhua*), FLE – stornia (*P. flesus*), HER – śledź (*C. harengus*), SPR – szprot (*S. sprattus*)

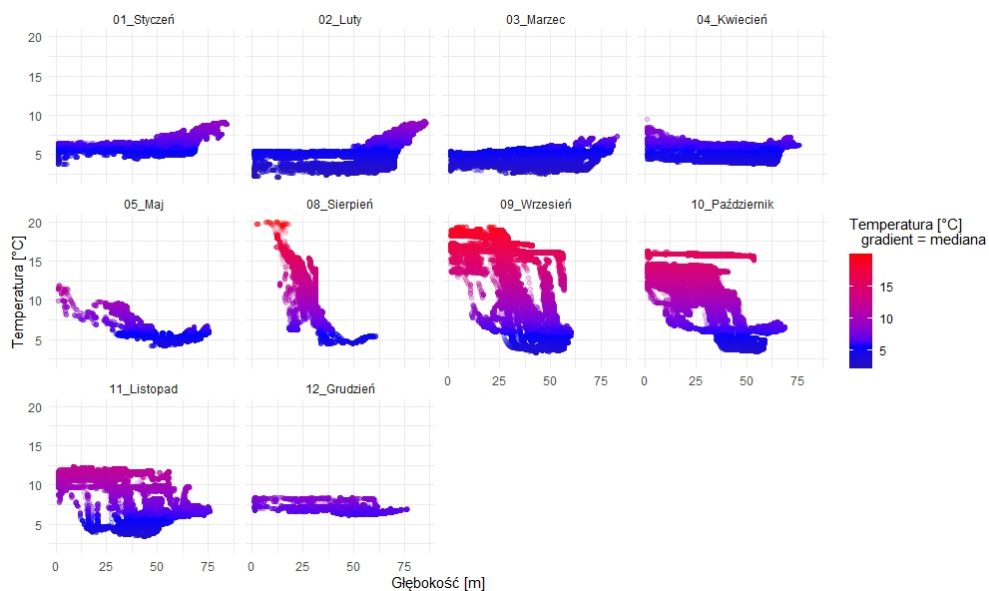
Źródło: opracowanie własne IM UMG.

Przeprowadzona analiza składowych głównych (PCA) wykazała, że wśród badanych parametrów głównymi czynnikami warunkującymi połowy były temperatura oraz zasolenie (rys. 5.11). Dużymi zmiennościami charakteryzowała się głębokość, na której znajdowano ławice ryb. Głębokość charakteryzowała się dużą zmiennością głównie z uwagi na dynamiczne zmiany występowania optymalnych warstw powiązanych z temperaturą i formowaniem się termokliny, która dobrze odznaczała swoją obecność nawet na surowych profilach sondy CTD (rys. 5.12).



Rys. 5.11. Analiza głównych składowych na podstawie testu PCA (*principal component analysis*) dla badanych parametrów. Dla pierwszej osi procent wariancji wynosi 65,99, dla osi drugiej zaś 29,29

