Wprowadzenie teoretyczne

Zajęcia w Instytucie Oceanologii PAN w Sopocie – wprowadzenie Program Argo oraz mechanizm wlewów do Bałtyku

Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk (IO PAN) w Sopocie

Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk (IO PAN) został powołany w roku 1983 jako następca Stacji Morskiej istniejącej w Sopocie od 1953 roku. Misją Instytutu jest prowadzenie badań środowiska morskiego w celu pogłębiania wiedzy na temat zachodzących w nim zjawisk i procesów. Badania, prowadzone na Bałtyku oraz w obszarze Arktyki Europejskiej, skupione są obecnie na czterech strategicznych kierunkach:
I. Rola oceanu w kształtowaniu klimatu i skutki zmian klimatu w morzach europejskich;
II. Zmienność naturalna i antropogeniczna środowiska Morza Bałtyckiego;
III. Współczesne zmiany ekosystemów u brzegów mórz szelfowych;
IV. Genetyczne i fizjologiczne mechanizmy funkcjonowania organizmów morskich; podstawy biotechnologii morskiej.
W Zakładzie Dynamiki Morza, który odwiedzimy, trwają prace badawcze dotyczące:

- wzajemnego oddziaływania morza i atmosfery: wymiany masy, energii i promieniowania w warstwie granicznej morze-atmosfera;
- zmienności czasowej i przestrzennej właściwości i dynamiki mas wodnych w Morzu Bałtyckim, Morzach Nordyckich, europejskiej części Oceanu Arktycznego i fiordach zachodniego Svalbardu;
- transportu masy, ciepła i soli przez prądy oceaniczne oraz roli tych procesów w kształtowaniu klimatu oceanu i pokrywy lodowej Arktyki;
- klimatycznych sprzężeń zwrotnych, zwłaszcza roli procesów oceanicznych w krótkookresowej i dekadalnej zmienności i predykcyjności atmosfery i kriosfery;
- modelowania i hydrodynamiki numerycznej: matematycznego opisu zjawisk ruchu cieczy w naturalnych akwenach, modelowania hydrodynamicznego i ekologicznego.

Oceanografia Fizyczna

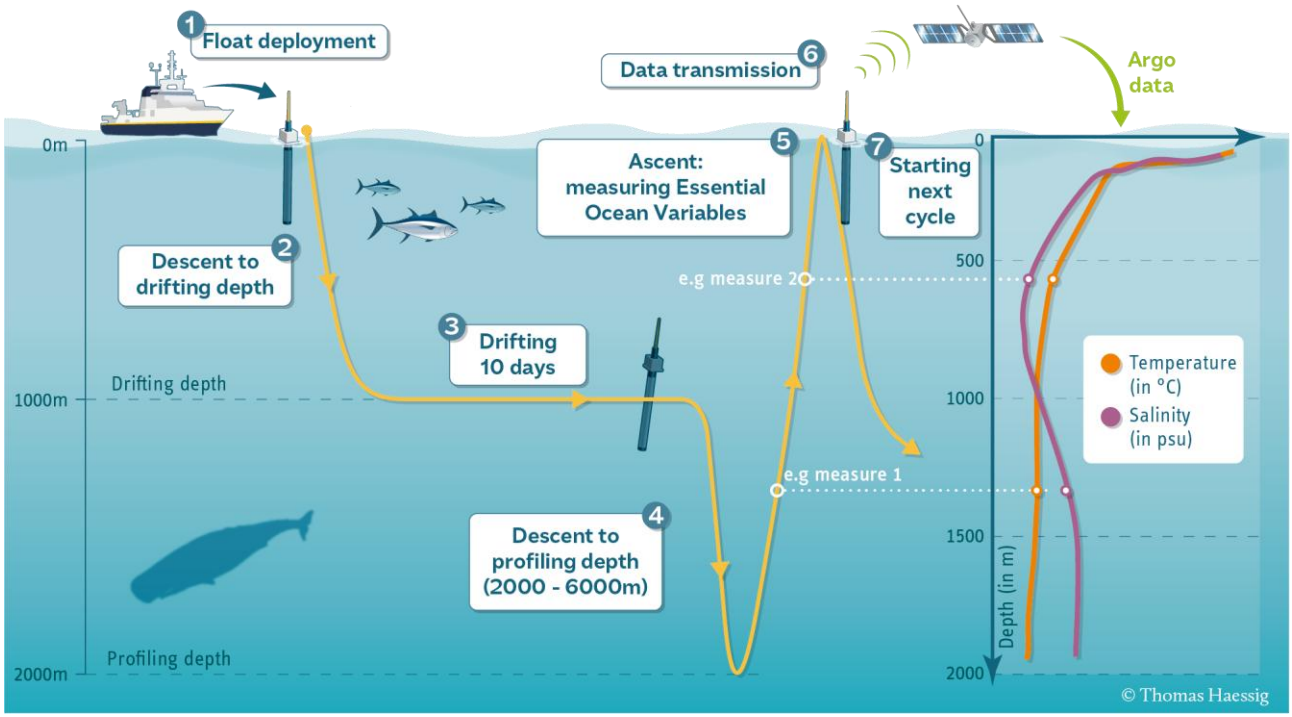
Oceanografia fizyczna to dziedzina nauki zajmująca się badaniem fizycznych właściwości i procesów w oceanach, takich jak temperatura, zasolenie, gęstość, fale, prądy i pływy. Oceanografowie badają mechanizmy przepływu energii przez morze i jego granice, a także fizyczne oddziaływania morza z otoczeniem, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu mórz na klimat atmosfery. W analizie danych oceanograficznych wykorzystuje obserwacje i modele numeryczne do opisu i zrozumienia tych zjawisk. Ich zastosowania obejmują, między innymi, prognozowanie pogody, rozwój branży offshore oraz projektowanie konstrukcji morskich.

