

Maciej Janecki  0000-0002-8784-2862

Lidia Dzierzbicka-Głowacka  0000-0001-6151-2390

INSTYTUT OCEANOLOGII POLSKIEJ AKADEMII NAUK W SOPOCIE

adres e-mail do korespondencji: mjanecki@iopan.pl

DOI: 10.26408/FindFISH-09

9. MODUŁ FISH – MAPOWANIE NAJKORZYSTNIEJSZYCH WARUNKÓW ŚRODOWISKOWYCH DLA BYTOWANIA RYB BADANYCH GATUNKÓW POŁAWIANYCH PRZEMYSŁOWO W REJONIE ZATOKI GDAŃSKIEJ

WPROWADZENIE

Ocena przydatności siedlisk jest ważnym aspektem ochrony siedlisk znajdujących się blisko ujść rzecznych. W celu obliczenia wskaźnika przydatności siedlisk (*habitat suitability index*, HSI) zastosowano metodologię wartości minimalnej (Beecher i in., 2002; Bovee, 1986), metodologię sumowania ważonego (Poulos i in., 2012) oraz metodologię ważonej średniej geometrycznej (Inglis i in., 2006). Metody te wymagają dobrej znajomości preferencji analizowanego gatunku. Ponadto potrzebują dużej liczby bardzo dokładnych danych. W ekologii występuje wiele niepewności, w tym istnienie zmiennych losowych, niekompletne lub niedokładne pomiary oraz wykorzystywanie wyników szacunkowych zamiast pomiarów bezpośrednich.

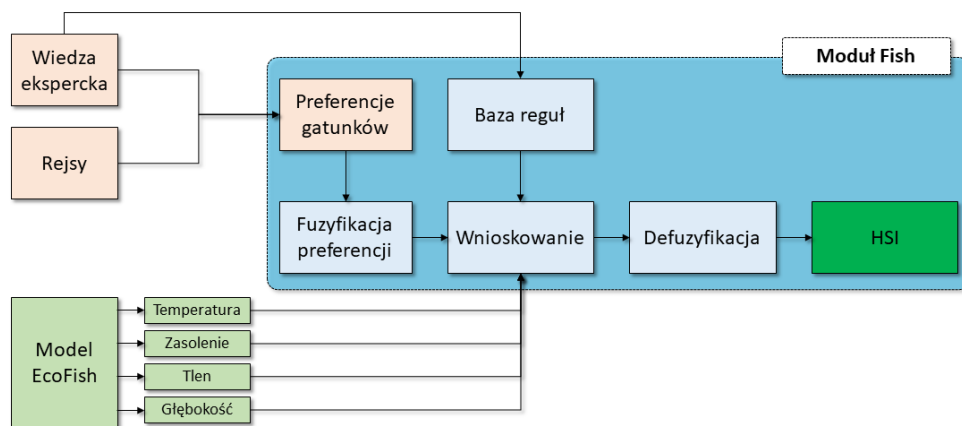
Ograniczenia wymienionych metod doprowadziły do zainteresowania logiką rozmytą, czyli metodą, która może przetwarzać niepewności. Ważną zaletą logiki rozmytej jest lepsze wykorzystanie nieprecyzyjnych i niepewnych wyników pomiarów oraz rozmytej wiedzy eksperckiej. Podstawowymi elementami logiki rozmytej są zbiory i reguły rozmyte. Wyrażając niepewność symulacji siedliska, zbiory rozmyte wykorzystują nieprecyzyjne lub niejasne informacje. Dostępna wiedza ekspercka jest wyrażona jako zestaw danych preferencji (Fraternali i in., 2012; Prato, 2007). Rozumując za pomocą rozmytych zbiorów i reguł, możemy sformułować granice przejściowe lub wiedzę jakościową, a następnie dokonać rozmytego, kompleksowego osądu, który jest podobny do ludzkiego procesu myślowego. W ten sposób możemy rozwiązywać oparte na regułach problemy rozmyte, które są trudne dla metod ogólnych (Van Broekhoven i in., 2006). Modele oparte

na regułach rozmytych zostały zastosowane w licznych badaniach, dzięki temu, że są zaprojektowane z wykorzystaniem wiedzy jakościowej i mają strukturę, która sprzyja interpretacji wyników (Chou i in., 2007; Fukuda i in., 2011; Legleiter i Goodchild, 2005; Mouton i in., 2009; Rüger i in., 2005; Zhang i in., 2016).

Ze względu na założenia i cele projektu „Platforma transferu wiedzy FindFISH” wykorzystanie zalet logiki rozmytej stało się naturalnym wyborem podczas projektowania modułu Fish. Jest to finalny i najważniejszy element systemu, który przy zastosowaniu logiki rozmytej pozwala na tworzenie map najkorzystniejszych warunków środowiskowych (HSI) do bytowania ryb poławianych przemysłowo w rejonie Zatoki Gdańskiej, tj. śledzia, szprota, dorsza i storni. Dzięki takiemu narzędziu, działającemu w trybie operacyjnym, możliwe jest zwiększenie intensywności transferu wiedzy i wykorzystania potencjału naukowego przez rybaków, a w konsekwencji przyczynienie się do zrównoważonego rozwoju rybołówstwa morskiego i zwiększenia ochrony ekosystemu Zatoki Gdańskiej.

9.1. IMPLEMENTACJA MODUŁU FISH

Przed stworzeniem kodu źródłowego modułu Fish (rys. 9.1) i jego implementacją na serwerze obliczeniowym przeprowadzono szereg prac poprzedzających.



Rys. 9.1. Ogólny schemat modułu Fish

Źródło: opracowanie własne.

W pierwszej kolejności należało ustalić graniczne wartości parametrów określających optymalne warunki dla bytowania badanych gatunków ryb: śledzia, szprota, dorsza oraz storni. Do tego celu wykorzystano dane opisujące preferencje środowiskowe ryb w badanym obszarze (Zatoka Gdańska), które zostały

sprecyzowane w ramach projektu (Pieckiel, Kuczyński, 2023) na podstawie połowów rybackich, danych literaturowych i wiedzy eksperckiej. Są to informacje na temat zarejestrowanych miejsc i czasu występowania łowisk oraz wielkości połowów połączone z danymi dotyczącymi wartości parametrów środowiska (temperatury, zasolenia, głębokości i zawartości tlenu w wodzie).

Następnie przeprowadzona została walidacja w celu zweryfikowania, czy temperatura, zasolenie i tlen pochodzące z modelu EcoFish cechują się wystarczającą zgodnością z danymi pomiarowymi, aby mogły służyć jako pola wejściowe do modułu Fish. Szczegóły dotyczące walidacji zmiennych fizycznych (tj. temperatury i zasolenia) zostały przedstawione w opracowaniach Janeckiego, Dybowskiego, Nowickiego, Jakackiego i Dzierzbickiej-Głowackiej (2023) oraz Janeckiego i in. (2021). Szczegóły dotyczące walidacji zawartości tlenu w wodzie przedstawili Janecki, Dybowski, Nowicki i Dzierzbicka-Głowacka (2023).

W kolejnym etapie prace prowadzone były w ramach samego modułu Fish. Powstała baza reguł wykorzystywana przy wnioskowaniu w systemie rozmytym oraz stworzono zestaw funkcji przynależności dla każdego rozpatrywanego gatunku. Po parametryzacji i kalibracji całego systemu należało sprawdzić poprawność wyników dostarczanych przez moduł Fish. W tym celu przeprowadzono walidację parametru HSI poprzez graficzne porównanie wartości otrzymanych z modułu Fish z wynikami wydajności połowowych, pochodzącymi z rejsów oceanograficzno-rybackich prowadzonych na statku r.v. Baltica przez Morski Instytut Rybacki – Państwowy Instytut Badawczy (Radtke i in., 2017; 2018a; 2018b; 2019a; 2019b; 2020a; 2020b; 2021).

