Wprowadzenie teoretyczne

Przetwarzanie danych hydrologicznych w Marine Copernicus Service – wprowadzenie

Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) to europejski serwis monitorowania środowiska morskiego, będący częścią programu obserwacji Ziemi Copernicus realizowanego przez Unię Europejską od 2012 roku. Serwis zapewnia bezpłatny dostęp do danych oceanograficznych pochodzących z obserwacji satelitarnych, pomiarów *in situ* (np. boi pomiarowych, statków i autonomicznych platform) oraz numerycznych modeli oceanu. Dane obejmują zarówno stan aktualny, prognozy, jak i wieloletnie serie historyczne.

Strona serwisu: https://marine.copernicus.eu
Home → Ocean Visualisations → Explore MyOcean Pro

Podstawowe parametry oceanograficzne dostępne w serwisie:

- **Fizyczne (BLUE OCEAN)**: temperatura wody, anomalie temperatury zasolenie, prądy morskie, poziom morza, wysokość fali znacznej, szybkość i kierunek wiatru.
- **Biogeochemiczne (GREEN OCEAN)**: stężenie chlorofilu, stężenie rozpuszczonego tlenu, stężenie substancji odżywczych, produkcja pierwotna, pH, współczynnik osłabiania światła.
- **Polarne (WHITE OCEAN)**: koncentracja i grubość lodu morskiego, szybkość dryfu.

Dane Copernicus są wykorzystywane m.in. w oceanografii, meteorologii morskiej, monitorowaniu zmian klimatu, ochronie środowiska i zarządzaniu obszarami morskimi.



Mercator Ocean International to francuska organizacja specjalizująca się w oceanografii operacyjnej, modelowaniu numerycznym oraz monitorowaniu i prognozowaniu stanu mórz i oceanów. Jest jednym z kluczowych podmiotów realizujących europejski program Copernicus Marine Service (CMEMS), który zapewnia bezpłatny dostęp do danych satelitarnych, pomiarów in situ, reanaliz i prognoz oceanograficznych. Działalność Mercator Ocean obejmuje m.in.:
- monitorowanie temperatury, zasolenia, prądów morskich, poziomu morza i pokrywy lodowej;
- analizę parametrów biogeochemicznych,
- opracowywanie modeli numerycznych i prognoz zmian środowiska morskiego;
- dostarczanie danych dla nauki, żeglugi, ochrony środowiska, rybołówstwa i zarządzania obszarami morskimi.

Mercator Ocean odgrywa ważną rolę w rozwoju europejskiego cyfrowego bliźniaka oceanu w ramach inicjatywy European Digital Twin Ocean (EDITO), której celem jest stworzenie zintegrowanego środowiska do obserwowania, modelowania i prognozowania procesów zachodzących w oceanach. EDITO jest obecnie rozwijaną infrastrukturą, a nie kompletnym modelem wszystkich procesów oceanicznych. W latach 2025–2028 trwa kolejny etap jej rozwoju, realizowany przez Mercator Ocean International we współpracy z Flanders Marine Institute (VLIZ).

Digital Twin Ocean – Cyfrowy Bliźniak Oceanu to dynamiczna, cyfrowa reprezentacja oceanu, łącząca rzeczywiste obserwacje, modele numeryczne, sztuczną inteligencję i zaawansowane narzędzia wizualizacji. W odróżnieniu od tradycyjnych baz danych oceanograficznych umożliwia nie tylko analizowanie aktualnego stanu oceanu, lecz także przeprowadzanie symulacji typu what-if („co się stanie, jeśli…"). Przykładowo, cyfrowy bliźniak może służyć do symulowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, oceny wpływu zmian klimatu na ekosystemy morskie czy analizowania skutków budowy morskich farm wiatrowych.

MyOcean Learn to przeglądarka edukacyjna, oferująca sześć podstawowych zmiennych (temperatura, zasolenie, prądy, falowanie, chlorofil i lód morski), animacje czasowe, widok globu 3D oraz materiały wyjaśniające zjawiska oceanograficzne. Dane są aktualizowane dwa razy w roku.