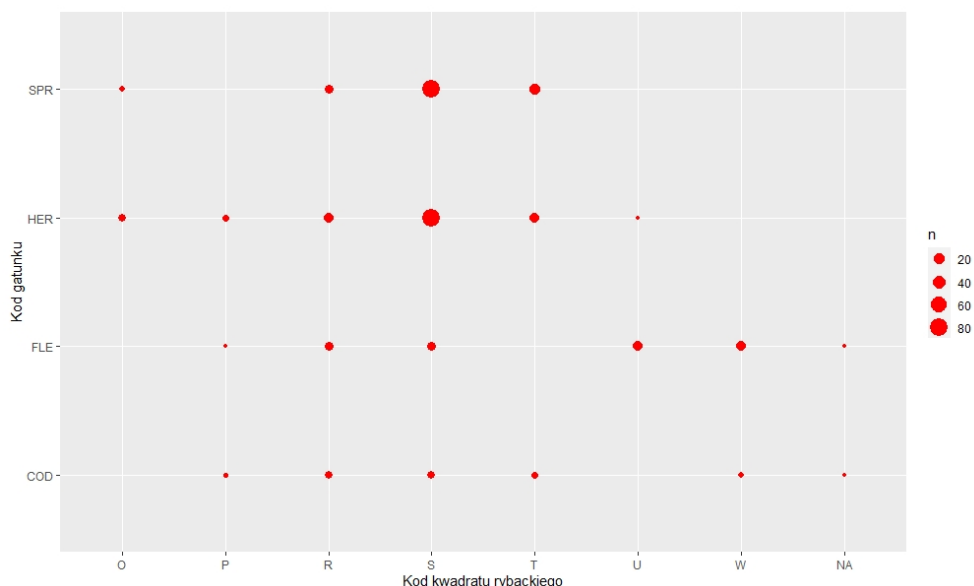
Źródło: opracowanie własne IM UMG.



Rys. 5.12. Warstwa wody wydzielona gradientem dzielonym wartością mediany temperatury = 5,768°C, na podstawie danych z połowów ryb pelagicznych – śledzia (*C. harengus*) i szprota (*S. sprattus*). Dane do obliczenia mediany zostały wyfiltrowane dla warstwy wód poniżej 20 m dla obu gatunków łącznie. Wykresy przedstawiają cały zakres danych

Źródło: opracowanie własne IM UMG.

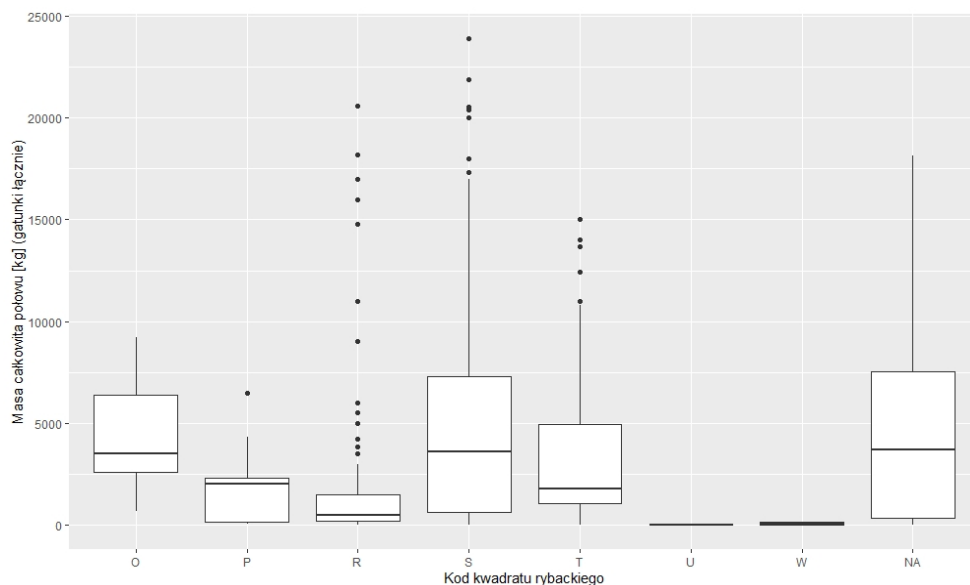
Największą liczbę pomiarów sondą CTD oraz połowów rybackich wykonano w linii kwadratów rybackich S, a najwięcej w kwadratach S6 i S7. Połowy realizowane w obszarach kwadratów w linii S były związane przede wszystkim z połowami ryb pelagicznych śledzia i szprota. Połowy pozostałych gatunków modelowych ryb były rozproszone od kwadratów rybackich P do W. Część połowów, w których dokonano pomiarów sondą CTD, nie została zaraportowana (kod kwadratu: NA) (rys. 5.13).



