



# Morze Bałtyckie w obliczu zachodzących zmian klimatu (z punktu widzenia biogeochemika morza)

Karol Kuliński



Jak zmienia się Bałtyk? Fakty i mity  
WWF, webinar 2 luty 2023



Rzeczpospolita  
Polska

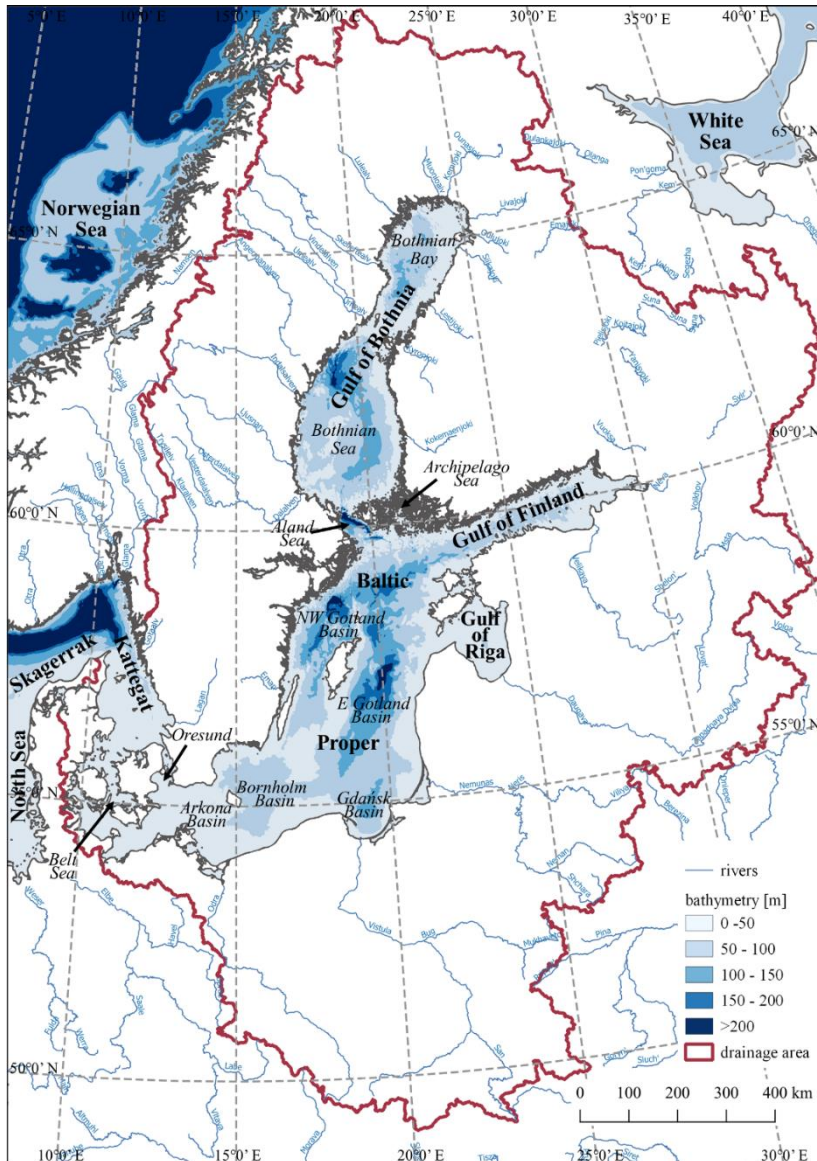
Unia Europejska  
Fundusz Spójności



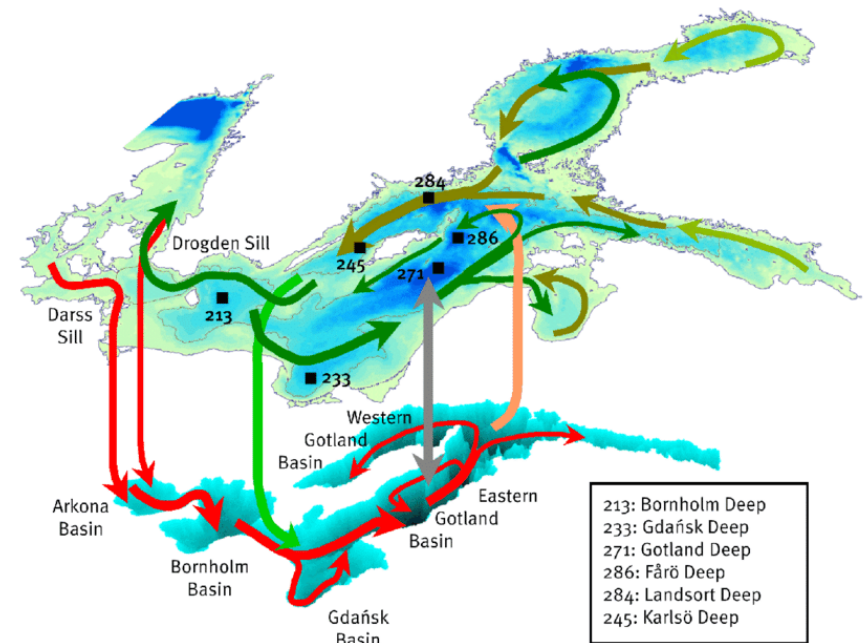
## Zmiany w przeszłości i teraźniejszości



