

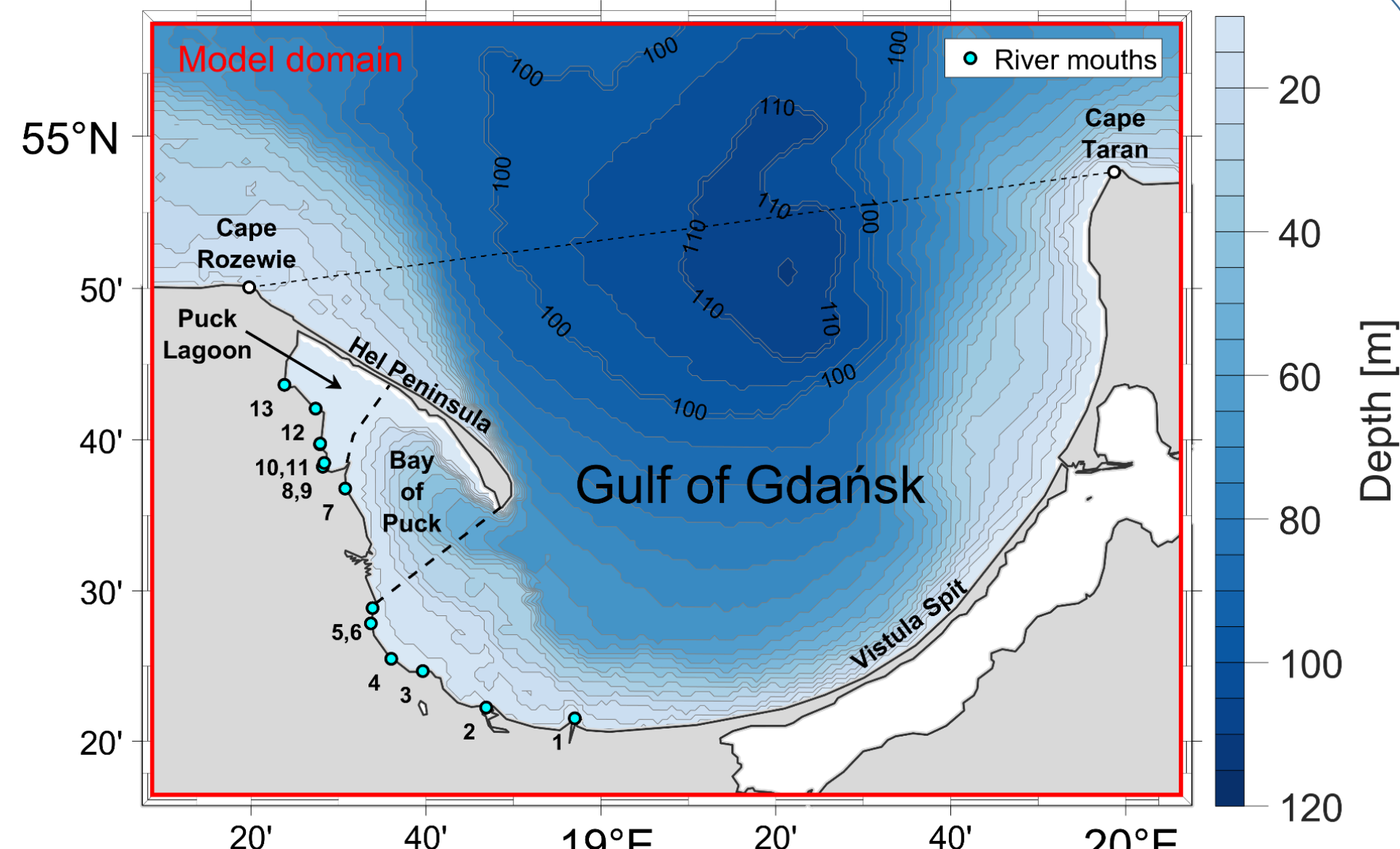
Platforma Transferu Wiedzy FindFish wyniki z numerycznego modelu EcoFish

Maciej Janecki¹, Dawid Dybowski¹, Artur Nowicki¹, Lidia Dzierzbicka-Głowacka¹

¹Institut Oceanologii PAN w Sopotie, Pracownia Modelowania Procesów Ekohydrodynamicznych