Rys. 5.13. Rozkład liczby odbytych rejsów w linii kwadratów rybackich w podziale na gatunki modelowe. Kody gatunków: COD – dorsz (*G. morhua*), FLE – stornia (*P. flesus*), HER – śledź (*C. harengus*), SPR – szprot (*S. sprattus*)

Źródło: opracowanie własne IM UMG.

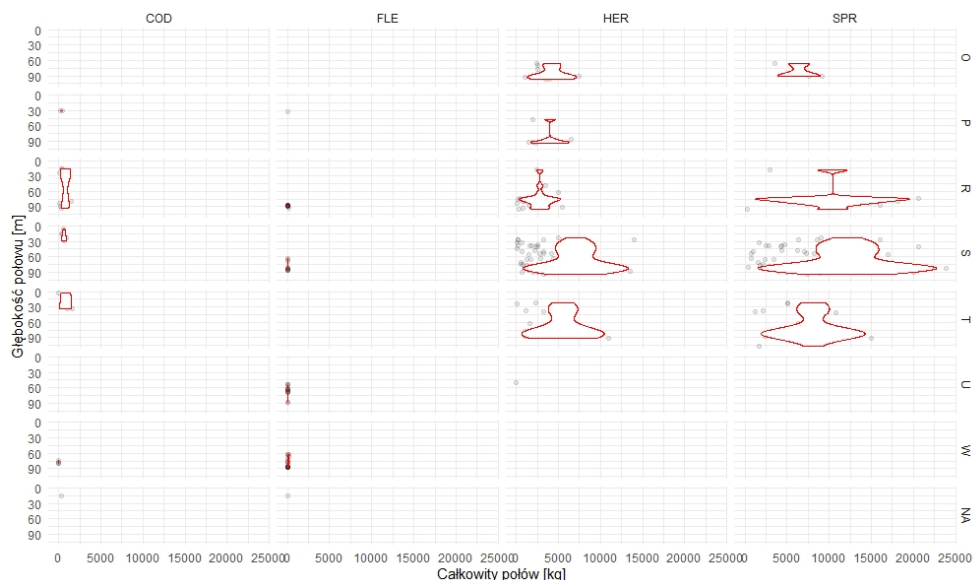
Największa masa złowionych ryb pochodziła z linii kwadratów R, S, T oraz O (rys. 5.14). Kwadraty z kategorii U i W miały najmniejszy udział w masie. Znaczny przedział masy połowów nie został zaraportowany pod względem lokalizacji.



Rys. 5.14. Całkowita masa raportowanych połowów rybackich z użyciem sondy CTD w linii kwadratów rybackich

Źródło: opracowanie własne IM UMG.

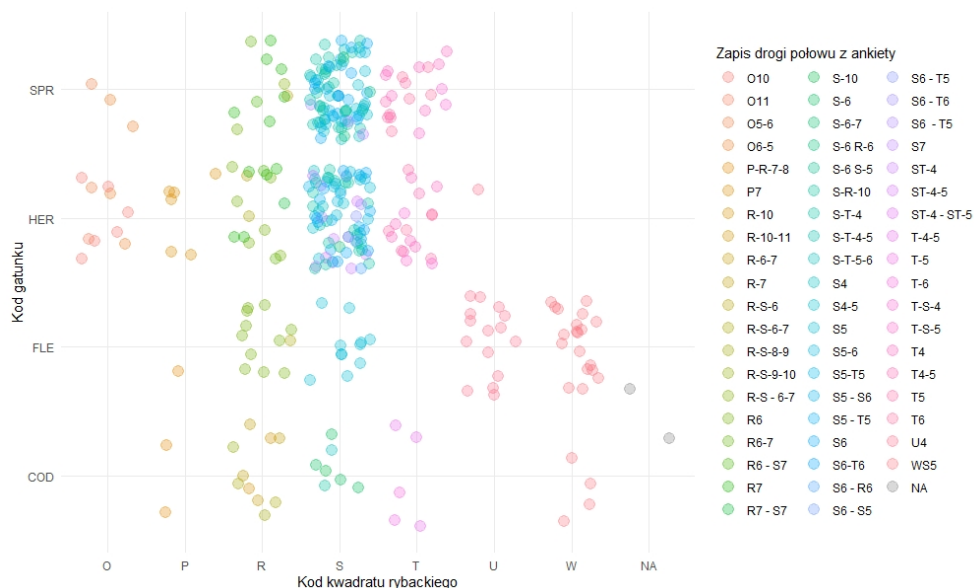
Masa połowów poszczególnych gatunków była bardzo zróżnicowana i zależna od użytego narzędzia połowowego. Dorsz w większości analizowanych połowów był łowiony narzędziami aktywnymi w zakresie 145–2925 kg (rys. 5.15). Najwydajniejsze realizowane połowy dla tego gatunku odbyły się w kwadracie R. Najlepsze wyniki połowowe dla ryb pelagicznych realizowano w kwadracie S. Śledź łowiony był w zakresie 1600–18 160 kg, natomiast szprot w zakresie 4230–23 910 kg. Stornia była łowiona najczęściej narzędziami pasywnymi, mniej wydajnymi, w zakresie 11–52 kg, głównie w kwadratach U i W.