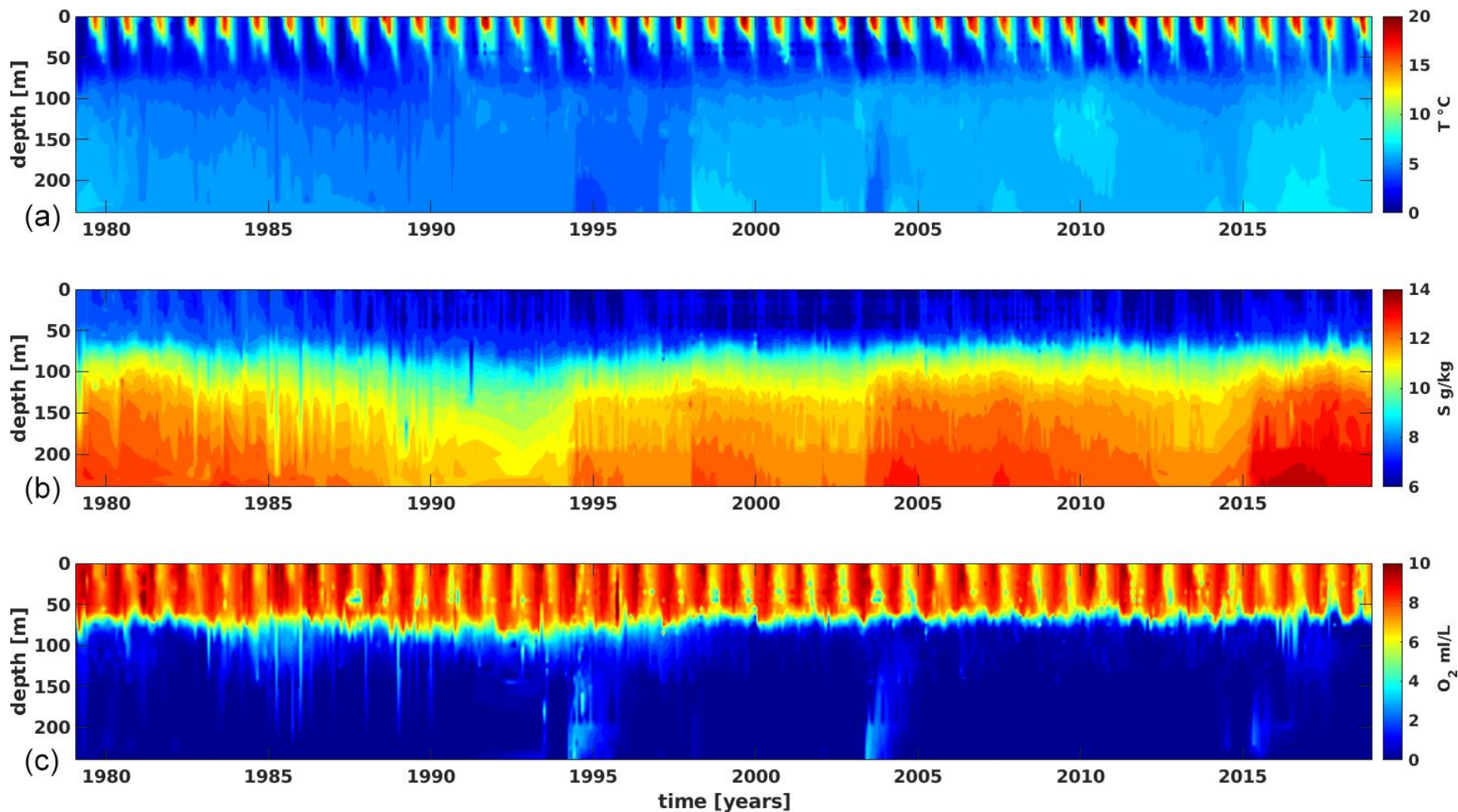
# Morze Bałtyckie – topografia i warunki hydrologiczne



Specyficzne warunki hydrologiczne (duży spływ rzeczny, rzadkie i sporadyczne wlewy wód z Morza Północnego oraz uwasrtwienie kolumny wody) a także silna presja ze strony zewnętrznych ładunków związków biogenicznych są głównymi czynnikami kształtującymi stan ekologiczny Bałtyku i jego funkcjonowanie biogeochemiczne.