Obszar badań

Efektywna domena modelu *EcoFish* obejmuje rozszerzoną Zatokę Gdańską (Rys. 1), która stanowi południową część akwenu Głębi Gdańskiej, znajdującego się w Basenie Gotlandzkim. Umowna, prosta linia, łącząca przylądek Rozewie z przylądkiem Taran na półwyspie Sambia, wydziela właściwą Zatokę Gdańską. Linia ta przecina najgłębsze partie dna Głębi Gdańskiej, z maksymalną głębokością 118 m. Wzdłuż strefy przybrzeżnej ciągnie się szeroki pas płycizn rozszerzający się w rejonie na zachód od ujścia Wisły. Znajdują się tam stożki napływowe: w ujściu Wisły Śmiałej i Przekopu Wisły. Nachylenie dna w strefie brzegowej jest zróżnicowane. Największy spadek występuje u cypla Półwyspu Helskiego, gdzie dno opada do głębokości 70 m.



Rys. 1: Domena modelu *EcoFish* z topografią dna.

Konfiguracja modelu *EcoFish*

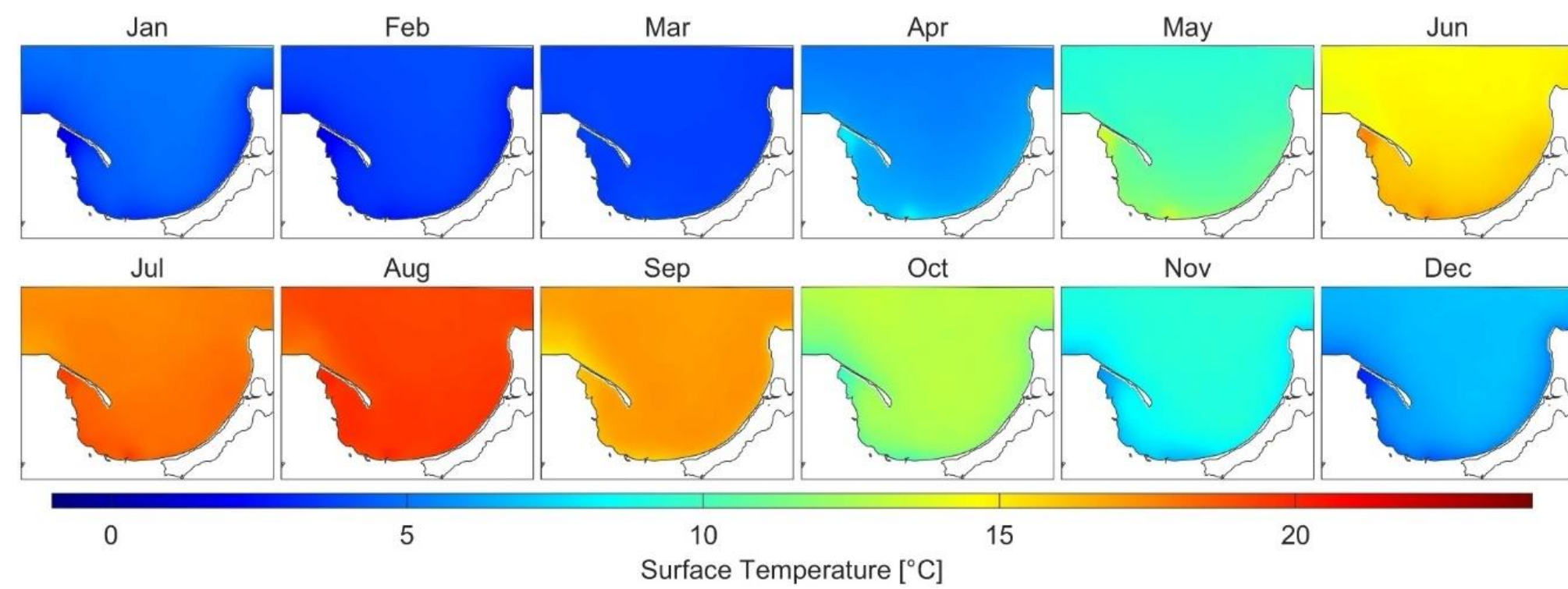
EcoFish wywodzi się z Community Earth System Model (CESM) połączonego z globalnym modelem klimatycznym opracowanym przez NCAR. CESM to system modelowy składający się z pięciu oddzielnych komponentów z dodatkowym łącznikiem (coupler) kontrolującym czas, siły wymuszające, domenę i wymianę informacji między modelami. Na potrzeby projektu FindFish CESM został przekształcony i przystosowany dla Zatoki Gdańskiej w celu dalszego rozwijania w Instytucie Oceanologii PAN.