MyOcean Light to internetowa przeglądarka umożliwiająca interaktywną wizualizację wybranych danych bez konieczności instalowania specjalistycznego oprogramowania. udostępnia 12 predefiniowanych zmiennych (temperatura, anomalie temperatury, zasolenie, prądy morskie, prędkość i kierunek wiatru, wysokość fali znacznej, chlorofil a, produkcja biomasy, pH, tlen rozpuszczony, wysokość poziomu morza i koncentracja lodu morskiego). Umożliwia analizowanie szeregów czasowych i profili pionowych w wybranych punktach, eksport danych SVG/CSV/NetCDF oraz tworzenie map i animacji. Nie wymaga samodzielnego wyszukiwania produktów w katalogu. Przeglądarka jest przeznaczona przede wszystkim do szybkiego zapoznawania się z danymi oraz ich wizualnej interpretacji.

MyOcean Pro to bardziej zaawansowane narzędzie internetowe służące do eksploracji, wizualizacji i analizy danych oceanograficznych udostępnianych przez Copernicus Marine Service. Zapewnia dostęp do pełnego katalogu CMEMS, możliwość nakładania wielu warstw, wyznaczania transektów i obszarów, tworzenia histogramów, profili pionowych i szeregów czasowych oraz pobierania wybranych podzbiorów danych. Obsługuje również import własnych danych i geometrii. W porównaniu z uproszczonymi przeglądarkami oferuje rozbudowane możliwości pracy z produktami danych, m.in.:

- wybór określonych zbiorów danych i ich zmiennych;
- analizę rozkładów przestrzennych i czasowych;
- wizualizację danych na różnych głębokościach;
- analizę pionowych profili parametrów oceanograficznych;
- tworzenie wykresów zmian parametrów w czasie;
- analiza danych przestrzennych wzdłuż określonej trasy liniowej lub w zaznaczonym obszarze.

MyOcean Pro jest szczególnie przydatny w interpretacji procesów fizycznych i biogeochemicznych zachodzących w morzach i oceanach.

Przykładowe parametry w serwisie MyOcean Pro

Temperatura wody (*sea water potential temperature*), jednostka: °C.
Temperatura określa stan cieplny wody morskiej. Zależy przede wszystkim od szerokości geograficznej, promieniowania słonecznego, wymiany ciepła z atmosferą, prądów morskich i głębokości.
Typowe wartości: około −2 do 30°C, lokalnie na powierzchni powyżej 30°C. Obszary polarne: ok. −2 do 5°C, obszary tropikalne: ok. 25–30°C, wody głębinowe: najczęściej ok. 0–4°C.
Znaczenie: Temperatura wpływa na gęstość wody, stratyfikację termiczną, cyrkulację oceaniczną, rozpuszczalność gazów i funkcjonowanie organizmów morskich. Jej pionowy gradient prowadzi do powstawania termokliny.

Anomalia temperatury powierzchni morza (*Sea Surface Temperature Anomaly, SSTA*), jednostka: °C.
Anomalia temperatury jest różnicą między aktualną temperaturą powierzchni morza a wieloletnią wartością referencyjną dla danego miejsca i okresu roku:

$$\mathbf{SSTA = SST_{aktualna} - SST_{referencyjna}}$$

Typowe wartości: ok. −2 do +2°C, ale podczas silnych anomalii wartości mogą przekraczać ±3–5°C.
Anomalia dodatnia: powierzchnia morza cieplejsza od wartości referencyjnej.
Anomalia ujemna: powierzchnia morza chłodniejsza od wartości referencyjnej.
Znaczenie: Pozwala identyfikować morskie fale upałów, anomalne ochłodzenia oraz zjawiska klimatyczne, np. El Niño i La Niña. Jest istotnym wskaźnikiem zmian klimatycznych.