Program Argo

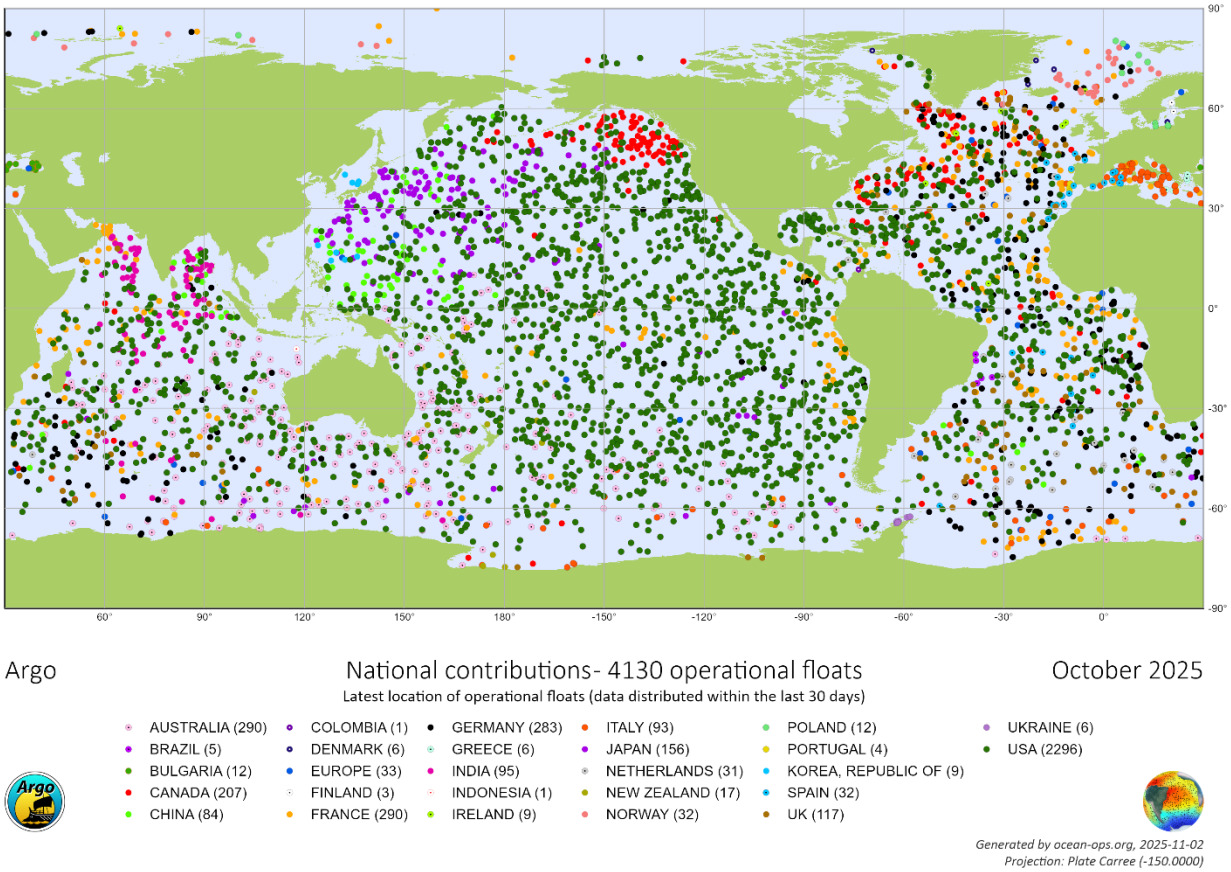
Argo to międzynarodowy program, który gromadzi informacje z głębi oceanu za pomocą floty pływaków, które dryfują wraz z prądami oceanicznymi i poruszają się w górę i w dół między powierzchnią a środkową warstwą wody. Każdy pływak spędza prawie całe swoje życie pod powierzchnią wody. Nazwa Argo została wybrana, ponieważ zestaw pływaków współpracuje z satelitami obserwacyjnymi Jason, które mierzą kształt powierzchni oceanu. (W mitologii greckiej Jason płynął swoim statkiem Argo w poszukiwaniu złotego runa). Dane gromadzone przez Argo opisują temperaturę i zasolenie wody, a niektóre pływaki mierzą dodatkowo parametry bio-optyczne i chemiczne oceanu. Głównym powodem gromadzenia tych danych jest zrozumienie roli oceanów w klimacie Ziemi, aby móc lepiej oszacować, jak będzie się on zmieniał w przyszłości.
W roku 2024 program Argo gromadził 13 000 profili danych miesięcznie (ponad 400 dziennie). To znacznie przewyższa ilość danych, które można zebrać spod powierzchni oceanu za pomocą jakiejkolwiek innej metody.