9.1.1. Logika rozmyta

Prace nad implementacją modułu Fish wymagały wykorzystania logiki wielowartościowej (rozmytej). Logika rozmyta stanowi uogólnienie klasycznej dwuwartościowej logiki, w której między stanem 0 (fałsz) a stanem 1 (prawda) rozciąga się szereg wartości pośrednich, określających stopień przynależności elementu do zbioru. Na systemy rozmyte składają się te techniki i metody, które służą do obrazowania informacji nieprecyzyjnych, nieokreślonych bądź niekonkretnych. Pozwalają one opisywać zjawiska o charakterze wieloznacznym, których nie są w stanie ująć teoria klasyczna i logika dwuwartościowa. Charakteryzują się tym, że wiedza jest przetwarzana w postaci symbolicznej i zapisywana w postaci rozmytych reguł. System rozmyty znajduje zastosowanie w tym wypadku, gdyż na występowanie ryb wpływa wiele wzajemnie powiązanych czynników i nie można bazować osobno na poszczególnych parametrach środowiskowych.

Prace programistyczne przy tworzeniu modułu Fish były prowadzone przy wykorzystaniu oprogramowania ze środowiska Matlab, a w szczególności rozszerzenia *Fuzzy Logic Toolbox*.

9.1.2. Fuzyfikacja

Fuzyfikacja (rozmywanie) polega na określeniu stopnia przynależności zmiennych lingwistycznych do każdego ze zbiorów rozmytych. W module Fish wykorzystano do tego celu stabelaryzowane dane, określające zakresy optymalnych wartości poszczególnych parametrów dla bytowania śledzia, szprota, dorsza oraz storni. W pierwszej wersji modułu Fish zastosowano podział na cztery pory roku (wiosna, lato, jesień i zima) oraz porę dnia (dzień i noc) dla następujących parametrów środowiskowych:

- temperatura;
- zasolenie;
- natlenienie;
- głębokość.

Po wstępnej analizie wyników szybko okazało się jednak, że podział na pory roku nie jest wystarczająco szczegółowy, i podjęto działania w celu zwiększenia rozdzielczości danych do miesięcznej (rys. 9.2, 9.3). Na podstawie tych danych stworzone zostały odpowiadające im wykresy zmienności. W pierwszym podejściu jako przedział optymalnych wartości parametrów wykorzystywano 25. i 75. percentyl.

Gatunek	Miesiąc	Temperatura				Zasolenie				Głębokość				Saturation			
		MIN	OPT-MIN	OPT-MAX	MAX	MIN	OPT-MIN	OPT-MAX	MAX	MIN	OPT-MIN	OPT-MAX	MAX	MIN	OPT-MIN	OPT-MAX	MAX
Śledź	Styczeń	4,5	5,7	6,5	9,1	7,4	7,6	8,3	12,1	15,0	38,7	57,1	84,2	15,0	38,7	57,1	84,2
	Luty	2,5	4,6	5,6	9,2	7,4	7,5	8,5	12,9	15,0	44,3	64,9	85,7	15,0	44,3	64,9	85,7
	Marzec	2,5	5,1	6,8	17,5	7,4	7,5	8,8	12,9	15,0	36,5	57,3	85,7	15,0	36,5	57,3	85,7
	Kwiecień	3,8	5,1	6,1	20,0	5,1	7,7	8,7	11,8	15,0	48,1	58,5	75,9	15,0	48,1	58,5	75,9
	Maj	4,1	5,3	6,1	9,8	7,2	7,6	9,9	11,3	15,1	38,3	66,1	75,6	15,1	38,3	66,1	75,6
	Czerwiec	4,1	5,3	6,1	9,8	7,2	7,6	9,9	11,3	15,1	38,3	66,1	75,6	15,1	38,3	66,1	75,6
	Lipiec	4,4	7,8	13,6	20,1	7,3	7,5	7,6	9,4	15,0	25,0	31,4	60,7	15,0	25,0	31,4	60,7
	Sierpień	4,4	7,8	13,6	20,1	7,3	7,5	7,6	9,4	15,0	25,0	31,4	60,7	15,0	25,0	31,4	60,7
	Wrzesień	3,3	4,7	15,1	20,0	7,0	7,4	8,1	10,8	15,0	35,4	52,2	60,3	15,0	35,4	52,2	60,3
	Październik	3,5	6,4	13,6	16,0	7,1	7,4	7,5	10,7	15,0	23,8	41,0	68,8	15,0	23,8	41,0	68,8
	Listopad	3,5	5,6	9,7	12,2	7,0	7,6	9,1	12,1	15,0	35,4	52,6	76,0	15,0	35,4	52,6	76,0
	Grudzień	6,1	6,6	7,2	8,4	7,5	7,6	9,3	11,1	15,1	30,7	53,6	76,5	15,1	30,7	53,6	76,5
Szprot	Styczeń	4,5	5,6	6,5	9,1	7,4	7,6	8,5	12,1	15,0	41,9	57,9	84,2	15,0	41,9	57,9	84,2
	Luty	2,4	4,6	5,8	9,2	7,4	7,5	8,6	12,9	15,0	45,9	65,0	85,7	15,0	45,9	65,0	85,7
	Marzec	2,5	3,8	5,2	7,3	7,4	7,6	8,0	11,3	15,0	39,8	55,7	83,0	15,0	39,8	55,7	83,0
	Kwiecień	3,8	4,9	5,9	20,0	5,1	7,7	9,4	11,8	15,0	47,9	59,9	75,9	15,0	47,9	59,9	75,9
	Maj	4,1	5,3	6,1	9,8	7,2	7,6	9,9	11,3	15,1	38,3	66,1	75,6	15,1	38,3	66,1	75,6
	Czerwiec	4,1	5,3	6,1	9,8	7,2	7,6	9,9	11,3	15,1	38,3	66,1	75,6	15,1	38,3	66,1	75,6
	Lipiec	10,4	12,6	15,5	17,6	7,4	7,5	7,5	7,5	15,4	17,8	24,4	25,7	15,4	17,8	24,4	25,7
	Sierpień	10,4	12,6	15,5	17,6	7,4	7,5	7,5	7,5	15,4	17,8	24,4	25,7	15,4	17,8	24,4	25,7
	Wrzesień	5,8	6,7	17,2	17,3	7,5	7,5	7,6	7,7	15,0	23,7	31,3	41,2	15,0	23,7	31,3	41,2
	Październik	4,6	11,6	15,7	16,0	7,1	7,4	7,5	10,7	15,0	18,8	35,4	68,8	15,0	18,8	35,4	68,8
	Listopad	3,5	5,3	9,8	12,2	7,0	7,5	9,3	12,1	15,0	33,5	50,6	76,0	15,0	33,5	50,6	76,0
	Grudzień	6,1	6,6	7,2	8,4	7,5	7,6	9,0	11,1	15,1	30,4	53,0	76,5	15,1	30,4	53,0	76,5

Rys. 9.2. Stabelaryzowane dane preferencji dla śledzia i szprota. OPT-MIN i OPT-MAX to odpowiednio 25. i 75. percentyl

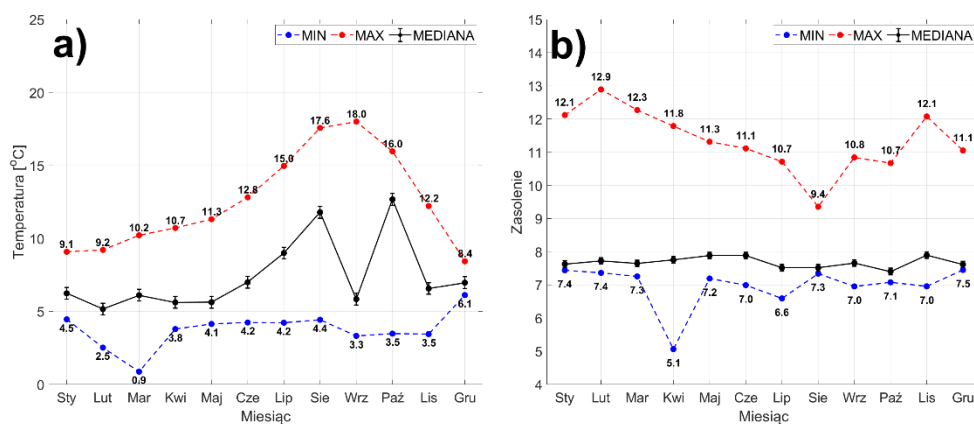
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych zebranych w ramach projektu i opracowanych przez dr. P. Piekiela.