Zasolenie *(Salinity), j*ednostka: PSU.
Zasolenie określa ilość rozpuszczonych soli w wodzie morskiej. W oceanografii stosuje się najczęściej zasolenie praktyczne wyznaczane na podstawie przewodnictwa elektrycznego. **Typowe wartości** to zazwyczaj 33–37 PSU (ocean otwarty), morza silnie parujące: nawet 39–41 PSU, Bałtyk: od ok. 2–3 PSU w północnych zatokach do 7–8 PSU w południowej części właściwego Bałtyku; wyższe wartości występują

w rejonie cieśnin duńskich i w głębiach.
Znaczenie: Zasolenie, razem z temperaturą i ciśnieniem, decyduje o gęstości wody. Wpływa na cyrkulację termohalinową, powstawanie halokliny i mieszanie się mas wodnych. Jest również wskaźnikiem parowania, opadów, dopływu rzecznego i topnienia lodu.

Prądy morskie (*Currents, sea water velocity*), jednostka: m/s.
Prądy morskie to uporządkowany ruch mas wody wywołany m.in. przez wiatr, gradienty ciśnienia, różnice gęstości i oddziaływanie siły Coriolisa. Prędkość prądu jest wielkością wektorową.
Typowe wartości dla prądów powierzchniowych: 0,05–0,5 m/s; silne prądy zachodnich granic oceanów, np. Golfsztrom: ok. 1–2 m/s (lokalnie więcej); prądy głębinowe: 0,001–0,1 m/s.
Znaczenie: Prądy transportują ciepło, sól, substancje odżywcze, organizmy i zanieczyszczenia. Mają znaczenie dla klimatu, żeglugi, ratownictwa morskiego oraz prognozowania rozprzestrzeniania się substancji w wodzie.

Wysokość powierzchni morza (*Sea Surface Height, SSH*), jednostka: m.
Parametr opisuje położenie powierzchni morza względem określonego poziomu odniesienia, najczęściej **geoidy modelowej** i określa bezwzględną wysokość dynamiczną powierzchni morza. **Geoida** to powierzchnia ekwipotencjalna ziemskiego pola grawitacyjnego, która w przybliżeniu pokrywałaby się ze średnim poziomem spokojnego oceanu, gdyby nie występowały prądy, wiatr, pływy i inne procesy dynamiczne. W odróżnieniu od elipsoidy, geoida jest nieregularna, ponieważ pole grawitacyjne Ziemi nie jest jednorodne. Wpływają na nie m.in. nierównomierne rozmieszczenie mas we wnętrzu Ziemi, ukształtowanie skorupy ziemskiej i rozkład gęstości skał. Geoida modelowa to numeryczne przybliżenie rzeczywistej geoidy, wyznaczone na podstawie pomiarów pola grawitacyjnego i obliczeń matematycznych. **Typowe wartości:**
- Zmiany związane z mezoskalową cyrkulacją oceaniczną: często rzędu 0,1–1 m.
- Zmiany pływowe: od centymetrów do kilku metrów, lokalnie ponad 10 m.
- Spiętrzenia sztormowe: od kilkudziesięciu centymetrów do kilku metrów.
Znaczenie: Rozkład wysokości powierzchni morza umożliwia analizowanie cyrkulacji geostroficznej, wirów oceanicznych, pływów i spiętrzeń sztormowych. Długoterminowe pomiary pozwalają monitorować wzrost średniego poziomu oceanu.