Rodzaje pływaków Argo:
Core Argo: pływaki mierzące temperaturę, zasolenie i ciśnienie do głębokości 2000 m.
Deep Argo: pływaki mierzące temperaturę, zasolenie i ciśnienie do głębokości 6000 m.
BGC-Argo: pływaki mierzące temperaturę, zasolenie, ciśnienie, zawartość tlenu, pH, azotany, chlorofil, rozpraszanie wstecz i oświetlenie do głębokości 2000 m.
Polar Argo: pływaki mierzące temperaturę, zasolenie i ciśnienie do głębokości 2000 m w regionach polarnych.

Każdy pływak Argo (kosztujący od 25 000 do 185 000 dolarów, w zależności od specyfikacji technicznej) jest wypuszczany ze statku. Waga pływaka jest dostosowywana tak, aby podczas zanurzania się ustabilizował się on na ustalonym poziomie, zwykle 1 km. Dziesięć dni później wewnętrzna pompa zasilana baterią przenosi olej między zbiornikiem wewnątrz pływaka a zewnętrznym pęcherzem. Dzięki temu pływak najpierw opada na głębokość 2 km, a następnie powraca na powierzchnię, mierząc parametry oceanu podczas wynurzania. Dane i pozycja pływaka są przekazywane do satelitów, a następnie do stacji odbiorczych na brzegu. Następnie pływak ponownie zanurza się, aby powtórzyć 10-dniowy cykl, aż do wyczerpania baterii.



Rys. 1. Typowy cykl pływaka Argo.



Rys. 2. Dystrybucja pływaków Argo na świecie z podziałem na kraje.

Podstawową zasadą Argo jest to, że wszystkie dane są dostępne bezpłatnie. Istnieje wiele narzędzi do wizualizacji danych, przykładowo:
https://fleetmonitoring.euro-argo.eu/ albo https://dataselection.euro-argo.eu/

W oceanografii powszechnie używa się decybara (dbar) jako jednostki ciśnienia hydrostatycznego. W typowych warunkach morskich ciśnienie rośnie o ok. 1 dbar na każdy metr głębokości, więc ta zależność jest wygodnym uproszczeniem. Przybliżenie 1 dbar ≈ 1 m działa dobrze w górnych 1000 m oceanu z dokładnością ±1–2%, zależnie od: grawitacji (różna w zależności od szerokości geograficznej), gęstości wody (zależnej od zasolenia i temperatury), ściśliwości wody (zmienia się z głębokością).