Rozdzielczość pozioma modelu *EcoFish* wynosi 575 metrów (1/192°). Rozdzielczość pionowa wynosi 5 m dla każdej warstwy, mając łącznie 26 warstw. Dyskretyzacja pionowa bazuje na bazie danych batymetrycznych Morza Bałtyckiego (BSBD) Komisji Hydrograficznej Morza Bałtyckiego. Dane batymetryczne interpolowano na siatkę modelu metodą Kriginga. Krok czasowy modelu oceanu wynosi 60 sekund.

Do weryfikacji modelu wykorzystano wyniki z 7 letniej symulacji od 1 stycznia 2014 do 31 grudnia 2020, poprzedzonej 2-letnim rozbiegiem modelu w latach. Przebieg ten został obliczony stosując opisaną wyżej konfigurację modelu z asymlacją danych satelitarnych dla temperatury powierzchniowej. Dane wyjściowe zapisywane były 4 razy na dzień w postaci średnich 6-godzinnych. Dodatkowo, celem sprawdzenia poprawności samego modułu asymlacji przeprowadzono taką samą symulację bez asymlowania danych satelitarnych dla temperatury powierzchniowej i porównano oba takie przebiegi względem danych satelitarnych.

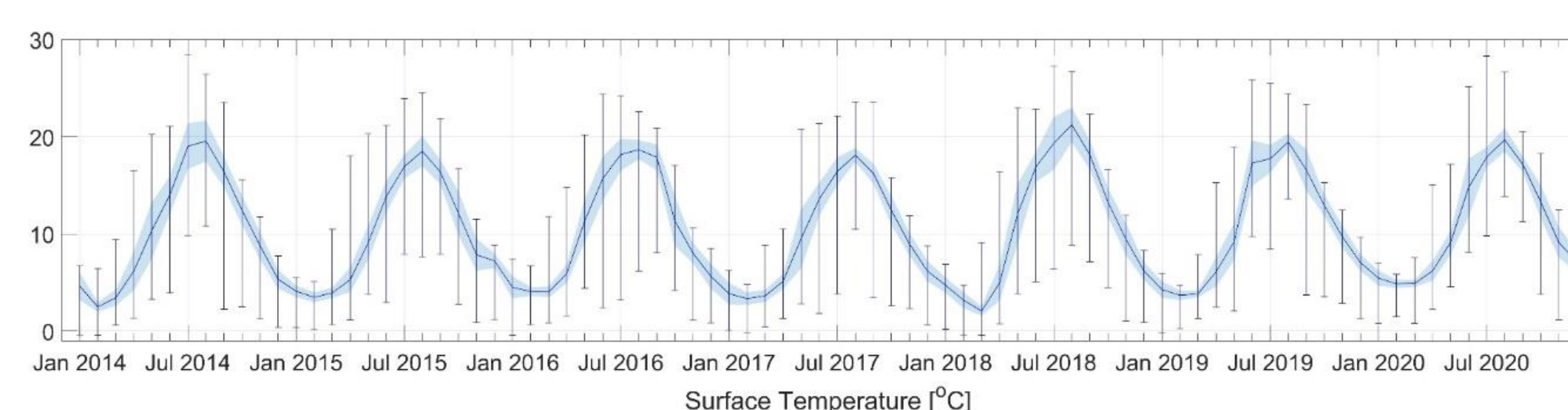
Temperatura

Temperatura wód Zatoki Gdańskiej podlega silnym zmianom sezonowym i zależy w głównej mierze od zmian temperatury powietrza i nasłonecznienia. W dużym stopniu są one również kształtowane przez procesy konwekcji i mieszania wywołane działaniem wiatrów. W zmianach temperatury wody Zatoki widać również wpływ Wisły, której wody podwyższają temperaturę w Zatoce w okresie wiosenno-letnim i obniżają ją na jesień (Rys. 2).