Wysokość fali znacznej (*Significant Wave Height*), jednostka: m.
Wysokość fali znacznej odpowiada średniej wysokości jednej trzeciej najwyższych fal w danym obszarze o określonym stanie morza. Nie jest to wysokość największej pojedynczej fali. **Typowe wartości:**
- Spokojne morze: poniżej 0,5 m.
- Umiarkowane falowanie: około 1–3 m.
- Silne sztormy: około 5–10 m.
- Ekstremalne sztormy oceaniczne: fala znaczna może przekraczać 15 m.
Znaczenie: Falowanie wpływa na bezpieczeństwo żeglugi, eksploatację konstrukcji offshore, erozję brzegów i mieszanie powierzchniowej warstwy wody. Ma również istotne znaczenie dla bezpieczeństwa ludności zamieszkującej obszary przybrzeżne. Znajomość wysokości falowania jest niezbędna do projektowania i eksploatacji zabezpieczeń przeciw sztormom, takich jak falochrony, wały przeciwsztormowe, opaski brzegowe i systemy ochrony wydm. Prognozy falowania wspierają systemy wczesnego ostrzegania, planowanie ewakuacji oraz zarządzanie ryzykiem powodziowym na wybrzeżach.

Wiatr (*Wind*), jednostka: m/s.
Wiatr jest poziomym ruchem powietrza wywołanym różnicami ciśnienia atmosferycznego. W produktach meteorologicznych wykorzystywanych przez oceanografię jego prędkość zwykle odnosi się do wysokości 10 m nad powierzchnią morza. **Typowe wartości:**
- Słaby wiatr: 0–5 m/s.
- Umiarkowany wiatr: 5–10 m/s.
- Silny wiatr: 10–20 m/s.
- Wiatr sztormowy: około 20–30 m/s i więcej.
Znaczenie: Wiatr jest głównym czynnikiem generującym falowanie wiatrowe i prądy powierzchniowe. Powoduje mieszanie wód, transport Ekmana, upwelling i downwelling oraz wpływa na wymianę ciepła i gazów między oceanem a atmosferą.

Stężenie chlorofilu *a* (*mass concentration of chlorophyll-a*), jednostka: mg/m³.
Chlorofil *a* (*Chl-a*) jest głównym barwnikiem fotosyntetycznym fitoplanktonu, występującym m.in. u okrzemek, bruzdnic, zielenic i sinic, odpowiedzialnym za pochłanianie promieniowania słonecznego przede wszystkim w niebieskiej (ok. 430–440 nm) i czerwonej (ok. 660–680 nm) części widma. Umożliwia przekształcanie energii świetlnej w energię chemiczną podczas fotosyntezy. Jego stężenie jest powszechnie stosowanym

wskaźnikiem biomasy fitoplanktonu i stanu troficznego wód, choć zawartość chlorofilu w komórkach zmienia się zależnie od gatunku, natężenia światła i dostępności substancji odżywczych. **Typowe wartości:**
- Oceany oligotroficzne: około 0,01–0,1 mg/m³.
- Wody oceaniczne o umiarkowanej produktywności (mezotroficzne): około 0,1–1 mg/m³.
- Wody przybrzeżne i obszary upwellingu (eutroficzne): około 1–10 mg/m³.
- Intensywne zakwity fitoplanktonu: powyżej 10 mg/m³, niekiedy kilkadziesiąt mg/m³.

Znaczenie: Chlorofil *a* pozwala oceniać rozmieszczenie fitoplanktonu, identyfikować zakwity oraz monitorować zmiany ekosystemów morskich. Jest również jednym z podstawowych parametrów oceanografii satelitarnej i oceny eutrofizacji.

Odczyn wody (*Acidity – pH*), jednostka: bezwymiarowa skala pH.
Odczyn wody określa jej kwasowość i jest związany z aktywnością jonów wodorowych. W oceanografii pH opisuje się w określonej skali, najczęściej całkowitej (total scale).
Typowe wartości pH powierzchniowych wód oceanicznych: ok. 7,8–8,3; wód głębinowych ok. 7,5–8,0. Wody przybrzeżne i estuaria mogą wykazywać znacznie większą zmienność, nawet poniżej 7,5.
Znaczenie: pH wpływa na równowagę układu węglanowego i dostępność jonów węglanowych niezbędnych organizmom budującym wapienne szkielety i muszle. Spadek pH jest jednym z przejawów zakwaszania oceanu spowodowanego pochłanianiem antropogenicznego CO_2.