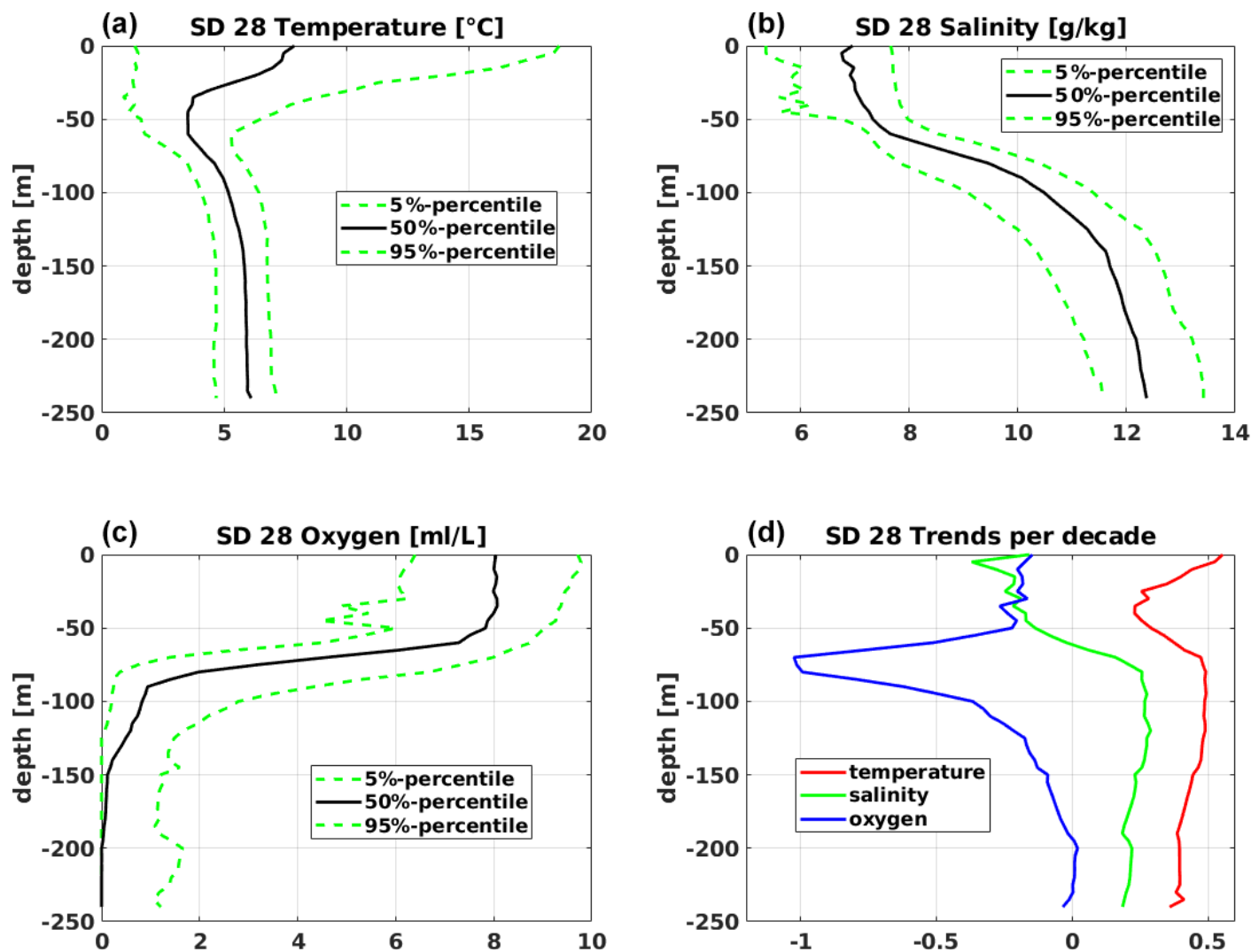


# Obserwowane zmiany T, S, O<sub>2</sub> na Głębi Gotlandzkiej w latach 1979-2018



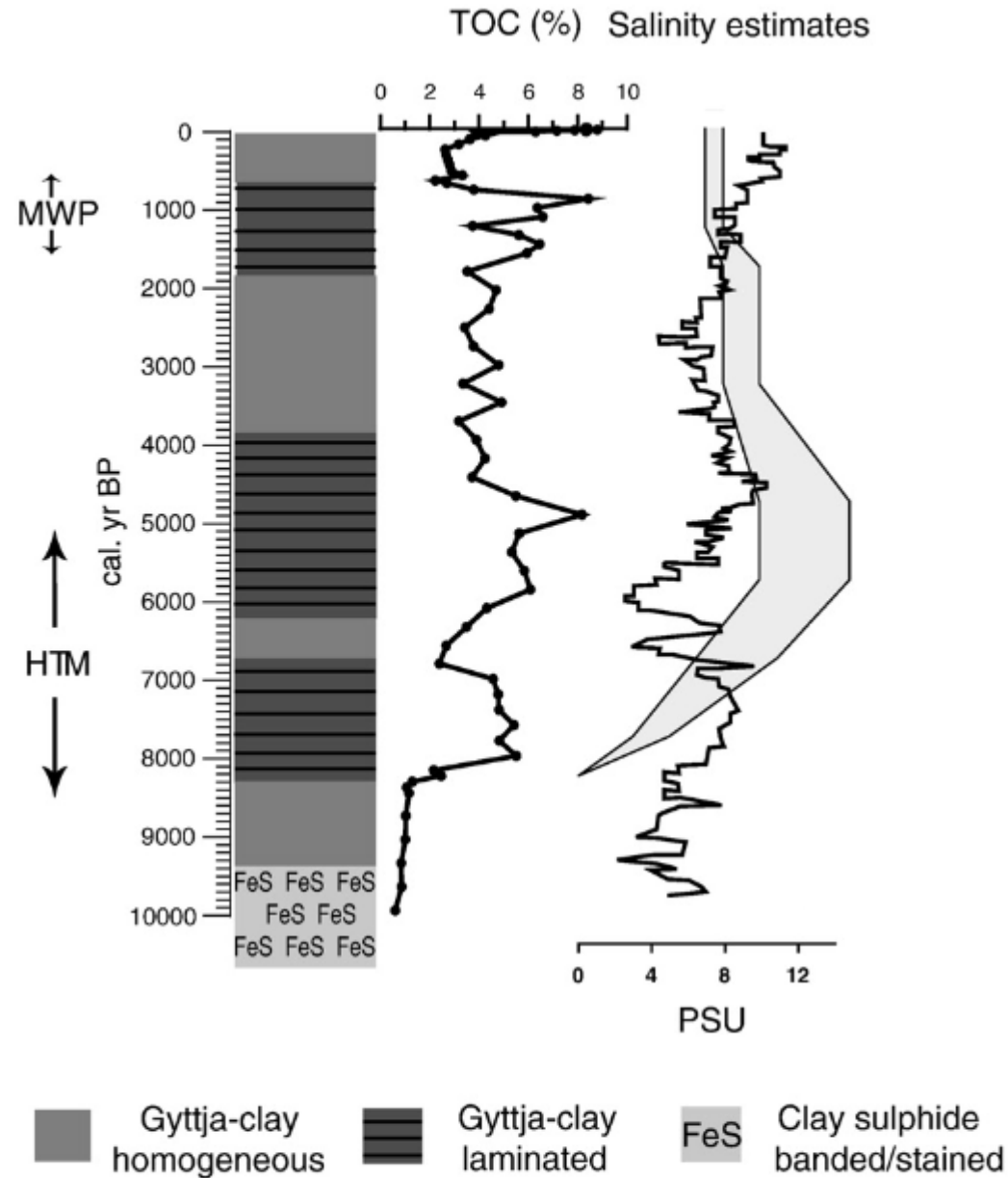
Lehmann i in., 2022. Dane pochodzą z: ICES Marine Data Centre (<https://www.ices.dk/Pages/default.aspx>)