Rys. 2: Średnie miesięczne temperatury wody dla warstwy powierzchniowej w latach 2014-2020.

Najniższe wartości temperatury wód powierzchniowych występują w styczniu utrzymując się na poziomie około 0.1 °C. Z kolei najniższe średnie wartości temperatury wody powierzchniowej w całej domenie występują w lutym. W tym miesiącu wody powierzchniowe całego akwenu cechują się zbliżoną temperaturą, a różnice nie przekraczają 2.5 °C. W kolejnych miesiącach temperatura wód powierzchniowych wzrasta, najszybciej w strefie przybrzeżnej. Najwyższe zróżnicowanie przestrzenne obserwowane jest w maju i czerwcu (różnice wynoszące do około 7 °C). Najwyższe średnie temperatury wód powierzchniowych występują w sierpniu (Rys. 3).



Rys. 3: Średnie miesięczne temperatury powierzchniowej. Paski błędów reprezentują ekstremalne wartości. Cieniowany obszar to odchylenia standardowe.

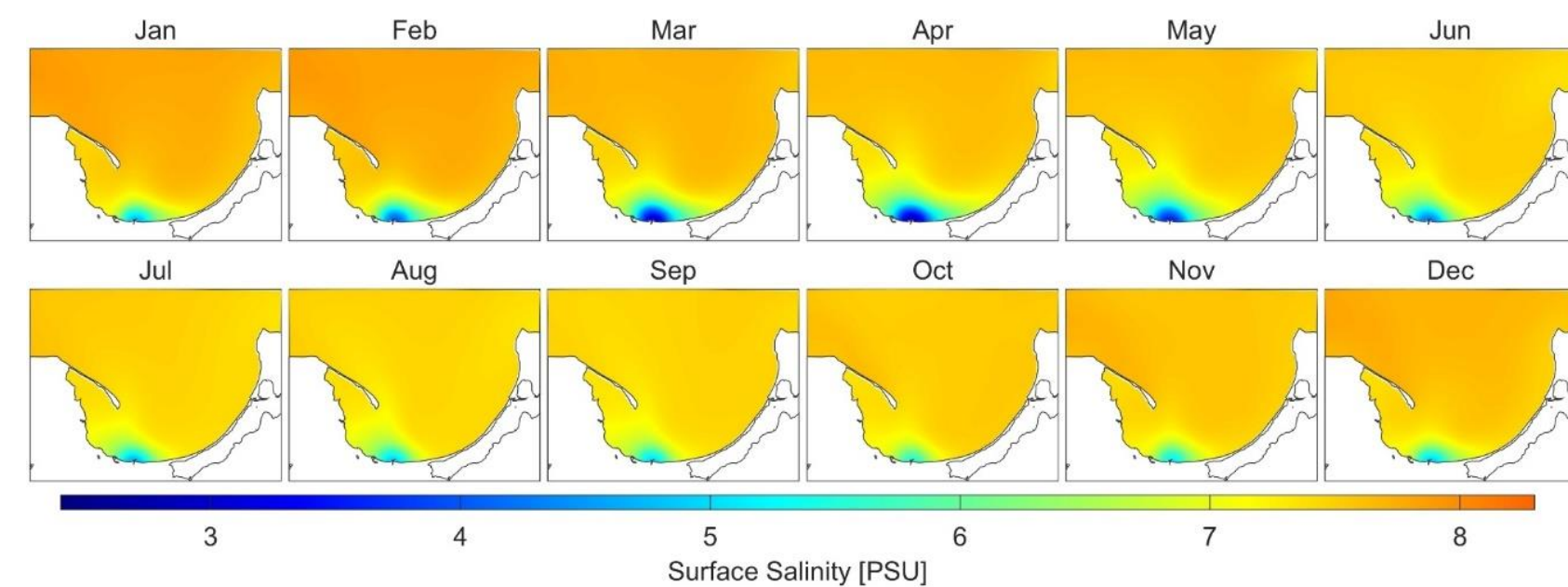
Zdolność modelu *EcoFish* (z aktywnym modułem asymlacji danych satelitarnych SST i bez) do poprawnego odwzorowania rzeczywistych warunków środowiskowych zweryfikowano poprzez porównanie wyników modelu dla temperatury ze wszystkimi dostępnymi obserwacjami na wszystkich głębokościach. Wynik tej walidacji przedstawiono w formie tabelarycznej (Tab. 1).