Gatunek	Miesiąc	Temperatura				Zasolenie				Głębokość				Saturacja			
		MIN	OPT-MIN	OPT-MAX	MAX	MIN	OPT-MIN	OPT-MAX	MAX	MIN	OPT-MIN	OPT-MAX	MAX	MIN	OPT-MIN	OPT-MAX	MAX
Dorsz	Styczeń	4,1	4,9	5,6	6,0	6,9	7,4	7,8	11,5	18,0	38,0	49,0	55,0	64,0	77,0	89,0	95,0
	Luty	4,3	5,0	5,7	6,1	6,9	7,6	9,5	10,9	9,0	32,0	49,0	57,0	66,0	78,0	86,0	92,0
	Marzec	4,8	5,1	5,8	6,2	7,5	7,7	9,3	10,2	0,7	23,4	48,5	56,8	70,0	79,0	83,0	90,0
	Kwiecień	5,1	5,4	5,8	6,4	7,6	7,7	7,8	8,1	42,9	51,4	56,9	63,3	73,2	77,6	81,0	85,5
	Maj	4,2	6,2	7,9	10,3	9,1	11,2	12,6	13,1	62,5	76,2	85,3	92,6	37,0	45,0	52,0	66,0
	Czerwiec	4,4	5,8	6,8	8,1	9,8	11,0	11,9	12,6	71,2	76,7	81,6	86,1	5,0	21,3	32,2	48,8
	Lipiec	4,1	5,8	6,9	8,2	9,5	10,8	11,6	12,5	72,0	77,0	83,0	87,0	5,0	17,0	35,0	53,0
	Sierpień	4,0	5,8	6,9	8,3	8,8	10,3	11,5	12,3	71,0	76,0	84,0	86,0	2,0	16,0	32,0	54,0
	Wrzesień	3,8	5,7	6,9	8,8	8,4	10,1	11,1	12,2	67,8	76,9	82,7	85,4	0,3	13,2	30,1	55,5
	Październik	3,4	5,5	13,1	15,9	4,1	7,5	10,0	11,1	38,5	52,9	62,6	72,4	0,4	11,5	77,1	102,4
	Listopad	3,7	5,2	10,0	12,0	4,9	7,6	10,0	11,4	30,0	47,0	58,0	65,0	15,0	28,0	80,0	102,0
	Grudzień	3,9	5,1	7,0	8,0	5,5	7,4	10,0	11,6	23,0	42,0	53,0	57,0	29,0	42,0	83,0	101,0
Stornia	Styczeń	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Luty	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Marzec	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kwiecień	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Maj	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Czerwiec	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Lipiec	8,6	14,9	21,1	24,7	7,2	7,4	7,6	7,8	12,8	14,1	14,8	15,5	-	-	-	-
	Sierpień	4,8	13,3	20,2	21,0	7,3	7,4	7,5	7,7	0,1	15,2	28,6	44,6	39,7	53,5	65,8	84,4
	Wrzesień	11,6	14,7	16,4	19,3	7,1	7,3	7,4	7,7	19,1	23,1	25,7	29,5	49,8	64,1	82,4	99,8
	Październik	8,8	12,3	14,6	16,9	7,2	7,3	7,6	7,9	0,1	13,2	25,5	40,4	56,3	74,5	86,5	98,2
	Listopad	10,3	11,0	11,6	12,0	7,4	7,5	7,5	7,6	7,0	7,7	10,8	11,6	87,4	89,0	89,7	91,0
	Grudzień	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Rys. 9.3. Stabelaryzowane dane preferencji dla dorsza i stornia. OPT-MIN i OPT-MAX to odpowiednio 25. i 75. percentyl

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych zebranych w ramach projektu i opracowanych przez dr. P. Piekiela.

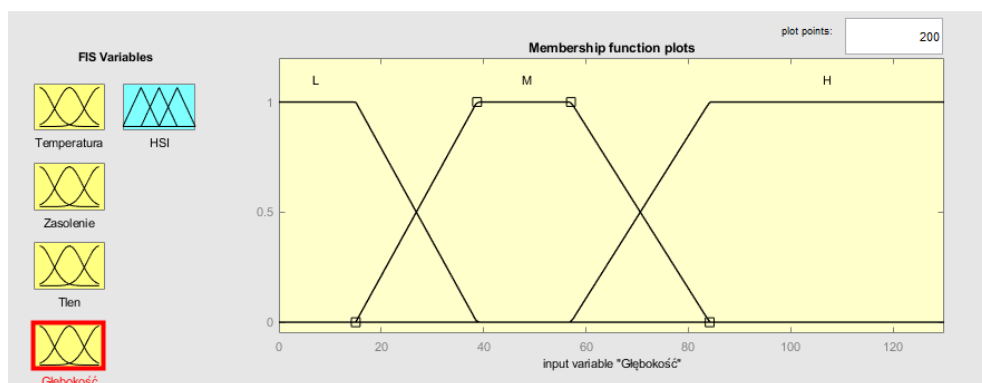
Przedział ten okazał się jednak zbyt szeroki, nie pozwalając na szczegółowe określenie najlepszej wartości parametru dla bytowania danego gatunku w danym miesiącu, co wpływało na małą zmienność HSI. W związku z tym zastosowano medianę optymalnej wartości o stałym odchyleniu. Przykładowe wykresy wartości temperatury (rys. 9.4a) i zasolenia (rys. 9.4b) preferowanych przez śledzia zostały przedstawione na rys. 9.4.



Rys. 9.4. Zmienność preferowanych przez śledzia wartości a) temperatury, b) zasolenia

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych zebranych w ramach projektu i opracowanych przez dr. P. Piekiela.

Przy tworzeniu funkcji przynależności zdecydowano się na wybór systemu rozmytego opartego na regułach Mamdaniego. Jest to intuicyjna, powszechnie wykorzystywana i akceptowalna metoda, która dobrze dopasowuje się do opisanych wejść. W celu wykreślenia funkcji przynależności należało ustalić zakres wartości i charakterystyczne punkty wykresu takiej funkcji, tzn. podać optymalne wartości każdego parametru biorącego udział w fuzyfikacji, wybrać typ funkcji i jej kształt (trójkątna, trapezowa, klasy S/Z/Pi, gaussowska, dzwonowa, sinusoidalna etc.). Na rys. 9.5 zaprezentowano przykładową funkcję przynależności dla głębokości bytowania szprota w styczniu.



Rys. 9.5. Krzywa przynależności dla głębokości bytowania szprota w styczniu

Źródło: opracowanie własne.

Takie funkcje przynależności ustalono dla każdego z czterech gatunków w każdym miesiącu, dla temperatury, zasolenia i zawartości tlenu w wodzie oraz głębokości występowania gatunku. Każda z funkcji składa się z trzech krzywych. Funkcje przynależności zostały skonstruowane w taki sposób, aby krzywa MEDIUM (M) zawsze odpowiadała optymalnym warunkom środowiskowym przy rozpatrywanym parametrze, a dwie odstające krzywe LOW (L) i HIGH (H) określały wartości parametru rzadziej preferowane przez dany gatunek. Dzięki temu reguły wnioskowania można było przygotować tak, aby były wspólne dla wszystkich gatunków. Wynikowa funkcja przynależności jest rozdzielona na stany określające pięć typów warunków środowiskowych: złe (L = low), niekorzystne (ML = medium-low), neutralne (M = medium), korzystne (MH = medium-high) oraz dobre (H = high).

9.1.3. Reguły wnioskowania

Reguły wnioskowania łączą zmienne wejściowe (temperaturę, zasolenie, tlen i głębokość) z warunkami środowiskowymi dla bytowania gatunku (HSI) za pomocą szeregu instrukcji warunkowych „JEŚLI-TO”. Reguły rozmyte są definiowane na podstawie wiedzy eksperckiej, a rozmyte dane wejściowe można przekształcić za pomocą tych reguł w rozmyte dane wyjściowe (tabela 9.1).

Tabela 9.1

Fragment arkusza z regułami wnioskowania w module Fish. Stany L, ML, M, MH, H oznaczają kolejno: niski, średnio niski, średni, średnio wysoki oraz wysoki

Lp.	Temperatura	Zasolenie	Tlen	Głębokość	HSI
1	H	H	L	H	L
2	M	M	L	H	ML
3	L	H	H	H	L
4	M	M	H	H	M
5	L	M	M	H	MH
6	H	H	L	L	L
7	M	M	H	L	MH
8	M	M	M	M	H
9	M	L	M	M	MH
10	H	M	M	M	L
11	M	L	H	H	ML
12	L	H	M	L	L

Źródło: opracowanie własne na podstawie wiedzy eksperckiej pracowników Instytutu Morskiego.