# Obserwowane zmiany temperatury, zasolenia, i stężenia tlenu na Głębi Gotlandzkiej w latach 1979-2018

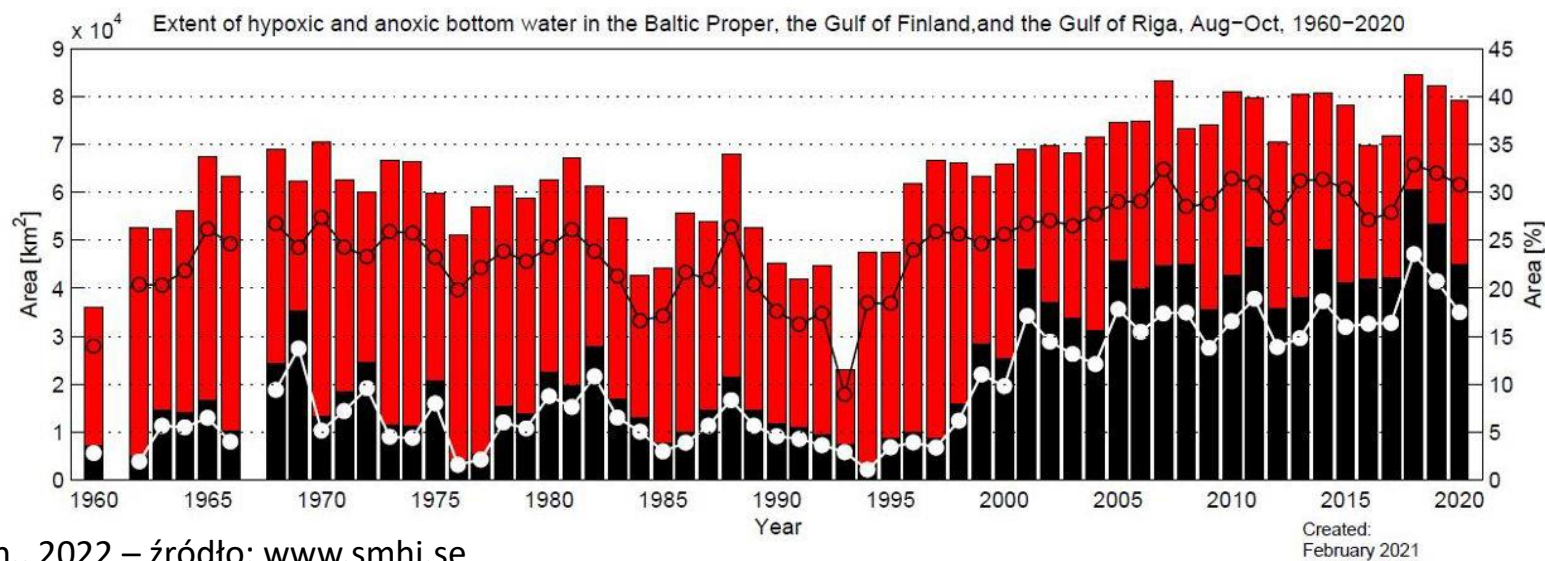


Lehmann i in., 2022. Rozkład temperatury (a), zasolenia (b), i stężenia tlenu (c) w okresie 1979–2018 .  
Zmiany na dekadę temperatury, zasolenia i tlenu dla okresu 1979–2018 (d).