Database	Pearson's r	RMSE [°C]	STD [°C]	Bias [°C]
ICES (EcoFish+A)	0.94	1.33	3.66	-0.36
ICES (EcoFish-A)	0.95	1.22	3.52	-0.28
MIDAS CTD (EcoFish+A)	0.87	1.83	3.57	-0.34
MIDAS CTD (EcoFish-A)	0.85	2.03	3.84	-0.25

Tab. 1: Porównanie statystyczne modelowanej temperatury na wszystkich głębokościach z danymi referencyjnymi z ICES i MIDAS CTD.

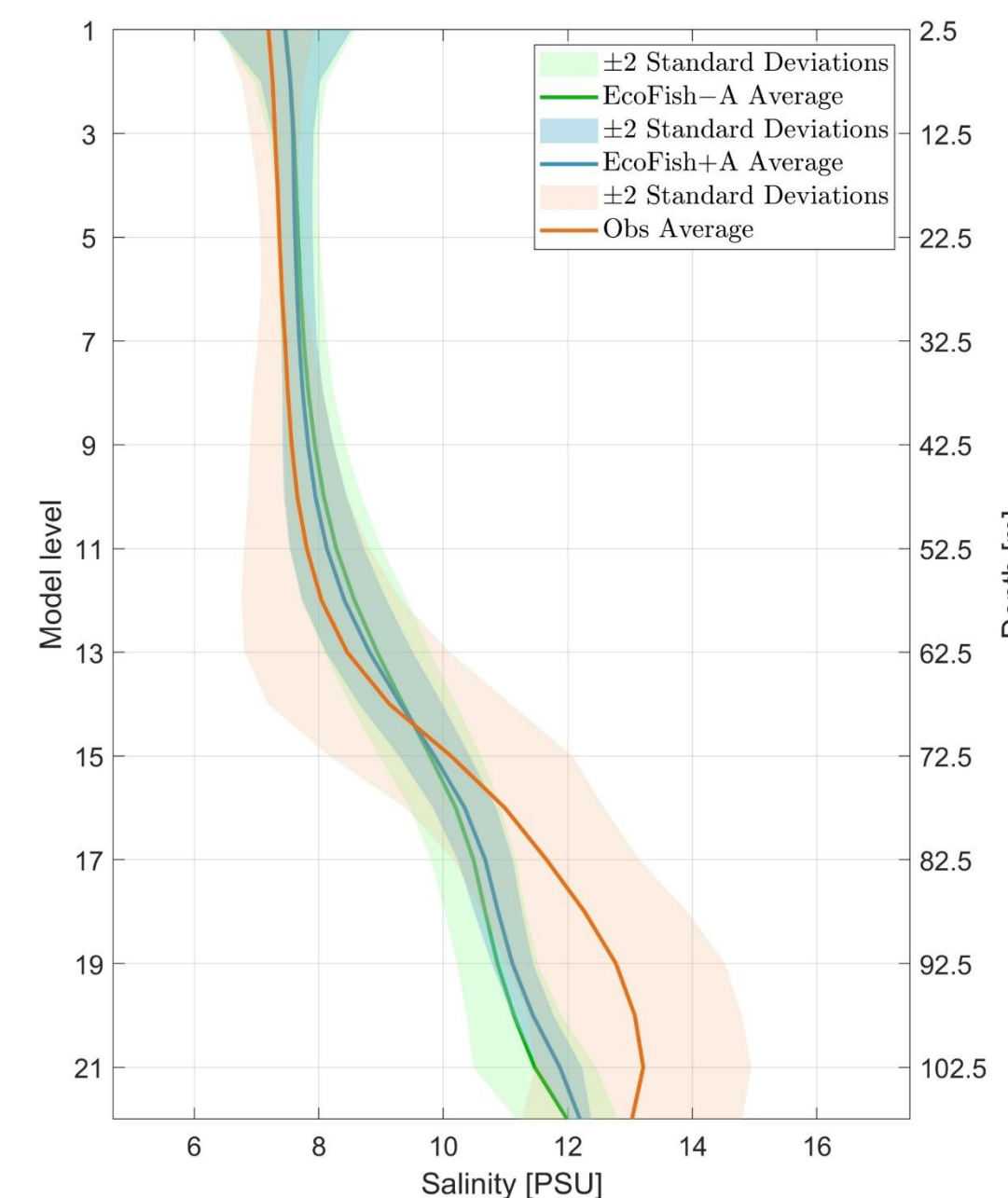
Zasolenie

Umiejscowienie Zatoki Gdańskiej i jej specyficzna topografia dna sprzyjają występowaniu zróżnicowania zasolenia. Istotne różnice w jego rozkładzie zachodzą między płytkim obszarem przybrzeżnym, a głębszą częścią Zatoki, która warunkami przypomina wody otwartego morza z typową dla Bałtyku warstwową strukturą (z występowaniem halokliny i termokliny). Płytkowodna strefa przybrzeżna Zatoki Gdańskiej znajduje się pod wpływem słodkich wód dostających się do niej z rzek i innego rodzaju spływów powierzchniowych (Rys. 4).