Rys. 5.15. Masa raportowanych połowów poszczególnych gatunków ryb modelowych w linii kwadratów rybackich w rozkładzie głębokości. Kody gatunków: COD – dorsz (*G. morhua*), FLE – stornia (*P. flesus*), HER – śledź (*C. harengus*), SPR – szprot (*S. sprattus*)

Źródło: opracowanie własne IM UMG.

Realizowane połowy rybackie w wielu przypadkach wykraczały poza pojedynczy kwadrat rybacki i przebiegały złożonym szlakiem. Połowy ryb pelagicznych śledzia i szprota realizowane były głównie pomiędzy kwadratami R, S i T oraz charakteryzowały się często przebiegiem wzdłuż kwadratów S (rys. 5.16).



Rys. 5.16. Lokalizacja pomiarów sondą CTD według rozmieszczenia kwadratów rybackich dla badanych gatunków na podstawie deklaracji rybaków – zapisu drogi połowu z ankiety.

Kody gatunków: COD – dorsz (*G. morhua*), FLE – stornia (*P. flesus*),

HER – śledź (*C. harengus*), SPR – szprot (*S. sprattus*)

Źródło: opracowanie własne IM UMG.

5.4. PODSUMOWANIE

Lokalizacje ławic ryb skupiały się głównie w warstwie toni wodnej o ustabilizowanych wartościach temperatury – dla ryb pelagicznych najczęściej były to warstwy termokliny, a dla pozostałych gatunków – rejonu poniżej niej. W rozdzielczości miesięcznej, w ciągu zmian sezonowych w trakcie całego roku, ten parametr charakteryzował się dużą powtarzalnością wartości: oscylowały one w okolicach 5,8°C. W miesiącach jesiennych parametr ten charakteryzował się największą zmiennością z uwagi na dużą dynamikę wód.

W Morzu Bałtyckim zasolenie wzrasta w rejonach głębokowodnych, co zaobserwowano też w trakcie prowadzonych połowów rybackich, podczas których неоднократно przekroczono haloklinę i obserwowano zasolenie często powyżej 11, najczęściej jednak zasolenie miało wartość w okolicach 7,9. Parametr ten nie miał strategicznego znaczenia w wyborze łowisk.

Najczęstsza głębokość połowu wynosiła 48,09 m, parametr ten jednak był znacząco uzależniony od optymalnej temperatury i oscylował w całym roku aż do 65,7 m. Również wartości rozpuszczonego tlenu zmieniały się gwałtownie –

od pełnego natlenienia 100%, aż do wartości skrajnych spadających do 1%, jednak dla większości prowadzonych połowów natlenienie przyjmowało wartości w okolicach 78,1%. Oba parametry miały bardzo zmienne wartości w ciągu całego roku i nie były elementami strategicznymi w wyborze łowisk.