Stężenie tlenu rozpuszczonego (*Dissolved Oxygen*), jednostka: mmol/m³.
Parametr określa ilość tlenu cząsteczkowego rozpuszczonego w jednostce objętości wody. Jego stężenie zależy od temperatury, zasolenia, wymiany gazowej z atmosferą, fotosyntezy oraz procesów oddychania i rozkładu materii organicznej. **Typowe wartości:**
- Dobrze natlenione wody powierzchniowe: około 180–350 mmol/m³.
- Wody o obniżonej zawartości tlenu: około 60–150 mmol/m³.
- Hipoksja: często przyjmuje się próg około 63 mmol/m³, odpowiadający 2 mg/L.
- Anoksja: praktyczny brak rozpuszczonego tlenu

Znaczenie: Tlen jest niezbędny do oddychania większości organizmów morskich. Jego niedobór ogranicza bioróżnorodność i może prowadzić do powstawania martwych stref, szczególnie w wodach silnie stratyfikowanych i eutroficznych, np. w głębiach Bałtyku.

Produkcja netto biomasy; produkcja pierwotna (*Biomass Net Production, Net Primary Production – NPP*), jednostka: mg/m³/dzień.
Parametr opisuje tempo netto wytwarzania biomasy fitoplanktonu w jednostce objętości wody. Produkcja pierwotna netto (NPP) określa tempo wiązania węgla nieorganicznego w materię organiczną przez fitoplankton, po uwzględnieniu strat związanych z oddychaniem i innymi procesami metabolicznymi. W produktach biogeochemicznych produkcja pierwotna zwykle jest wyrażana jako przyrost biomasy węgla.
Typowe wartości:
- Wody oligotroficzne: orientacyjnie poniżej 1–5 mg C/m³/dzień.
- Wody umiarkowanie produktywne: około 5–50 mg C/m³/dzień.
- Wody bardzo produktywne: kilkadziesiąt do kilkuset mg C/m³/dzień.

Znaczenie: Produkcja biomasy określa intensywność tworzenia materii organicznej, stanowiącej podstawę morskich sieci troficznych. Zależy od dostępności światła, substancji odżywczych, temperatury oraz fizjologii fitoplanktonu. W odróżnieniu od stężenia chlorofilu a, które opisuje ilość barwnika w danym momencie, produkcja biomasy opisuje tempo procesu biologicznego. Dlatego obszary o wysokim stężeniu chlorofilu nie muszą pokrywać się z obszarami największej produkcji.

Koncentracja lodu morskiego (*Sea Ice Concentration*), jednostka: %.
Parametr określa procent powierzchni morza pokrytej lodem w obrębie określonej komórki siatki modelu lub piksela satelitarnego. Nie opisuje grubości lodu. **Wartość** 0% oznacza wodę wolną od lodu, 1–15%: niewielki udział lodu; 15–80%: częściowe pokrycie lodem a 80–100%: zwarte lub bardzo zwarte pokrycie lodowe.
Znaczenie: Lód morski wpływa na bilans radiacyjny Ziemi poprzez wysokie albedo, ogranicza wymianę ciepła i gazów między oceanem a atmosferą oraz modyfikuje zasolenie i cyrkulację wód. Jego zasięg i koncentracja stanowią ważne wskaźniki zmian klimatycznych w Arktyce i Antarktyce.

Szybkość dryfu lodu morskiego (*Sea Ice Drift Speed*), jednostka: m/s lub km/dobę.
Parametr określa prędkość poziomego przemieszczania się pokrywy lodowej pod wpływem wiatru, prądów morskich oraz sił działających między krami lodowymi. W warunkach swobodnego dryfu prędkość lodu jest rzędu 1–3% prędkości wiatru. Typowy dryf lodu arktycznego ma **wartość** 0,02–0,15 m/s, intensywny dryf podczas sztormów 0,30–0,50 m/s, lokalnie więcej. **Znaczenie**: Dryf lodu ma istotne znaczenie dla klimatu, transportu morskiego i bezpieczeństwa infrastruktury polarnej. Przemieszcza lód między regionami.