# Czy deficyty tlenowe występowały w przeszłości?

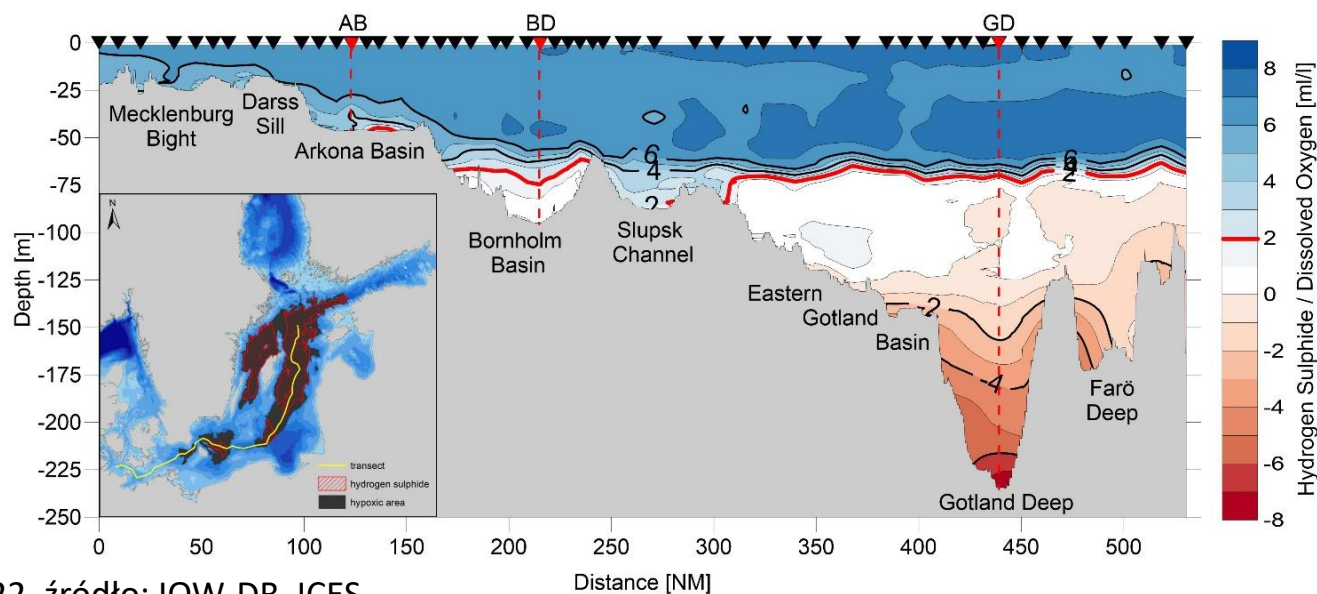


# Seria czasowa zasięgu warunków hipoksycznych (czerwony) i anoksycznych (czarny) w wodach przydennych w okresie sierpień - październik



Meier i in., 2022 – źródło: [www.smhi.se](http://www.smhi.se)

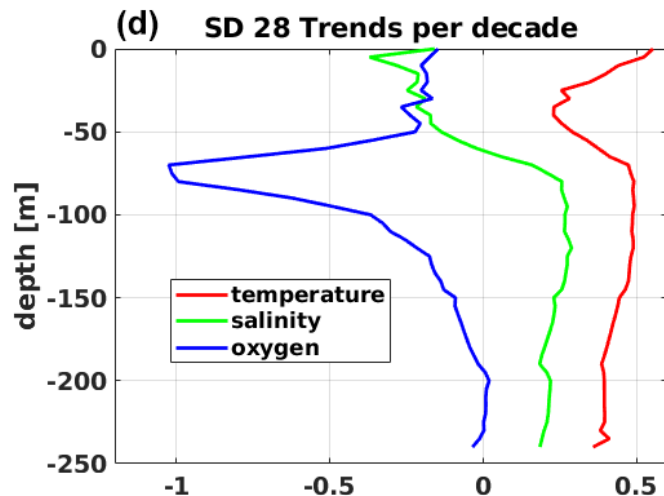
## Zasięg warunków hipoksycznych i anoksycznych w lipcu 2020