Struktura hydrologiczna Południowego Bałtyku

Bałtyk to słonawy, półzamknięty akwen o silnej stratyfikacji i bardzo ograniczonej wymianie z Morzem Północnym. Hydrologia Bałtyku jest niestabilna w skali rocznej i dekadowej, a kluczową rolę odgrywa dopływ wód słonych, odpływ wód słodkich i pionowa struktura zasolenia.

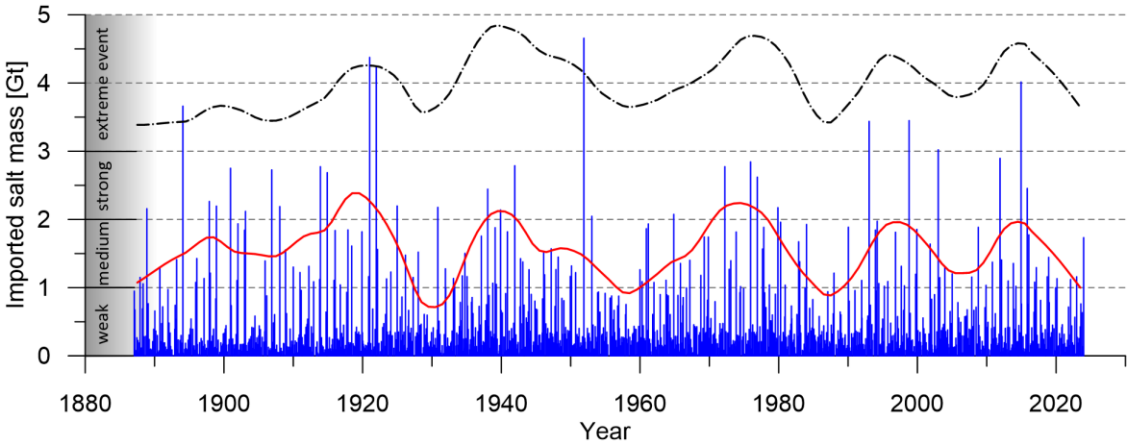
Bałtyk składa się z trzech głównych warstw wody:

1. Warstwa powierzchniowa (0–60 m): dobrze wymieszana; niski poziom zasolenia: 6–8 PSU na otwartym morzu, 2–7 PSU bliżej wybrzeży, zasilana przez intensywny dopływ rzek (Wisła, Niemen, Dźwina, Odra), silnie reaguje na warunki pogodowe; wyraźnie sezonowa termoklina latem (10–25 m) o temperaturze 15–22°C przy powierzchni i 4–7°C poniżej termokliny; zimą cały słup wody 2–4°C.
2. Haloklina (około 60–80/100 m): stała, przez cały rok, oddziela wody powierzchniowe od głębinowych, skok zasolenia z ~7 PSU do 11–13 PSU, duża stabilność, praktycznie uniemożliwia pionowe mieszanie i dotlenianie wód głębokich.
3. Wody głębinowe (poniżej 100–120 m): znacznie bardziej słone: 11–20 PSU, zimne (~4–6°C przez cały rok) i w stagnacji, często beztlenowe, z warstwami siarkowodoru, ich jakość zależy od epizodów dopływu wód słonych z Morza Północnego (tzw. Major Baltic Inflows – MBI)

W ostatnich dekadach obserwuje się długoterminowe ocieplenie wód głębinowych o ok. 0,5–0,8°C (trend regionalny). Ponadto, upwelling przybrzeżny jest silnie zaznaczony wzdłuż polskiego wybrzeża, szczególnie w okolicach Helu, na wybrzeżu środkowym, w rejonie Bornholmu. Prowadzi do wynoszenia chłodnych, bardziej słonych wód o niskiej temperaturze latem (czasem 5–7°C przy powierzchni, gdy wokół jest 18–20°C).

Wlewy do Bałtyku

Duże wlewy bałtyckie (MBI) przenoszą ogromne ilości słonej wody do Morza Bałtyckiego. Są one jedynym źródłem wentylacji głębokich wód w centralnych basenach Morza Bałtyckiego i w znacznym stopniu kontrolują warunki środowiskowe poniżej halokliny. Do 2015 r. dostępne szeregi czasowe częstotliwości i intensywności MBI wykazywały silny spadek częstotliwości MBI po latach 80. XX wieku, po którym nastąpiły długotrwałe okresy stagnacji w centralnych basenach Morza Bałtyckiego.