Na podstawie arkusza zaimplementowano szereg reguł poprzez zaznaczenie zbioru rozmytego dla wejścia w przesłance reguły oraz odpowiadającego mu zbioru wyjścia w konkluzji reguły. Określono $3^4 = 81$ reguł z wykorzystaniem operatora logicznego „I” (AND). Przykładowe reguły:

- Reguła 2: **JEŚLI** Temperatura Średnia **I** Zasolenie Średnie **I** Natlenienie Niskie **I** Głębokość Wysoka **TO** Warunki środowiskowe Niekorzystne;
- Reguła 5: **JEŚLI** Temperatura Niska **I** Zasolenie Średnie **I** Natlenienie Średnie **I** Głębokość Wysoka **TO** Warunki środowiskowe Korzystne.

W odniesieniu do bazy reguł rozmytych oblicza się wynikową funkcję przynależności, a następnie w procesie defuzyfikacji (ostrzenia) uzyskiwany jest wynik w postaci jednej wartości liczbowej dla HSI. Defuzyfikację przeprowadzono metodą centroidy.

9.1.4. Opis kodu źródłowego

Obliczenia w module Fish przebiegają według następującego algorytmu. Najpierw ładowane są stałe. Później określana jest lista plików wyjściowych z modelu EcoFish i następuje wczytywanie pól temperatury, zasolenia i koncentracji tlenu na wszystkich głębokościach (poziomach). Sprawdzany jest aktualny miesiąc, aby można było wczytać odpowiedni plik z rozmytymi funkcjami przynależności. Po tym etapie koncentracja tlenu jest konwertowana na saturację. Następnie wyznaczane są wartości HSI. Ostatnia część kodu odpowiada za zapisywanie wyznaczonych wartości do plików wyjściowych netCDF. Poza mapami HSI w skrypcie wyznaczane są również dodatkowe informacje, potencjalnie przydatne użytkownikom portalu, na którym dane będą umieszczane. Są to macierze z głębokościami, na których w danej lokalizacji obserwowane są HSI większe niż 0,7, 0,8 oraz 0,9. Ten zabieg ma na celu prezentację wyników w formie przystępniejszej dla użytkowników, którzy chcą wyświetlić jedynie miejsca cechujące się najlepszymi warunkami środowiskowymi dla bytowania danego gatunku, przy założonym zakresie 0,7–0,9.

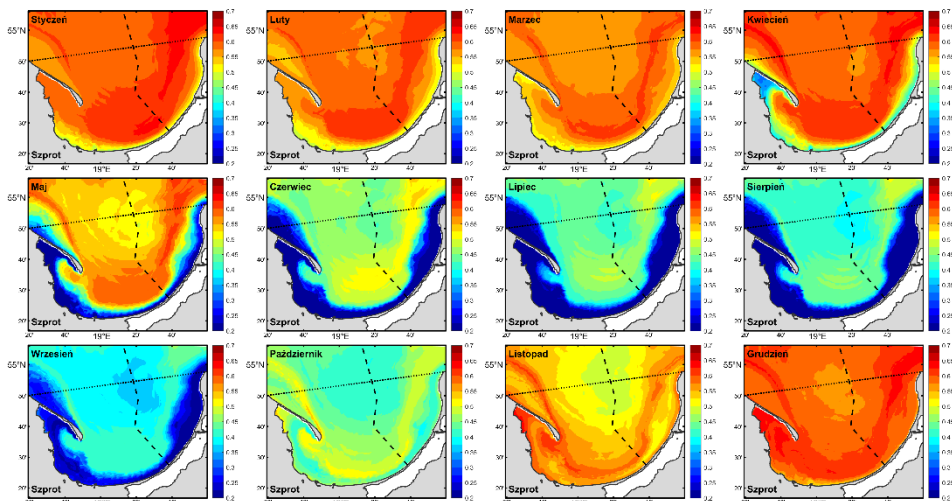
9.2. WYNIKI Z MODUŁU FISH

Po etapie implementacji, parametryzacji i testów moduł Fish został uruchomiony na serwerze projektowym, co w połączeniu z działającym operacyjnie modelem EcoFish pozwoliło na tworzenie prognoz (i reanaliz) najkorzystniejszych warunków środowiskowych (HSI) dla wszystkich rozpatrywanych w projekcie gatunków – z pewnymi ograniczeniami dla storni (tylko od lipca do listopada). Poniżej przedstawiono średnie miesięczne dla median HSI z okresu 2017–2020 dla szprota, dorsza, śledzia i storni. Zostały one przygotowane w następujący sposób:

- w każdym oczku siatki modelu wyznaczona została mediana HSI w kolumnie wody, we wszystkich dniach z rozpatrywanego okresu;
- z tak przygotowanego obrazu wyznaczono średnie mediany dla miesięcy;
- następnie przygotowano średnie miesięczne wieloletnie poprzez uśrednienie median z każdego miesiąca w kolejnych latach, tzn. średnia miesięczna HSI dla stycznia to średnia z median HSI ze stycznia lat 2017, 2018, 2019 i 2020.

9.2.1. Szprot

Na mapie (rys. 9.6) z wieloletnimi średnimi miesięcznymi median HSI dla szprota widać, że najkorzystniejsze warunki środowiskowe dla tego gatunku wyznaczone z modułu Fish obserwowane są w miesiącach zimowych (grudzień, styczeń, luty) oraz wiosną (marzec, kwiecień). Warunki środowiskowe od maja do września cechuje układ strefowy z podziałem na dwa sektory o odmiennych własnościach. W płytkowodnej strefie przybrzeżnej panują wyraźnie gorsze warunki środowiskowe niż na obszarach głębokowodnych. Odmienna sytuacja ma miejsce w listopadzie, kiedy to korzystniejsze warunki środowiskowe obserwowane są na wodach płytkich.

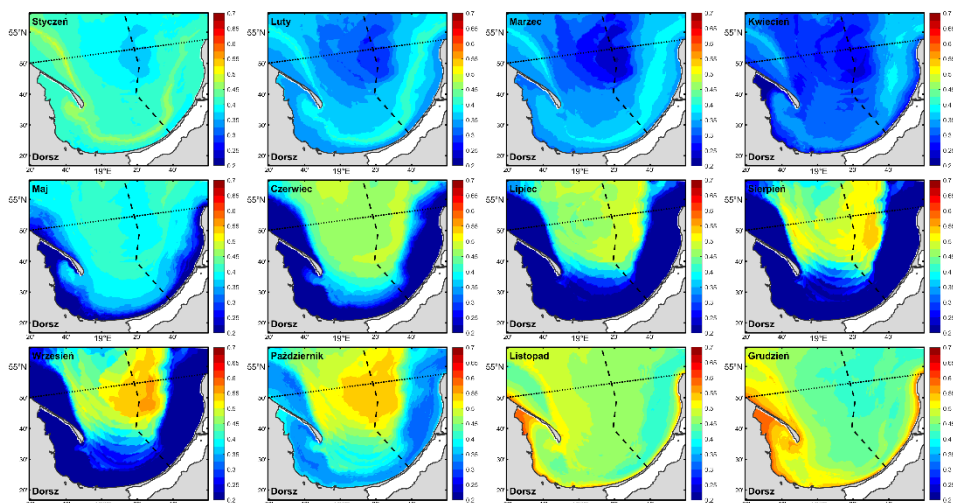


Rys. 9.6. Szprot. Wieloletnie (2017–2020) średnie miesięczne median HSI

Źródło: opracowanie własne.

9.2.2. Dorsz

Na mapie (rys. 9.7) z wieloletnimi średnimi miesięcznymi median HSI dla dorsza widać, że najkorzystniejsze warunki środowiskowe dla tego gatunku wyznaczone z modułu Fish obserwowane są jesienią (październik, listopad, grudzień). W sezonie letnim od maja do września widać również zwiększone HSI, ale w głębokowodnym obszarze z okolic Głębi Gdańskiej. W płytkowodnej strefie przybrzeżnej oraz na średnich głębokościach panują w tych miesiącach niekorzystne warunki środowiskowe dla bytowania dorsza.