Sukces połowowy był uzależniony głównie od temperatury – odnotowano statystycznie istotną korelację pomiędzy spadkiem temperatury a wzrostem masy odłowionych ryb; korelacja ta była silna przede wszystkim dla śledzia i szprot. Pozostałe analizowane parametry nie wykazały takiej zależności.

LITERATURA

1. Akimova A., Núñez-Riboni I., Kempf A., Marc H. Taylor M.H., *Spatially-resolved influence of temperature and salinity on stock and recruitment variability of commercially important fishes in the North Sea*, red. G. Ottersen, PLOS ONE, 2016, 11(9), e0161917.
2. Bauer B., Horbowy J., Rahikainen M., Kulatska N., Müller-Karulis B., Tomczak M.T., Bartolino V., *Model uncertainty and simulated multispecies fisheries management advice in the Baltic Sea*, red. C.A. Ng, PLOS ONE, 2019, 14(1), e0211320.
3. Cabral H., Drouineau H., Teles-Machado A., Pierre M., Lepage M., Lobry J., Reis-Santos P., Tanner S.E., *Contrasting impacts of climate change on connectivity and larval recruitment to estuarine nursery areas*, Progress in Oceanography, 2021, 196, 102608.
4. Duthie G.G., Houlihan D.F., *The effect of single step and fluctuating temperature changes on the oxygen consumption of flounders, Platichthys flesus (L.): lack of temperature adaptation*, Journal of Fish Biology, 1982, 21(2), 1982, 215–226.
5. Fonds M., Cronie R., Vethaak A.D., van der Puyl P., *Metabolism, food consumption and growth of plaice (Pleuronectes platessa) and flounder (Platichthys flesus) in relation to fish size and temperature*, Netherlands Journal of Sea Research, 1992, 29(1–3), 1992, 127–143.
6. Freitas C., Villegas-Rios D., Moland E., Olsen E.M., *Sea temperature effects on depth use and habitat selection in a marine fish community*, Journal of Animal Ecology, 2021, 90(7), 1787–1800.
7. Gollock M.J., Currie S., Petersen L.H., Gamperl A.K., *Cardiovascular and haematological responses of Atlantic cod (Gadus morhua) to acute temperature increase*, Journal of Experimental Biology, 2006, 209(15), 2961–2970.
8. Harvey Ch.J., Cox S.P., Essington T.E., Hansson S., Kitchell J.F., *An ecosystem model of food web and fisheries interactions in the Baltic Sea*, ICES Journal of Marine Science, 2003, 60(5), 939–950.
9. Hinrichsen H.H., Huwer B., Makarchouk A., Petereit Ch., Schaber M., Voss R., *Climate-driven long-term trends in Baltic Sea oxygen concentrations and the potential consequences for Eastern Baltic cod (Gadus morhua)*, ICES Journal of Marine Science, 2011, 68(10), 2011, 2019–2028.
10. Hinrichsen H.H., Kraus G., Voss R., Stepputtis D., Baumann H., *The general distribution pattern and mixing probability of Baltic sprat juvenile populations*, Journal of Marine Systems, 2005, 58(1–2), 52–66.
11. Hutchinson S., Hawkins L.E., *The relationship between temperature and the size and age of larvae and peri-metamorphic stages of Pleuronectes flesus*, Journal of Fish Biology, 2004, 65(2), 448–459.