Rys. 3. Seria czasowa wlewów w latach 1886–2024 (niebieskie słupki to wlewy barotropowe). Wysokość słupków opisuje intensywność poszczególnych zdarzeń w gigatonach (Gt) importowanej soli. Czerwona krzywa przedstawia średni roczny import soli dla wszystkich wlewów, a czarna przerywana − dla wlewów barotropowych.

Wyróżnia się dwa mechanizmy: **wlew barotropowy** – wywołany różnicą poziomów morza (ciśnienia atmosferycznego) i **wlew baroklinowy** – wywołany różnicami gęstości (zasolenia i temperatury). Oba typy często występują razem, ale odpowiadają za różne fazy wymiany wód. Wlew barotropowy powstaje zwykle gdy nad Morzem Północnym panują niże, a nad Bałtykiem wyże – wtedy różnica ciśnień powoduje wzrost poziomu Morza Północnego, oraz kiedy wiatry zachodnie wpychają masy wody w kierunku Kattegatu i dalej do cieśnin duńskich. Przepływ jest prawie jednorodny w pionie, nie zależy od gęstości. Z kolei wlew baroklinowy wywołuje przepływ silnie **warstwowy**, skoncentrowany w przydennej warstwie morza.

Literatura:

- Instytut Oceanologii PAN: https://www.iopan.pl/
- Program Argo: https://argo.ucsd.edu/about/
- Argo Polska: https://www.iopan.gda.pl/hydrodynamics/po/Argo/argo.html
- Broszura „Zjawisko słonych wlewów z Morza Północnego do Bałtyku” W. Walczowski, A. Beszczyńska–Möller, D. Rak, P. Wieczorek

Pytania do przygotowania:

Zajęcia w Instytucie Oceanologii PAN w Sopocie
Program Argo oraz mechanizm wlewów do Bałtyku

1. Czym zajmuje się Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk?
2. Jakie kierunki badań są obecnie prowadzone w Zakładzie Dynamiki Morza IOPAN?
3. Na czym polega program Argo? Ile pływaków obecnie dostarcza dane? Jak wiele danych pomiarowych spływa średnio każdego dnia? Gdzie można znaleźć te dane?
4. Jakie parametry są mierzone przez różne typy pływaków Argo?
5. Opisz typowy cykl pomiarowy pływaka Argo.
6. Jaka jest średnia głębokość Bałtyku w porównaniu z głębokością innych mórz i oceanów? Jaka jest głębokość największych zatok Bałtyckich?
7. Jakie warstwy wyróżniamy w wodzie Bałtyku?
8. Jakie jest powierzchniowe zasolenie różnych obszarów Bałtyku? Jakie jest zasolenie wód przydennych?
9. Jaki jest bilans wodny Bałtyku?
10. Na czym polega mechanizm wlewów do Morza Bałtyckiego?
11. Jakie są rodzaje wlewów? Czym się charakteryzują? Jak często dochodzi do takich wlewów?
12. Jakie znaczenie mają wlewy dla życia w Bałtyku?
13. Jakie służby monitorują stan Morza Bałtyckiego pod względem hydrologicznym?
14. Gdzie można znaleźć prognozy meteorologiczne dla Bałtyku? Gdzie można znaleźć dane hydrologiczne dotyczące Morza Bałtyckiego?
15. Jakie parametry hydrologiczne, meteorologiczne i ekologiczne są obecnie monitorowane zdalnie (z wykorzystaniem technik satelitarnych) w obszarze Morza Bałtyckiego?

Plan aktywności

Część A. Oceanografia fizyczna
Sieć pływaków Argo.

Część B. Hydrologia Morza Bałtyckiego
Wlewy do Bałtyku, z podziałem na wlewy baroklinowe i barotropowe.

Część C. Pokaz modelu południowego Bałtyku, który symuluje proces wlewu wód słonych

Sprawozdanie

Sprawozdanie przygotowujemy według szablonu dostępnego na stronie internetowej (https://wm.umg.edu.pl/laboratorium-hydrologii-morz-i-oceanow) w wersji elektronicznej. Sprawozdanie należy przesłać na adres e-mail podany przez prowadzącego zajęcia.

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Wstęp metodyczny.
2. Profile temperatury i zasolenia ze wskazanych pływaków Argo wraz z komentarzem uwidocznionych tam zmienności.
3. Krótki opis mechanizmu wlewów do Bałtyku i zdjęcie modelu wlewów wykonane w Instytucie Oceanologii PAN.