Rys. 4: Średnie miesięczne zasolenia dla warstwy powierzchniowej w latach 2014-2020

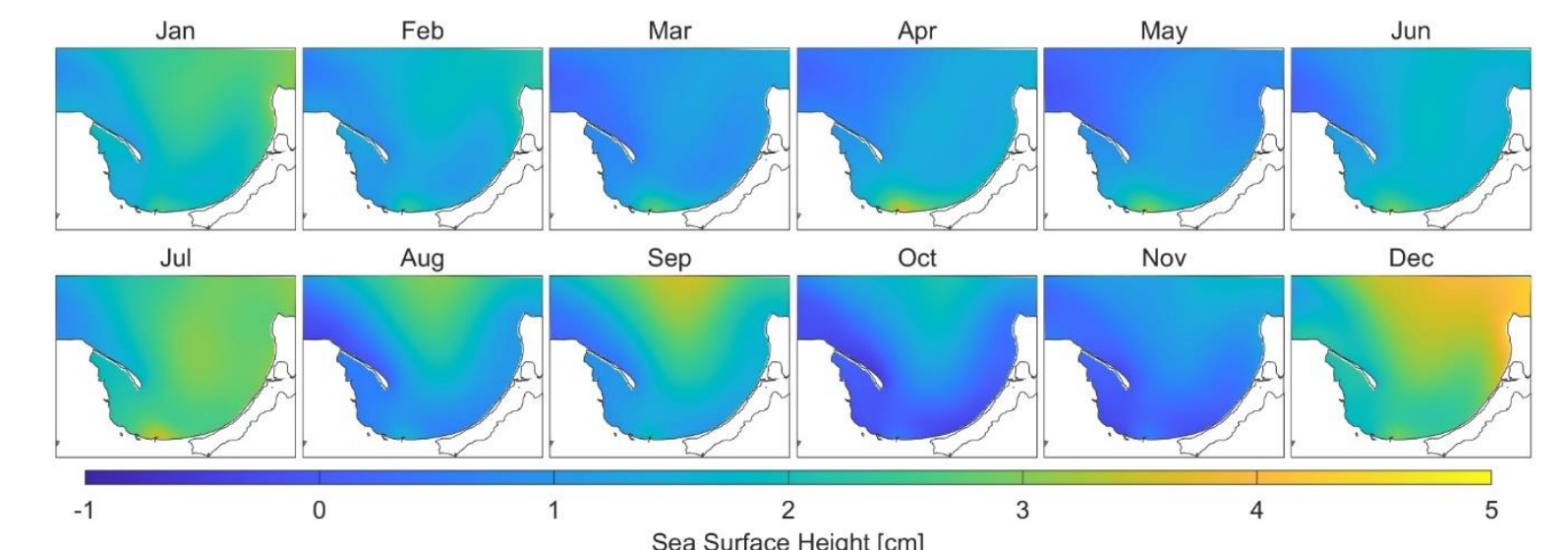
Analizując profil pionowy (Rys. 5) widać kilka charakterystycznych stref w kolumnie wody. Na powierzchni obserwujemy zwiększone odchylenie standardowe (STD). Jest to wynikiem mieszania się wód słodkich pochodzących ze spływu rzecznoego z wodami morskimi, powodując zwiększoną dynamikę zasolenia na powierzchni. Następnie, między 10 a 40 metrem głębokości rozciąga się warstwa izohalinowa, która zauważalna jest przy stałym średnim zasoleniu wynoszącym od około 7-8 PSU. Poniżej 35 metra STD zaczyna stopniowo rosnąć osiągając około 2 PSU na 70 metrze i utrzymując się na tym poziomie aż do dna. Poniżej warstwy izohalinowej widać warstwę przejściową z wyraźnie zarysowaną halokliną.