Kuliński i in., 2022, źródło: IOW-DB, ICES

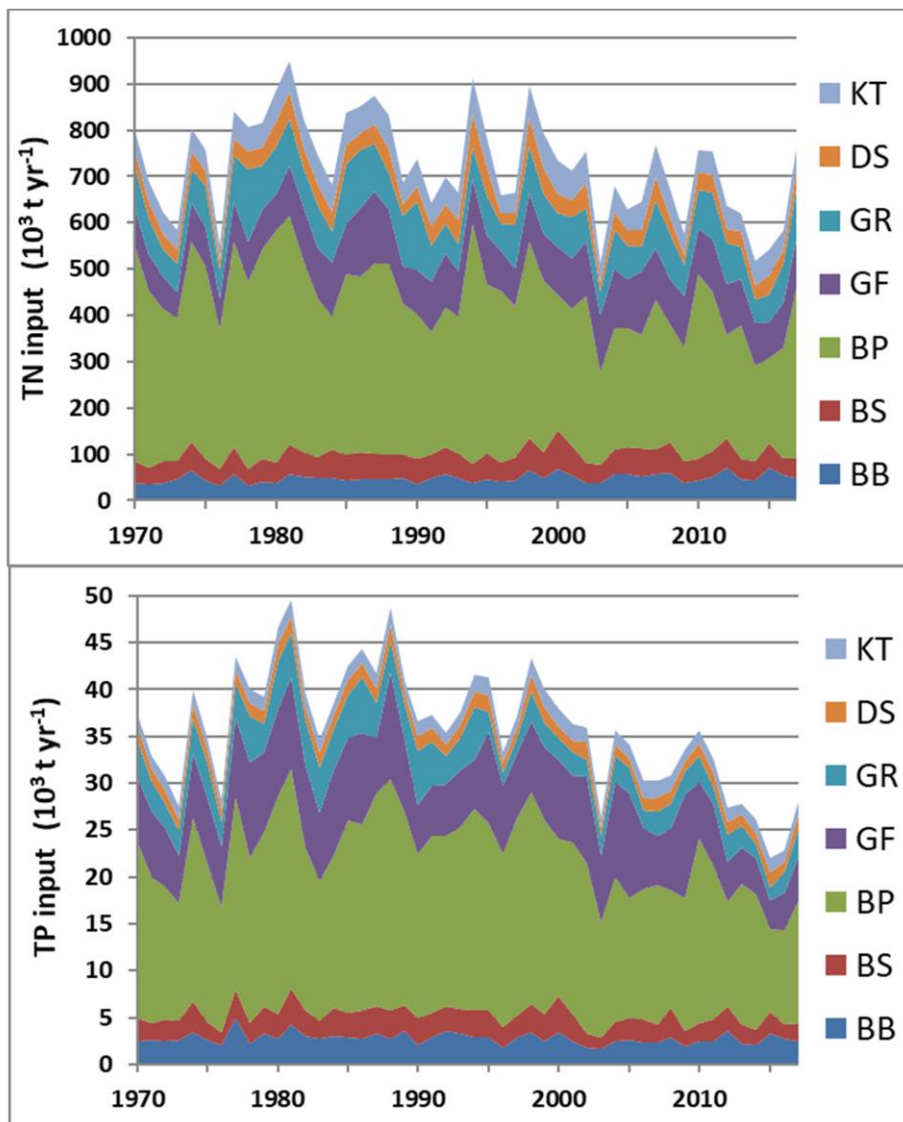
## Co stało się na przełomie XX i XXI wieku?

Uwarstwienie kolumny wody wzmocniło się po długim okresie osłabienia w latach 80-tych i 90-tych



Długookresowa zmienność (1970–2017) ładunków azotu (a) i fosforu (b) do Morza Bałtyckiego. BB – Zatoka Botnicka; BS – Morze Botnickie; BP – Bałtyk Właściwy; GF – Zatoka Fińska; GR – Zatoka Ryska; DS. – Cieśniny Duńskie; KT – Kattegat.

Ładunki substancji biogenicznych zaczęły spadać



Meier i in., 2022, uaktualnione po Savchuk i in., 2018

## Co stało się na przełomie XX i XXI wieku?

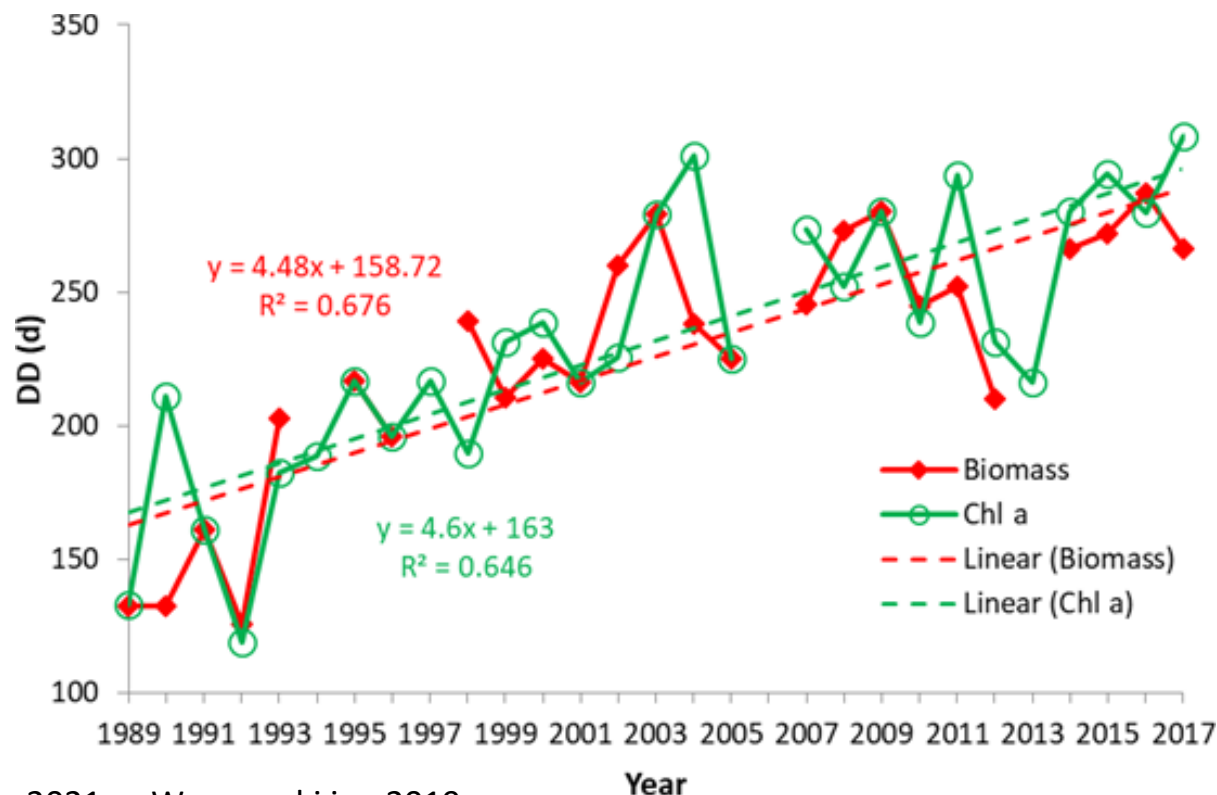
... I zmiana reżimu do tzw. „błędnego koła” z nadmiarem fosforu względem azotu...