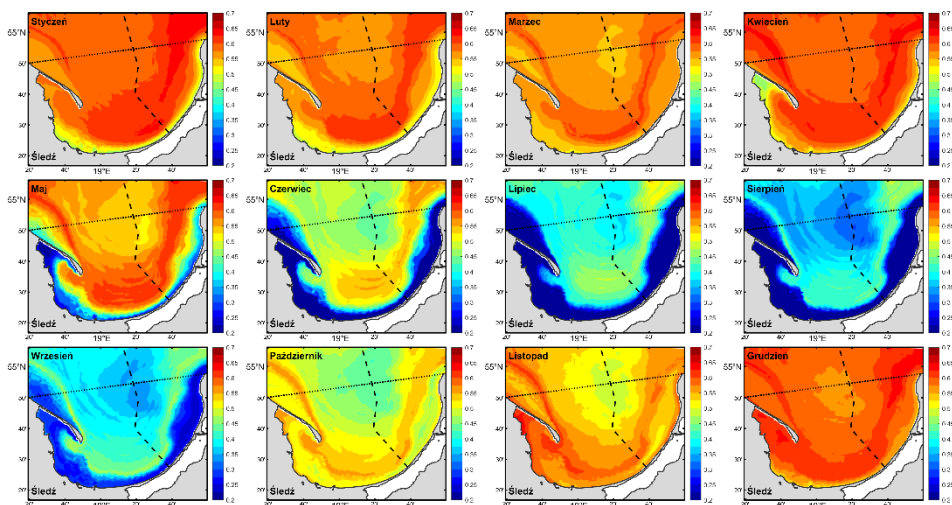


Rys. 9.7. Dorsz. Wieloletnie (2017–2020) średnie miesięczne median HSI

Źródło: opracowanie własne.

9.2.3. Śledź

Na mapie (rys. 9.8) z wieloletnimi średnimi miesięcznymi median HSI dla śledzia widać, że najkorzystniejsze warunki środowiskowe dla tego gatunku wyznaczone z modułu Fish obserwowane są od grudnia do kwietnia. Miesiące od maja do września cechuje strefowy rozkład warunków środowiskowych. W płytkowodnej strefie przybrzeżnej panują gorsze warunki środowiskowe niż na obszarach głębokowodnych. W październiku i listopadzie sytuacja jest odwrócona i obszary płytkowodne i przejściowe są korzystniejsze dla bytowania śledzia niż otwarte morze z dużymi głębokościami.



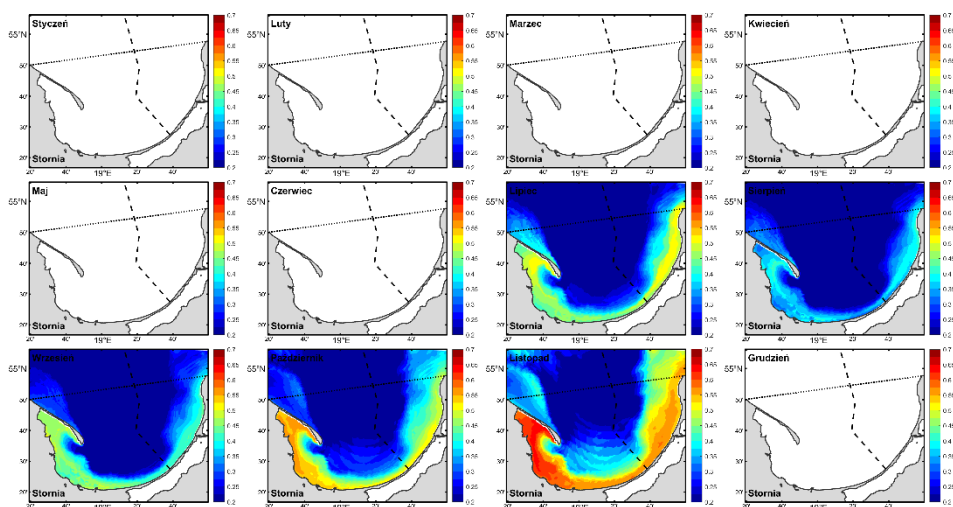
Rys. 9.8. Śledź. Wieloletnie (2017–2020) średnie miesięczne median HSI

Źródło: opracowanie własne.

9.2.4. Stornia

W tej chwili moduł Fish generuje wyniki HSI dla storni jedynie dla okresu od 1 lipca do 30 listopada. Jest to związane z brakiem danych połowowych niezbędnych do określenia preferencji storni w pozostałych miesiącach, a próba ich interpolacji z posiadanych danych mogłaby doprowadzić do zwracania złych wyników. Brakujący okres zostanie uzupełniony na podstawie wiedzy eksperckiej.

Na mapie (rys. 9.9) z wieloletnimi średnimi miesięcznymi median HSI dla storni widać, że najkorzystniejsze warunki środowiskowe dla tego gatunku wyznaczone z modułu Fish dla miesięcy w których produkuje on wyniki, obserwowane są w październiku i listopadzie w płytkowodnej strefie przybrzeżnej południowej części Zatoki Gdańskiej oraz w obszarze na północ od Półwyspu Helskiego. Na otwartym morzu, gdzie występują duże głębokości, obserwowane są niekorzystne warunki środowiskowe dla storni.



Rys. 9.9. Stornia. Wieloletnie (2017–2020) średnie miesięczne median HSI

Źródło: opracowanie własne.

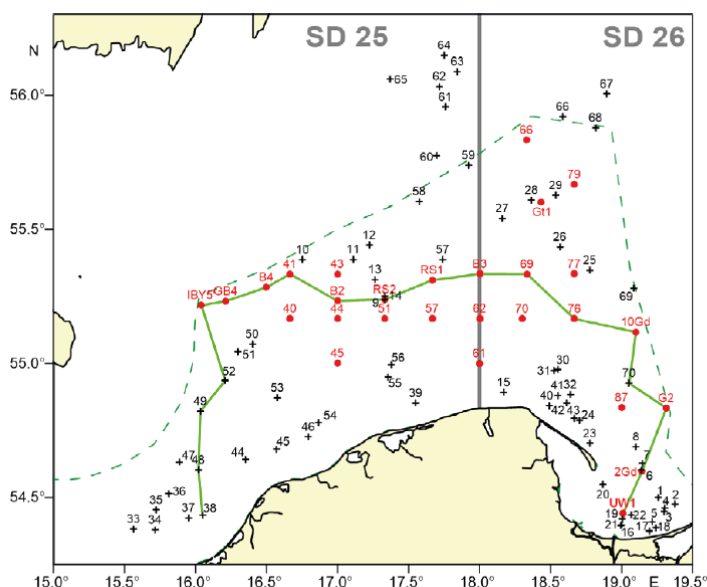
9.3. WALIDACJA MODUŁU FISH

W związku z brakiem dostępu do szczegółowych danych liczbowych dotyczących połowów śledzia, szprota, dorsza i storni w rejonie Zatoki Gdańskiej (innych niż zebrane w projekcie) walidację przeprowadzono poprzez graficzne porównanie (wraz z opisem) wyników HSI uzyskiwanych z modułu Fish z mapami wydajności połowowych dla tych czterech gatunków prezentowanymi w dwumiesięcznikach „Wiadomości Rybackie” przez Morski Instytut Rybacki – Państwowy Instytut Badawczy (Radtko i in., 2017; 2018a; 2018b; 2019a; 2019b; 2020a; 2020b; 2021).

Mapy wydajności połowowych zostały opracowane przy wykorzystaniu danych pochodzących z rejsów oceanograficzno-rybackich prowadzonych na statku r.v. Baltica, na którym zrealizowano badania dotyczące rozmieszczenia i biologii ryb w polskich obszarach morskich i w części wód wyłącznej strefy ekonomicznej Szwecji, z uwzględnieniem warunków hydrologicznych.