Rys. 5: Profil pionowy zasolenia dla wszystkich obserwacji ICES w porównaniu z wartościami *EcoFish*.

Wysokość powierzchni morza

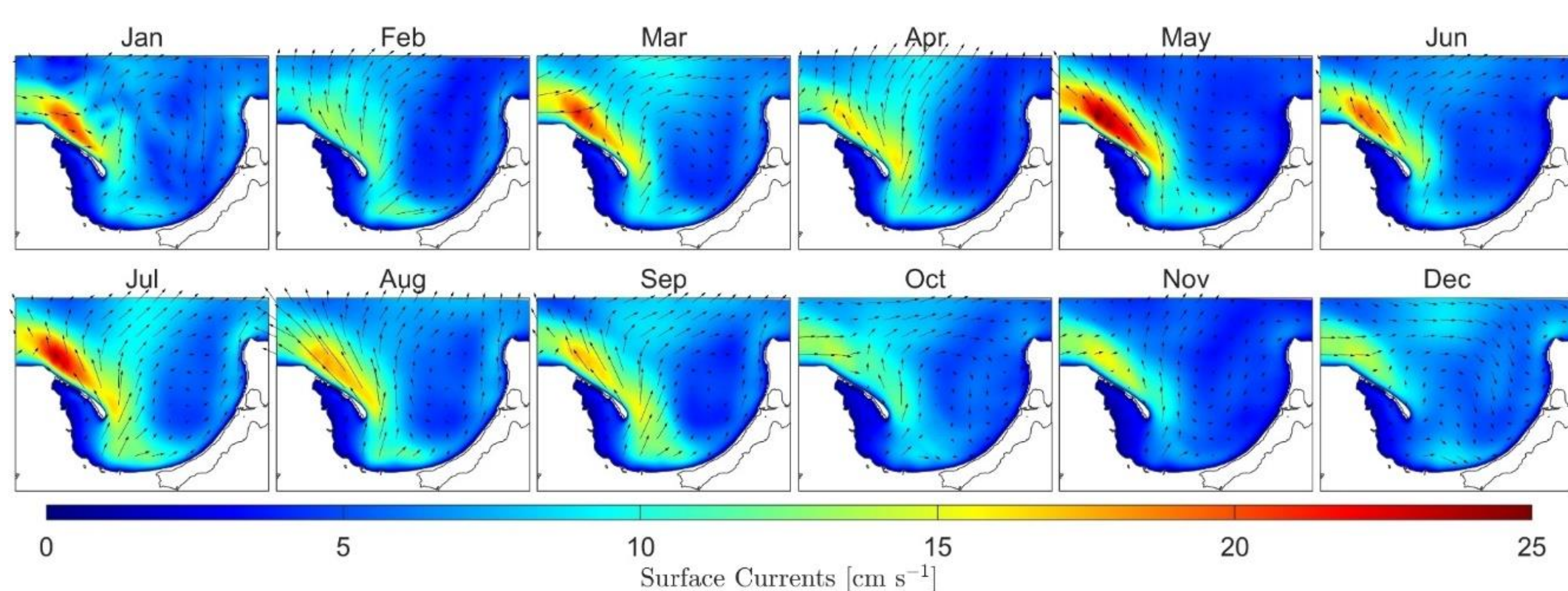
W związku z tym, że na wysokość powierzchni morza największy wpływ ma oddziaływanie wiatrowe, trudno jest mówić o charakterystycznych obszarach wewnątrz domeny, w których SSH przyjmuje tylko dodatnie lub ujemne wartości. Można natomiast wyróżnić obszary, które mają tendencję do przyjmowania wartości ekstremalnych, w zależności od warunków meteorologicznych. Są to rejon przybrzeżny, w szczególności okolice Półwyspu Helskiego, południowe wybrzeże ciągnące się od Zatoki Puckiej, wzdłuż Mierzei Wiślanej, a także wschodni brzeg Zatoki Gdańskiej (Rys. 6).