...co przy wzroście temperatury stanowi warunki sprzyjające rozwojowi sinic, które mogą wiązać atmosferyczny  $N_2$  i nie są zależne od dostępności związków azotu w wodzie



## Długość trwania okresu wegetacyjnego (DD) – Zatoka Mecklenburgska

Ponieważ sezon wegetacyjny w Zatoce Mecklenburgskiej wydłużył się i trwa obecnie od lutego do grudnia, dalsze przedłużenie jest praktycznie niemożliwe. Jednak proces ten może nadal trwać w innych regionach Morza Bałtyckiego.



Rutgersson i in., 2021 za Wasmund i in., 2019

Okres, w którym stężenia chlorofilu a (Chl a) szacowane na podstawie obserwacji satelitarnych wynosi co najmniej  $3 \text{ mg m}^{-3}$ , wydłużył się z około 110 dni w 1998 r. do 220 dni w 2013 r. w środkowej części Morza Bałtyckiego (Kahru i in., 2016).

# Zmiany w przyszłości



## **Główne czynniki kształtujące przyszłe zmiany: zmiany klimatu i rozwój socjoekonomiczny (ładunki substancji biogenicznych)**

Oceny przyszłych zmian klimatu opierają się na scenariuszach związanych ze stężeniem/emisją gazów cieplarnianych, tzw. RCP

RCPs – Representative Concentration Pathways – scenariusze zmian emisji/stężeń gazów cieplarnianych w XXI wieku

**RCP2.6** – scenariusz zakładający skuteczną redukcję emisji mający na celu ograniczenie globalnego ocieplenia do nie więcej niż + 2°C do 2100 (Paris Agreement)

**RCP4.5** – scenariusz zakładający umiarkowaną redukcję emisji mający na celu ograniczenie globalnego ocieplenia do nie więcej niż + 3°C do 2100

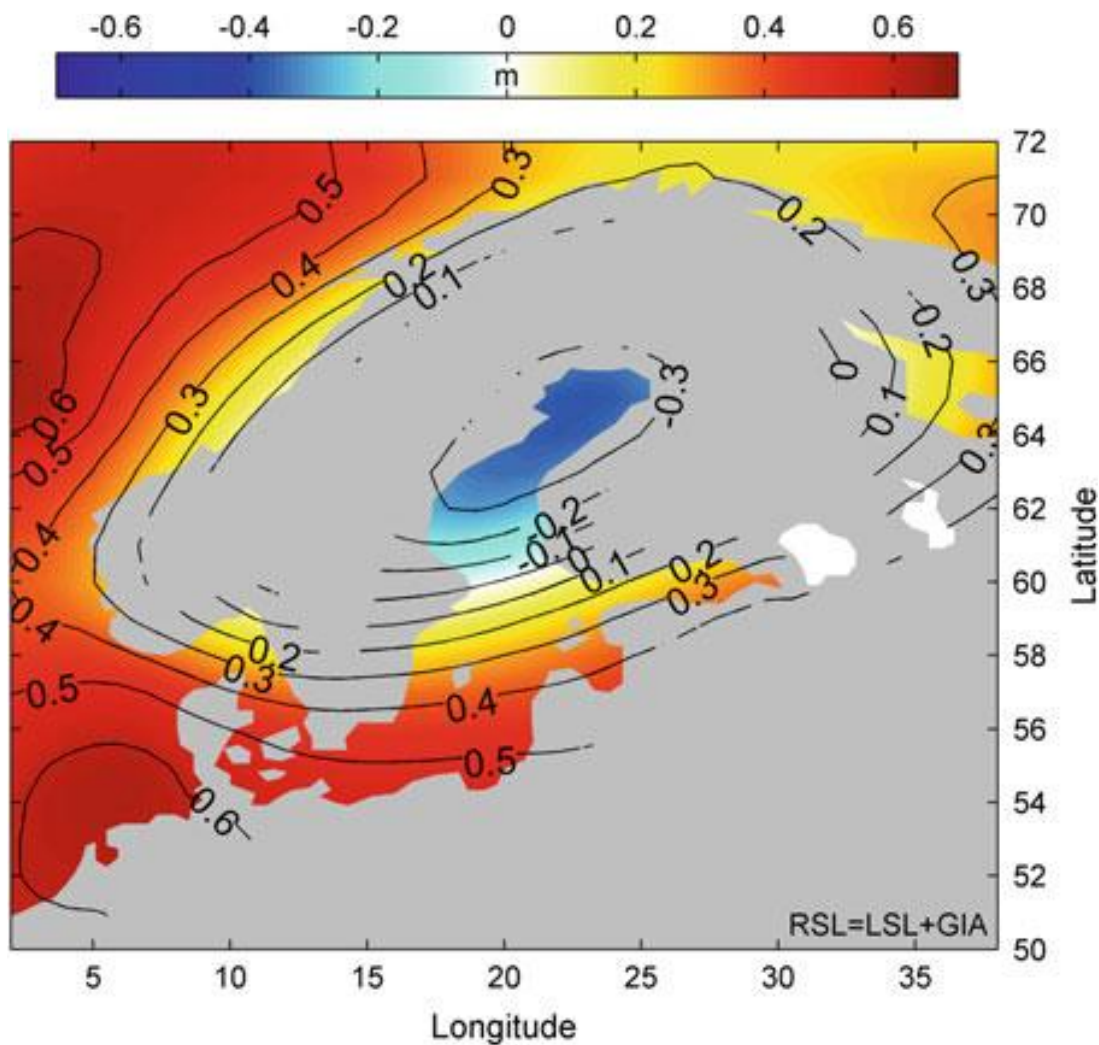
**RCP8.5** – scenariusz zakładający brak redukcji emisji skutkujący globalnym ociepleniem do + 5°C do 2100