Były to rejsy typu BITS (*Baltic International Trawl Survey* – Bałtycki Międzynarodowy Rejs Włokowy), które przeprowadzają instytucje badawcze krajów nadbałtyckich, przy merytorycznej współpracy i koordynującej roli Grupy Roboczej Międzynarodowej Rady Badań Morza ds. Bałtyckich Międzynarodowych Połowów Badawczych Ryb (International Council for the Exploration of the Sea Baltic International Fish Survey Working Group, ICES WGBIFS). Głównym celem tych rejsów jest uzyskanie danych do oceny biomasy i liczebności dorszy i płastug

oraz ich rozmieszczenia geograficznego i batymetrycznego w warstwie przydennej morza, na tle warunków hydrologicznych. Ryby gatunków innych niż wcześniej wymienione, które występują w połowach rejsów BITS, są elementem oceny bioróżnorodności oraz liczebności i rozmieszczenia ichtiofauny. Rejsy BITS są organizowane dwa razy w roku. Wyprawy zimowe (luty/marzec) przeprowadza się, aby zbadać występowanie dorszy i storni w okresie poprzedzającym ich rozród oraz aby ocenić udział ryb dojrzałych płciowo, które w roku badań przystąpią do tarła (jako jeden z czynników niezbędnych do oceny biomasy stada tarłowego). Rejsy jesienne (listopad/grudzień) mają na celu zbadanie występowania dorszy i płastug po tarle oraz dokonanie wstępnej oceny występowania dorszy i płastug z pokolenia urodzonego w roku przeprowadzonych badań. Rejsy zimowe oznacza się akronimem BITS-1Q, a jesienne – BITS-4Q. Połowy ryb w czasie rejsów BITS prowadzone są przez wszystkie bałtyckie statki badawcze na dnie za pomocą standardowego włoka dorszowego TV3 zakończonego workiem o boku oczka 10 mm. Zgodnie z rekomendacjami ICES czas trwania zaciągu wynosi pół godziny, a wyniki badań połowów prezentowane są standardowo jako wydajności połowów w przeliczeniu na godzinę zaciągu. Na rys. 9.10 przedstawiono rozmieszczenie miejsc zaciągów kontrolnych podczas rejsu, który odbywał się w okresie 4.02–3.03.2020.



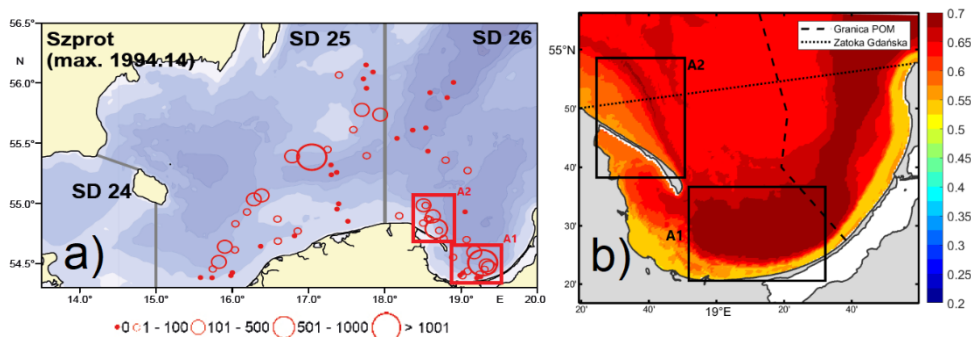
Rys. 9.10. Rozmieszczenie miejsc zaciągów kontrolnych (krzyżyki), standardowych stacji hydrologicznych (czerwone punkty) i przebieg profilu hydrologicznego (zielona linia) w rejsie badawczym r.v. Baltica (luty/marzec 2020)

Źródło: „Wiadomości Rybackie”, MIR-PIB (Radtko i in., 2020b).

Rozmieszczenie i liczba zaciągów w rejsach mogą się różnić, jednak w rejonie Zatoki Gdańskiej można było wyróżnić dwa obszary, w których zawsze prowadzono zaciągi: płytkowodny obszar południowej Zatoki Gdańskiej od ujścia Przekopu Wisły w kierunku wschodnim oraz obszar ciągnący się wzdłuż Półwyspu Helskiego. Walidację przeprowadzono dla wszystkich gatunków ryb i wszystkich ośmiu rejsów, które odbyły się w okresie 1.01.2017–31.12.2020. Jedynie dla storni przeprowadzono walidację tylko dla rejsów jesiennych (BITS-4Q) w związku z brakiem danych z modułu Fish dla tego gatunku w miesiącach zimowych. Z uwagi na ograniczenia dotyczące objętości rozdziału w dalszej jego części zaprezentowano walidację z wybranych rejsów, po jednym dla każdego gatunku. Pełne wyniki walidacji znajdują się w podsumowaniu.

9.3.1. Szprot

Podczas rejsu 2020-1Q, który odbywał się w okresie 4.02–3.03.2020, zarejestrowano wysokie wydajności połowowe dla szprota w północnej i wschodniej części obszaru A1 oraz niskie lub zerowe w jego południowej, płytkowodnej części (rys. 9.11a). W granicach obszaru A2 odnotowano głównie średnie i wysokie wydajności połowowe oraz kilka lokalizacji w których były one niskie.



Rys. 9.11. Wydajność połowowa szprota (kg/h) w rejsie badawczym 2020-1Q (4.02–3.03.2020) (a) oraz mediany HSI dla szprota w tym okresie (b)

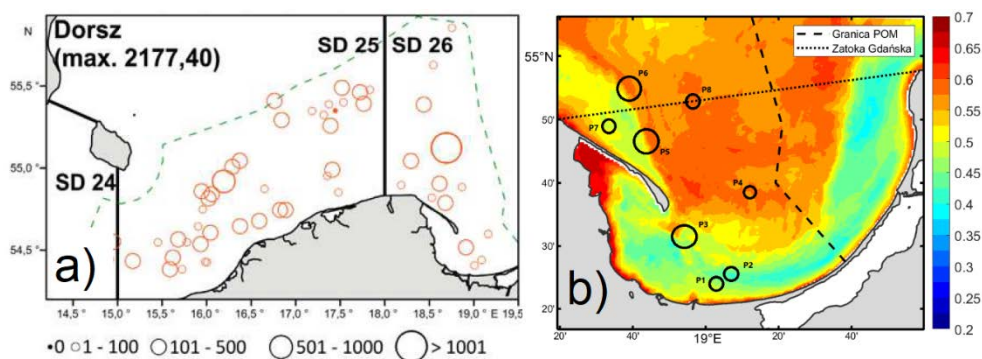
Źródło: a) „Wiadomości Rybackie”, MIR-PIB (Radtke i in., 2020b); b) opracowanie własne.

Pochodzące z modułu Fish mediany HSI dla tego okresu są bardzo wysokie (powyżej 0,65) w całej domenie modelu poza płytkowodną strefą przybrzeżną, gdzie przyjmują wartości zbliżone do 0,55 (rys. 9.11b). Wskazuje to na bardzo dobre warunki środowiskowe dla bytowania szprota w obszarze domeny modelu. Odnosząc to do wydajności połowowych, można uznać, że wartości HSI są ogólnie zgodne w obu analizowanych obszarach A1 i A2. Lekko przeszacowana może być

strefa przybrzeżna, w której mimo że panowały korzystne warunki środowiskowe, odnotowano niskie lub zerowe wydajności połowowe. Wynik walidacji modułu Fish dla szprota w tym okresie można uznać za dobry.

9.3.2. Dorsz

Podczas rejsu 2017-4Q, który odbywał się w okresie 13.11–3.12.2017, zarejestrowano niskie (do 100 kg/h) oraz średnie (101–500 kg/h) wydajności połowowe dla dorsza (rys. 9.12a).