Pytania do przygotowania:

Przetwarzanie danych hydrologicznych w Marine Copernicus Service – Część 2 (Green Ocean) i Część 3 (White Ocean)

1. Czym jest program Copernicus i jakie są jego główne cele? Jakie dane udostępnia Copernicus Marine Service?
2. Jakie są trzy podstawowe źródła danych oceanograficznych wykorzystywanych przez CMEMS?
3. Czym różnią się dane satelitarne od danych pochodzących z modeli numerycznych oceanu?
4. Jakie parametry fizyczne i biogeochemiczne wody morskiej można analizować w serwisie?
5. Do czego służą przeglądarki MyOcean (Learn, Light, Pro)?
6. O czym mówi nam stężenie chlorofilu w wodzie morskiej? Czym jest strefa eufotyczna?
7. Czy jest produkcja pierwotna biomasy? W jakich jednostkach się ją wyraża i jakie są jej typowe wartości dla wód przybrzeżnych i na otwartym oceanie w sezonie letnim i zimowym?
8. Na czym polega zjawisko upwellingu?
9. Jak określamy odczyn pH wody morskiej?
10. Od czego zależy zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie morskiej? W jakich jednostkach się ją wyraża? Jakie są zakresy wartości dla dobrze natlenionych wód, hipoksji i anoksji?

Przygotowanie zajęć

1. Rejestrujemy się w serwisie MyOcean Pro (na stronie https://marine.copernicus.eu/access-data/myocean-viewer klikamy „Login or Register”) na kilka dni przed zajęciami. Jest to niezbędne, aby móc eksportować analizy danych.
2. Zapoznajemy się z treścią video tutorialu „Introduction to MyOcean Pro Viewer”: https://help.marine.copernicus.eu/en/articles/6482737-introduction-to-myocean-pro-viewer

Przebieg zajęć

1. Pracujemy w zespołach 2-osobowych, ale każdy student pobiera dane dla innej lokalizacji lub innego okresu czasu.
2. Logujemy się w serwisie MyOcean Pro.
3. Wyświetlamy odpowiednie charakterystyki zgodnie ze wskazówkami prowadzącego i obrazujemy graficznie trendy w wybranych lokalizacjach.
4. Eksportujemy uzyskane wykresy i wklejamy do szablonu sprawozdania.
5. Każdą zobrazowaną charakterystykę opatrujemy komentarzem, uwagami, wnioskami.
6. Ukończone sprawozdanie przesyłamy w formie elektronicznej na podany adres poczty elektronicznej prowadzącego zajęcia.

Analiza trendów

W zależności od szybkości łącza internetowego, analizy wykonujemy w dłuższych lub krótszych okresach czasu.

Część 2: GREEN OCEAN – parametry biogeochemiczne wody morskiej

Product: Global Ocean Biogeochemistry Analysis and Forecast
Layer: Mass concentration of chlorophyll a in sea water

Ćwiczenie 1: Obserwacja stężenia chlorofilu.
Sprawdź jak zmienia się stężenie chlorofilu w obszarze Arktyki, równika i Antarktydy w ciągu roku. W jakich miesiącach mamy maksymalne stężenie chlorofilu w tych obszarach, a w jakich minimalne? Na jakiej głębokości znajduje się gradient stężenia chlorofilu? Eksportuj wykresy zmian czasowych i głębokościowych stężenia chlorofilu z wybranego roku o wysokim piku stężenia.