Rys. 6: Średnie miesięczne wysokości powierzchni morza w latach 2014-2020.

Prądy

Analizując rozkład prądów w badanej domenie (Rys. 7) można wyróżnić charakterystyczny obszar, rozciągający się wzdłuż Półwyspu Helskiego od strony otwartego morza, w obrębie którego występują najsilniejsze prądy powierzchniowe, nierzadko przekraczające 20 cm/s. Dominują tutaj dwa kierunki w zależności od poru roku. Prądy północno-zachodnie, obserwowane są przeważnie w miesiącach letnich, powodując wypychanie wody z Basenu Gdańskiego w kierunku otwartego morza i towarzyszy im powstawanie upwellingów przybrzeżnych. W pozostałych miesiącach w tym rejonie przeważają prądy południowo-wschodnie, niosące wody w kierunku wewnętrznej Zatoki Gdańskiej. Osobliwy jest także rozkład prądów powierzchniowych w okolicach ujścia Wisły, gdzie najczęściej występuje prąd wschodni, rozprowadzający wody uchodzące z Wisły wzdłuż brzegu Zatoki. Długotrwała jego obecność ogranicza zasięg rozprzestrzeniania się wód Wisły i zmniejsza strefę mieszania się wody słodkiej z wodą morską.



Rys. 7: Średnie miesięczne prądów morskich dla warstwy powierzchniowej w latach 2014-2020.

Podsumowanie

W niniejszej pracy zaprezentowane zostały wyniki z modelu numerycznego Zatoki Gdańskiej *EcoFish* z aktywnym modułem asymlacji danych satelitarnych dla temperatury powierzchniowej. Ta wersja modelu *EcoFish* jest rozwijana i wykorzystywana w ramach projektu „Platforma Transferu Wiedzy FindFish - Numeryczny System Prognozowania warunków środowiska morskiego Zatoki Gdańskiej dla Rybołówstwa”. *EcoFish* to podstawowy element platformy, która dostarcza rybakom i naukowcom aktualne i prognozowane warunki hydrodynamiczne, chemiczne i biologiczne Zatoki Gdańskiej. Generuje również prognozy określające najkorzystniejsze warunki środowiskowe dla występowania ryb pelagicznych połowianych przemysłowo w tym regionie. Celem tego projektu badawczo-rozwojowego jest zwiększenie intensywności transferu wiedzy i wykorzystania potencjału naukowego przez rybaków, a w konsekwencji przyczynienie się do zrównoważonego rozwoju rybołówstwa morskiego i zwiększenie ochrony ekosystemu Zatoki Gdańskiej.

W celu weryfikacji poprawności modelu *EcoFish* przeprowadzono analizę statystyczną poprzez porównanie wyników modelu z obserwacjami *in situ*. Uzyskano zadowalające wyniki i potwierdzono zgodność wyników modelowych dotyczących temperatury i zasolenia wody z dostępnymi obserwacjami. Decyzja o walidacji modelu temperatury i zasolenia wody wynikała z faktu, że te dwa parametry służą jako dane wejściowe do modułu „Ryba”, w którym wyznaczany jest Habitat Suitability Index w oparciu o preferencje środowiskowe ryb.

Więcej informacji na temat tych badań można znaleźć w artykule „The Use of Satellite Data to Determine the Changes of Hydrodynamic Parameters in the Gulf of Gdansk via *EcoFish* Model” <https://doi.org/10.3390/rs13183572>

Obliczenia wykonano na komputerach Centrum Informatycznego Trójmiejskiej Akademickiej Sieci Komputerowej