12. ICES, *Baltic Sea Ecoregion – Ecosystem Overview*, ICES Ecosystem Overviews, 2018, 2.
13. Karaseva E.M., Ivanovich V.M., *Vertical distribution of eggs and larvae of the Baltic sprat *Sprattus sprattus balticus* (Clupeidae) in relation to seasonal and diurnal variation*, Journal of Ichthyology, 2010, 50(3), 259–269.
14. Maravelias Ch.D., Reid D.G., Swartzman G., *Modelling spatio-temporal effects of environment on Atlantic herring, *Clupea harengus**, Environmental Biology of Fishes, 2000, 58(2), 157–172.
15. Markus Meier H.E., Kniebusch M., Dieterich Ch., Gröger M., Zorita E., Elmgren R., Myrberg K., Ahola M.P., Bartosova A., Bonsdorff E., Börgel F., Capell R., Carlén I., Carlund T., Carstensen J., Christensen O.B., Dierschke V., Frauen C., Frederiksen M., Gaget E., Galatius A., Haapala J.J., Halkka A., Hugelius G., Hünicke B., Jaagus J., Jüssi M., Käyhkö J., Kirchner N., Kjellström E., Kulinski K., Lehmann A., Lindström G., May W., Miller P.A., Mohrholz V., Müller-Karulis B., Pavón-Jordán D., Quante M., Reckermann M., Rutgersson A., Savchuk O.P., Stendel M., Tuomi L., Viitala M., Weisse R., Zhang W., *Climate change in the Baltic Sea region: a summary*, Earth System Dynamics, 2022, 13(1), 457–593.
16. Martinho F., Dolbeth M., Viegas I., Teixeira C.M., Cabral H.N., Pardal M.A., *Environmental effects on the recruitment variability of nursery species*, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2009, 83(4), 2009, 460–468.
17. Parmanne R., Rechlin O., Sjöstrand B., *Status and future of herring and sprat stocks in the Baltic Sea*, Dana, 1994, 10, 29–59.
18. Petereit C., Haslob H., Kraus G., Clemmesen C., *The influence of temperature on the development of Baltic Sea sprat (*Sprattus sprattus*) eggs and yolk sac larvae*, Marine Biology, 2008, 154(2), 295–306.
19. Petereit Ch., Hinrichsen H.H., Voss R., Kraus G., Freese M., Clemmesen C., *The influence of different salinity conditions on egg buoyancy and development and yolk sac larval survival and morphometric traits of Baltic Sea sprat (*Sprattus sprattus balticus* Schneider)*, Scientia Marina, 2009, 73(S1), 59–72.
20. Rajasilta M., Eklund J., Laine P., Jonsson N., Lorenz T., *Intensive monitoring of spawning populations of the Baltic herring (*Clupea harengus membras* L.)*, Final report of the study project ref. N. 96-068, 2006, 1997–1999, SEILI Archipelago Research Institute Publications No. 3.
21. Saraux C., Fromentin J.M., Bigot J.L., Bourdeix J.H., Morfin M., Roos D., van Beveren E., Bez N., *Spatial structure and distribution of small pelagic fish in the Northwestern Mediterranean Sea*, PLoS ONE, 2014, 9(11), e111211.
22. Schwertman N.C., Owens M.A., Adnan R., *A simple more general boxplot method for identifying outliers*, Computational Statistics and Data Analysis, 2004, 47(1), 165–174.
23. Tamm O., Maasikamäe S., Padari A., Tamm T., *Modelling the effects of land use and climate change on the water resources in the Eastern Baltic Sea region using the SWAT model*, Catena, 2018, 167, 78–89.
24. Tirsgaard B., Svendsen J.Ch., Steffensen J.F., *Effects of temperature on specific dynamic action in Atlantic cod *Gadus morhua**, Fish Physiology and Biochemistry, 2015, 41(1), 41–50.
25. Voss R., Hinrichsen H.H., Quaas M.F., Schmidt J.O., Tahvonen O., *Temperature change and Baltic sprat: from observations to ecological-economic modelling*, ICES Journal of Marine Science, 2011, 68(6), 1244–1256.

Praca wykonana w ramach projektu „Platforma transferu wiedzy FindFISH – Numeryczny System Prognozowania warunków środowiska morskiego Zatoki Gdańskiej dla Rybołówstwa” (nr RPPM.01.01.01-22-0025/16-00) współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Pomorskiego na lata 2014–2020.