Product: Global Ocean Biogeochemistry Analysis and Forecast
Layers: Mass concentration of chlorophyll a in sea water; Net primary production of biomass expressed as carbon per unit volume in sea water

Ćwiczenie 2: Porównanie stężenia chlorofilu i produkcji pierwotnej.
Obserwuj w jakich obszarach występuje najwyższa produkcja pierwotna w sezonie letnim i zimowym. Czy te obszary korelują ze stężeniem chlorofilu? Znajdź dwa punkty, jeden w Arktyce, drugi w obszarze równikowym. Nałóż na siebie wykresy stężenia chlorofilu i produkcji pierwotnej. Czy okresy maksymalnej produkcji pierwotnej pokrywają się z maksimum stężenia chlorofilu? W jakich miesiącach występują maksima dla każdego z tych obszarów? Jak głęboko sięga strefa eufotyczna? Eksportuj wykresy.

Product: Global Ocean Biogeochemistry Analysis and Forecast
Layer: Sea water potential temperature; Mass concentration of chlorophyll a in sea water; Net primary production of biomass expressed as carbon per unit volume in sea water

Ćwiczenie 3: Upwelling
Znajdź datę wysokiej produkcji pierwotnej na zachodnim wybrzeżu Afryki Północnej (np. luty-marzec, okolice Mauretanii). Narysuj linię od obszaru niskiej produkcji pierwotnej aż do wybrzeża, prostopadle do wybrzeża. Dodaj wykresy: “temperatura (thetao) value vs distance and elevation” oraz “chlorofil (chl) value vs distance and time”. Jeśli jest upwelling, zobaczysz zimną wodę wychodzącą na powierzchnię w miarę zbliżania się do brzegu, skorelowaną z wysoką produkcją pierwotną w tym obszarze. Eksportuj wykresy i sprawdź w jakich miesiącach upwelling jest najsilniejszy w tym obszarze.

Podobne zjawisko możesz zaobserwować w Zatoce Panamskiej (np. w lutym-marcu 2024 r.), wzdłuż zachodniego wybrzeża Ameryki Południowej (np. w marcu 2025 r.), albo u wybrzeża Namibii (np. w lutym 2025 r.) porównując temperaturę powierzchni morza i stężenie chlorofilu. Upwelling lepiej widać po przybliżeniu danego obszaru. Obszary upwellingu to jedne z najlepszych łowisk na świecie.

Product: Global Ocean Biogeochemistry Analysis and Forecast
Layer: Mole concentration of nitrate in sea water, Mole concentration of phosphate in sea water

Ćwiczenie 4: Stężenie substancji odżywczych i nutriklina
Obserwuj gdzie jest są obszary wysokich stężeń składników odżywczych. Czy obszary te porywają się ze wcześniej obserwowanymi obszarami wysokiego stężenia chlorofilu i produkcji pierwotnej? Dlaczego mamy wysokie stężenia biogenów i niską produkcję pierwotną na Oceanie Południowym? Wybierz punkt na Oceanie Południowym w projekcji South Pole lub na Oceanie Arktycznym w projekcji North Pole i eksportuj wykresy NO_3 i PO_4 czasowe i głębokościowe. Jakie są wartości średnie, minimalne i maksymalne tych biogenów? Jak zmieniają się z głębokością? Na jakiej głębokości znajduje się nutriklina?

Product: Global Ocean Biogeochemistry Analysis and Forecast
Layer: Mole concentration of dissolved molecular oxygen in sea water, daily

Ćwiczenie 5: Zawartość rozpuszczonego tlenu
Obserwuj powierzchniowe stężenie tlenu na oceanie światowym. Gdzie występują niskie stężenia tlenu? Wiedząc, że próg hipoksji to 63 mmol/m³ (co odpowiada ok. 2 mg O_2/L), zakreskuj obszary deficytu tlenu korzystając z funkcji *hatching*. Na zakreskowanym obszarze wybierz punkt i sprawdź jak często w ciągu ostatnich kilku lat występował tam deficyt tlenu w wodach powierzchniowych i na głębokości. Wyeksportuj wykres czasowy i głębokościowy pokazujący deficyt tlenu w warstwie przydennej.