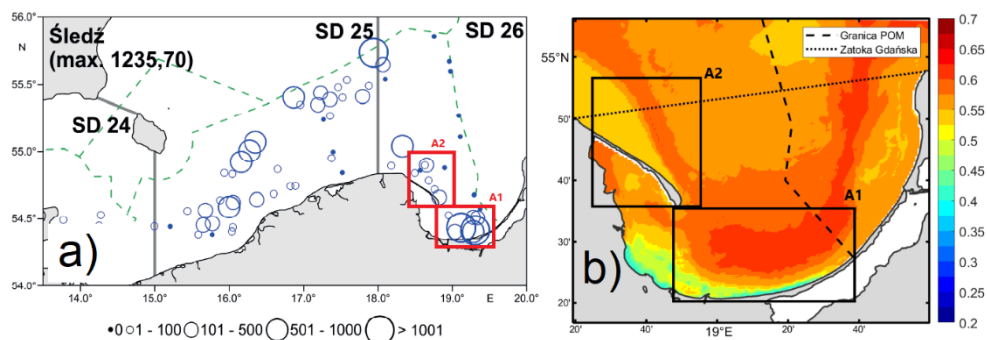
Rys. 9.12. Wydajność połowowa dorsza (kg/h) w rejsie badawczym 2017-4Q (13.11–3.12.2017) (a) oraz mediany HSI dla dorsza w tym okresie (b)

Źródło: a) „Wiadomości Rybackie”, MIR-PIB (Radtke i in., 2018a); b) opracowanie własne.

Mediany HSI dla tego okresu przyjmują niskie wartości (poniżej 0,5) w płytkiej strefie przybrzeżnej oraz wyższe (powyżej 0,5) na otwartym morzu oraz w Zatoce Puckiej. Mediany HSI pochodzące z modułu Fish są zgodne z wydajnością połowową dorszy we wszystkich punktach poza P4 i P8, gdzie zostały przeszacowane (rys. 9.12b). W związku z brakiem zgodności w jedynie dwóch z ośmiu lokalizacji wynik walidacji należy uznać za dobry.

9.3.3. Śledź

Podczas rejsu 2018-1Q, który odbywał się w okresie 7.02–2.03.2018, zarejestrowano głównie wysokie (501–1000 kg/h) i bardzo wysokie (powyżej 1001 kg/h) wydajności połowowe dla śledzia w obszarze A1 (rys. 9.13a). W obszarze A2 wydajności połowowe były wyraźnie niższe, a w niektórych lokalizacjach nawet zerowe.



Rys. 9.13. Wydajność połowowa śledzia (kg/h) w rejsie badawczym 2018-1Q (7.02–2.03.2018) (a) oraz mediany HSI dla śledzia w tym okresie (b)

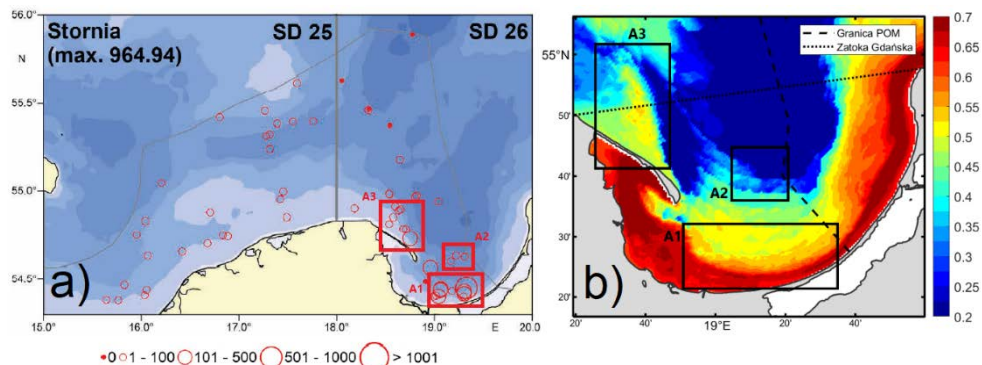
Źródło: a) „Wiadomości Rybackie”, MIR-PIB (Radtke i in., 2018b); b) opracowanie własne.

Pochodzące z modułu Fish mediany HSI dla tego okresu są głównie wysokie (powyżej 0,6) w obszarze A1 oraz średnio wysokie (0,5–0,6) w obszarze A2. Widoczne są również niższe wartości HSI dla płytkowodnej strefy przybrzeżnej od okolic Gdyni aż po polską część Mierzei Wiślanej (rys. 9.13b). Wskazuje to na korzystne warunki dla bytowania śledzia na otwartym morzu. Odnosząc to do wydajności połowowych, można uznać, że wartości HSI są z nimi zgodne w granicach obszaru A1 oraz zbliżone w obszarze A2. Mimo pewnego przeszacowania HSI w obszarze A2 wynik walidacji modułu Fish dla śledzia w tym okresie należy uznać za dobry.

9.3.4. Stornia

Podczas rejsu 2019-4Q, który odbywał się w okresie 11–29.11.2019, zarejestrowano wysokie wydajności połowowe dla stornia w granicach obszaru A1, niskie w obszarze A2 oraz niskie i średnie w obszarze A3 (rys. 9.14a).

Mediany HSI dla tego okresu przyjmują wysokie wartości (0,55–0,7) w Zatoce Puckiej oraz w płytkowodnej strefie przybrzeżnej i przejściowej południowej i wschodniej Zatoki Gdańskiej (rys. 9.14b). Na większych głębokościach wartości HSI są niskie lub bardzo niskie (0,4 i poniżej). Mediany HSI pochodzące z modułu Fish są zgodne z wydajnością połowową stornia we wszystkich lokalizacjach, w których prowadzono połowy. W związku z dobrą zgodnością wartości HSI z wydajnościami połowowymi wynik walidacji należy uznać za bardzo dobry.



Rys. 9.14. Wydajność połowowa stornia (kg/h) w rejsie badawczym 2019-4Q (11–29.11.2019) (a) oraz mediany HSI dla stornia w tym okresie (b)

Źródło: a) „Wiadomości Rybackie”, MIR-PIB (Radtke i in., 2020a); b) opracowanie własne.

PODSUMOWANIE

Aby w przystępny sposób ocenić zgodność wyników HSI z modułu Fish ze wszystkimi rejsami oceanograficzno-rybackimi, które odbyły się w latach 2017–2020, wyniki walidacji zestawiono w tabeli 9.2. Kolory wskazują, czy zgodność dla porównania poszczególnych rejsów i gatunków ryb jest dobra/bardzo dobra (kolor zielony), zadowalająca (kolor żółty) czy niezadowalająca/zła (kolor czerwony).

Tabela 9.2

Tabela zgodności dla porównania wyników uzyskanych z modułu Fish z rejsami oceanograficzno-rybackimi

Rejs	Data	Szprot	Dorsz	Śledź	Stornia
2017-1Q	9.02–8.03.2017	zła	bardzo dobra	bardzo dobra	
2017-4Q	13.11–3.12.2017	niezadowalająca	dobra	zadowalająca	zadowalająca
2018-1Q	7.02–2.03.2018	zadowalająca	dobra	dobra	
2018-4Q	14.11–1.12.2018	dobra	dobra	bardzo dobra	bardzo dobra
2019-1Q	12.02–7.03.2019	dobra	bardzo dobra	bardzo dobra	

cd. tabeli 9.2

2019-4Q	11– 29.11.2019	dobra	zadowalająca	bardzo dobra	bardzo dobra
2020-1Q	4.02– 3.03.2020	dobra	zadowalająca	bardzo dobra	
2020-4Q	12.11– 2.12.2020	dobra	dobra	dobra	zadowalająca

Źródło: opracowanie własne.

Sumaryczny wynik walidacji przeprowadzonej dla lat 2017–2020 można uznać za bardzo dobry. Oznacza to, że dla dominującej liczby rejsów warunki środowiskowe wyznaczone z modułu Fish odpowiadają wydajnościom połowowym. Najlepsze wyniki uzyskano dla śledzia oraz dorsza. W związku z brakiem preferencji od grudnia do czerwca dla storni niemożliwe było sprawdzenie poprawności działania modułu Fish dla tego gatunku w rejsach zimowych (BITS-1Q). Jednak podczas rejsów jesiennych wyniki były co najmniej zadowalające. Jedynie w dwóch rejsach w roku 2017 dla szprota uzyskano złą i niezadowalającą zgodność ze zmierzonymi wydajnościami połowowymi. Nie powinno to jednak wpłynąć na ogólną ocenę procesu walidacji, gdyż połowy podczas rejsów oceanograficzno-rybackich prowadzone były przy dnie, a preferencje głębokościowe gatunków rozpatrywanych w projekcie są zróżnicowane. Wykorzystanie mediany preferencji dla kolumny wody zamiast maksimum miało zwiększyć pewność wyników uzyskiwanych z modułu Fish. Po otrzymaniu wysokiej mediany HSI w kolumnie wody rybak ma większą pewność połowów w korzystnych warunkach niż przy takiej samej wartości maksimum HSI. Maksimum HSI może pochodzić tylko z jednej, cienkiej warstwy wody w kolumnie, podczas gdy na pozostałych głębokościach mogą panować złe warunki środowiskowe. Gorsze wyniki dla szprota w rejsach z 2017 roku mogą być dodatkowo związane z tym, że rejsy rybackie w projekcie FindFISH, na podstawie których oszacowano preferencje ryb, rozpoczęły się po 2017 roku. W tym roku mogły panować inne warunki środowiskowe podczas połowów niż w latach kolejnych. Brak informacji o nich nie pozwolił na doprecyzowanie (rozszerzenie) krzywych preferencji i „zasymilowanie” tych danych przez moduł Fish.