Product: Baltic Sea Biogeochemistry Reanalysis
Layer: Mole concentration of dissolved molecular oxygen in sea water, monthly

Ćwiczenie 6: Strefy hipoksji w Bałtyku
Zakreskuj obszary hipoksji na obszarze Bałtyku. Na jakiej głębokości zaczyna się hipoksja w 2026 roku? Zapisz zdjęcie png z widoczną hipoksją w strefie przydennej Bałtyku. Znajdź punkt na obszarze hipoksji na głębokości 100 m i eksportuj wykresy czasowe i głębokościowe stężenia tlenu na tym obszarze w całym dostępnym okresie czasu.

Product: Global Ocean Biogeochemistry Analysis and Forecast
Layer: Sea water ph reported on total scale (daily),
Surface partial pressure of carbon dioxide in sea water (daily)

Ćwiczenie 7: Odczyn pH oceanu
Porównaj mapę odczynu pH i ciśnienia parcjalnego CO_2 globalnego oceanu. Wybierz dowolny punkt z mapy i eksportuj wykresy obu parametrów z ostatnich kilku lat.

Część 3: WHITE OCEAN – charakterystyka lodu morskiego

Zmieniamy projekcję na North Pole/South Pole

Product: Global Ocean Physics Reanalysis
Layers: Sea ice fraction; sea ice thickness, sea ice velocity, monthly

Ćwiczenie 1: Dynamika lodu morskiego w Arktyce i na Antarktydzie
Znajdź miesiąc, w którym mamy minimum i maksimum lodu morskiego w Arktyce i na Antarktydzie. Zaznacz obszar obejmujący znaczną część Arktyki lub Antarktydy i utwórz wykresy „sea ice fraction" oraz „sea ice thickness" z ostatnich 5 lat. Dokładne daty minumum i maksimum ilości oraz grubości lodu odczytaj z wykresów.

Ćwiczenie 2: Tworzenie filmów z trendami
Utwórz filmy pokazujące:
- zmiany miesięczne w pokrywie lodowej Arktyki oraz Antarktydy w ciągu wybranego roku;
- zmiany wieloletnie w pokrywie lodowej Arktyki oraz Antarktydy w wybranym miesiącu od 1993 r. do bieżącego roku;
- zmiany wieloletnie w pokrywie lodowej Bałtyku w lutym od 1993 r. do bieżącego roku.

Ćwiczenie 3: Wieloletnie zmiany grubości lodu
Dla trzech punktów w centrum Arktyki zapisz wykres pokazujący wieloletnie zmiany grubości lodu morskiego. Jak grubość ta zmienia się na przestrzeni lat?

Ćwiczenie 4: Szybkość dryfu lodu morskiego
Porównaj szybkość dryfu lodu morskiego w 3 wybranych punktach Arktyki. W jaki sposób koreluje ona z grubością lodu? Eksportuj wykresy.

Product: Arctic Ocean Sea Ice Analysis and Forecast
Layer: Age of sea ice, monthly

Ćwiczenie 5: Wiek lodu morskiego w Arktyce
Porównaj wiek lodu morskiego w 3 wybranych punktach na Oceanie Arktycznym (np. na Morzu Grenlandzkim, w Zatoce Baffina i w prądzie Wschodniogrenlandzkim), w całej dostępnej skali czasu. Porównaj wartości średnie, minimalne i maksymalne wieku lodu w tych lokalizacjach. Eksportuj wykres.

Product: Global Ocean Physics Analysis and Forecast
Layer: Sea water salinity

Ćwiczenie 6: Zasolenie wody w czasie zamarzania i topnienia lodu morskiego
Porównaj zasolenie wody morskiej trzech wybranych lokalizacjach na Oceanie Arktycznym. Na podstawie wykresów określ miesiąc zamarzania i topnienia lodu morskiego. Podczas którego procesu następuje silniejszy gradient zasolenia? Zrób to samo na Oceanie Południowym – jaką widzisz różnicę? Eksportuj wykresy.