LITERATURA

1. Bovee K.D., *Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology*, National Ecology Center, Division of Wildlife and Contaminant Research, Fish and Wildlife Service, US Department of the Interior, U.S.A. 1986.
2. Chou W.C., Lin W.T., Lin C.Y., *Application of fuzzy theory and PROMETHEE technique to evaluate suitable ecotechnology method: a case study in Shihmen Reservoir Watershed, Taiwan*, Ecological Engineering, 2007, 31(4), 269–280. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.08.004>.

3. Fraternali P., Castelletti A., Soncini-Sessa R., Vaca Ruiz C., Rizzoli A.E., *Putting humans in the loop: social computing for water resources management*, Environmental Modelling & Software, 2012, 37, 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.03.002>.
4. Fukuda S., De Baets B., Mouton A.M., Waegeman W., Nakajima J., Mukai T., *Effect of model formulation on the optimization of a genetic Takagi–Sugeno fuzzy system for fish habitat suitability evaluation*, Ecological Modelling, 2011, 222(8), 1401–1413. <https://doi.org/10.1016/j.eco-model.2011.01.023>.
5. Inglis G.J., Hurren H., Oldman J., Haskew R., *Using habitat suitability index and particle dispersion models for early detection of marine invaders*, Ecological Applications, 2006, 16(4), 1377–1390. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[1377:uhsiap\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[1377:uhsiap]2.0.co;2).
6. Janecki M., Dybowski D., Jakacki J., Nowicki A., Dzierzbicka-Głowacka L., *The use of satellite data to determine the changes of hydrodynamic parameters in the Gulf of Gdańsk via EcoFish Model*, Remote Sensing, 2021, 13, 3572. <https://doi.org/10.3390/rs13183572>.
7. Janecki M., Dybowski D., Nowicki A., Dzierzbicka-Głowacka L., *Analiza dynamiki zmienności parametrów biochemicznych w rejonie Zatoki Gdańskiej za pomocą modelu EcoFish (rozdział 7)*, w: Platforma transferu wiedzy FindFISH – Numeryczny System Prognozowania warunków środowiska morskiego Zatoki Gdańskiej dla Rybołówstwa, red. L. Dzierzbicka-Głowacka, Wydawnictwo Uniwersytetu Morskiego w Gdyni, Gdynia 2023, 179–204.
8. Janecki M., Dybowski D., Nowicki A., Jakacki J., Dzierzbicka-Głowacka L., *Analiza parametrów fizycznych wód Zatoki Gdańskiej za pomocą modelu numerycznego EcoFish (rozdział 6)*, w: Platforma transferu wiedzy FindFISH – Numeryczny System Prognozowania warunków środowiska morskiego Zatoki Gdańskiej dla Rybołówstwa, red. L. Dzierzbicka-Głowacka, Wydawnictwo Uniwersytetu Morskiego w Gdyni, Gdynia 2023, 145–178.
9. Legleiter C.J., Goodchild M.F., *Alternative representations of instream habitat: classification using remote sensing, hydraulic modeling, and fuzzy logic*, International Journal of Geographical Information Science, 2005, 19(1), 29–50. <https://doi.org/10.1080/13658810412331280220>.
10. Mouton A.M., De Baets B., Goethals P.L.M., *Knowledge-based versus data-driven fuzzy habitat suitability models for river management*, Environmental Modelling & Software, 2009, 24(8), 982–993. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.02.005>.
11. Pieckiel P., Kuczyński T., *Analiza istniejących i nowych danych środowiskowych pochodzących z wypraw rybackich w celu określenia preferencji ryb poławianych przemysłowo w Zatoce Gdańskiej (rozdział 5)*, w: Platforma transferu wiedzy FindFISH – Numeryczny System Prognozowania warunków środowiska morskiego Zatoki Gdańskiej dla Rybołówstwa, red. L. Dzierzbicka-Głowacka, Wydawnictwo Uniwersytetu Morskiego w Gdyni, Gdynia 2023, 118–144.
12. Poulos H.M., Chernoff B., Fuller P.L., Butman D., *Ensemble forecasting of potential habitat for three invasive fishes*, Aquatic Invasions, 2012, 7(1), 59–72. <https://doi.org/10.3391/ai.2012.7.1.007>.
13. Prato T., *Assessing ecosystem sustainability and management using fuzzy logic*, Ecological Economics, 2007, 61(1), 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.08.004>.
14. Radtke K., Wodzinowski T., Ścis I., *Najnowsze wyniki badań z rejsu r.v. Baltica (09.02–08.03. 2017 r.)*, Wiadomości Rybackie MIR-PIB, marzec–kwiecień (216), 2017.
15. Radtke K., Wodzinowski T., Wójcik I., *Podsumowanie oceanograficzno-rybackich wyników z rejsu zimowego r.v. Baltica w 2018 roku*, Wiadomości Rybackie MIR-PIB, marzec–kwiecień (222), 2018b.

16. Radtke K., Wodzinowski T., Wójcik I., *Wyniki badań oceanograficzno-rybackich r.v. Baltica w rejsie jesiennym 2019 r.*, Wiadomości Rybackie MIR-PIB, styczeń–luty (233), 2020a.
17. Radtke K., Wodzinowski T., Wójcik I., *Wyniki badań oceanograficzno-rybackich r.v. Baltica w rejsie jesiennym w 2018 r.*, Wiadomości Rybackie MIR-PIB, styczeń–luty (227), Gdynia, 2019a.
18. Radtke K., Wodzinowski T., Wójcik I., *Wyniki badań oceanograficzno-rybackich r.v. Baltica w rejsie zimowym 2020 r.*, Wiadomości Rybackie MIR-PIB, marzec–kwiecień (234), 2020b.
19. Radtke K., Wodzinowski T., Wójcik I., *Wyniki badań oceanograficzno-rybackiego rejsu r.v. Baltica na przełomie listopada i grudnia 2020 roku*, Wiadomości Rybackie MIR-PIB, styczeń–luty (239), 2021.
20. Radtke K., Wodzinowski T., Wójcik I., *Wyniki oceanograficzno-rybackiego rejsu r.v. Baltica zrealizowanego w lutym i marcu 2019 r.*, Wiadomości Rybackie MIR-PIB, marzec–kwiecień (228), 2019b.
21. Radtke K., Wodzinowski T., Wójcik I., Šics I., *Wyniki badań demersalnego rejsu r.v. Baltica – jesień 2017*, Wiadomości Rybackie MIR-PIB, styczeń–luty (221), 2018a.
22. Rüger N., Schlüter M., Matthies M., *A fuzzy habitat suitability index for Populus euphratica in the Northern Amudarya delta (Uzbekistan)*, Ecological Modelling, 2005, 184(2–4), 313–328. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.10.010>.
23. Van Broekhoven E., Adriaenssens V., De Baets B., Verdonschot P.F.M., *Fuzzy rule-based macro-invertebrate habitat suitability models for running waters*, Ecological Modelling, 2006, 198(1–2), 71–84. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.04.006>.
24. Zhang H., Sun T., Shao D., Yang W., *Fuzzy logic method for evaluating habitat suitability in an estuary affected by land reclamation*, Wetlands, 2016, 36, 19–30. <https://doi.org/10.1007/s13157-014-0606-2>.

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.

Obliczenia wykonano z wykorzystaniem komputerów Centrum Informatycznego Trójmiejskiej Akademickiej Sieci Komputerowej.