Wyniki przedstawione na kolejnych slajdach odpowiadają RCP z uzyskanym z Coupled Model Intercomparison Project 5 (CMIP5), które zostały zaadaptowane (przeskalowane) dla rejonu Bałtyku.

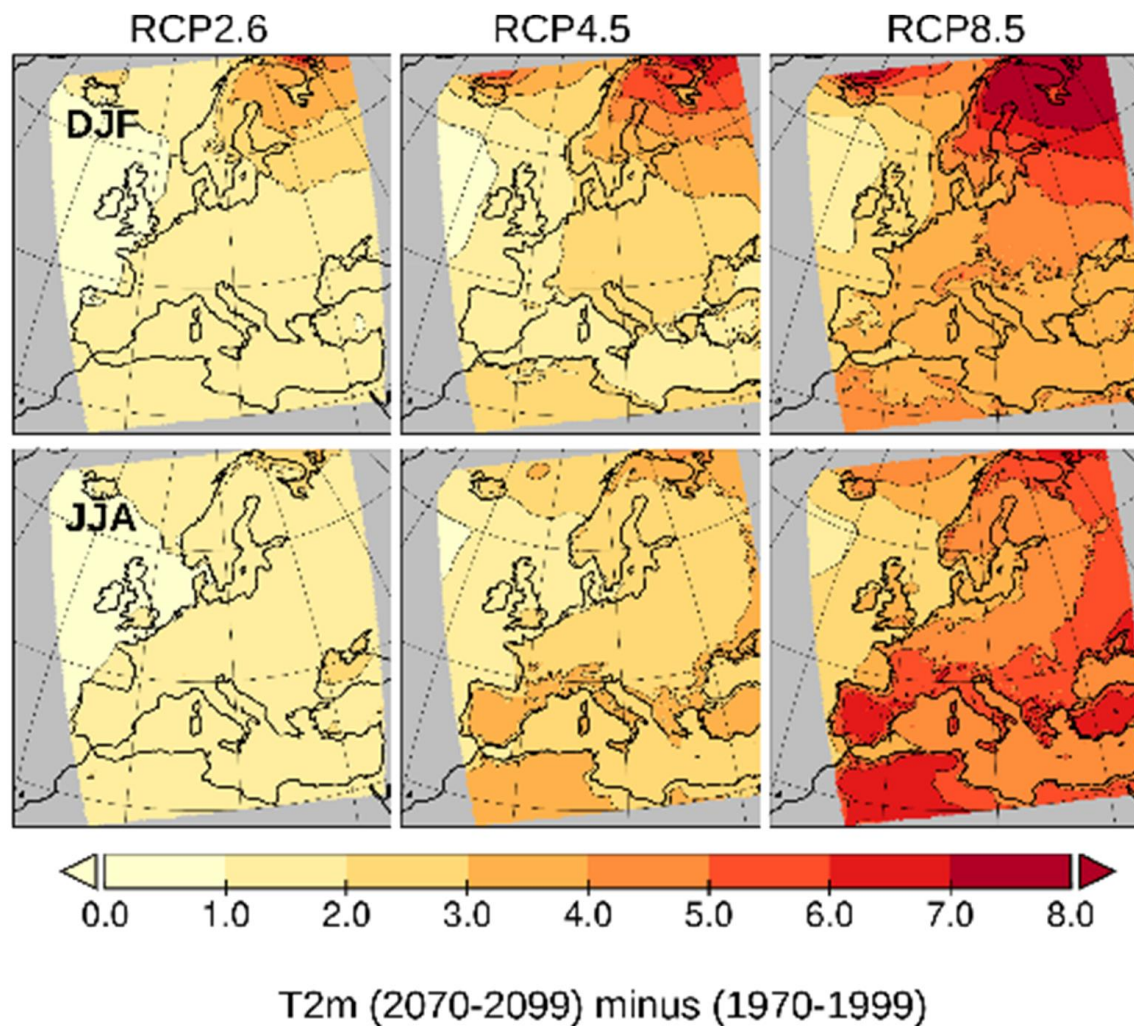
Skalowanie scenariuszy (tzw. SSP – Shared Socioeconomic Pathways) z CMIP6 dla rejonu Bałtyku nie jest jeszcze gotowe.

## Przewidywane zmiany poziomu morza do końca XXI w.

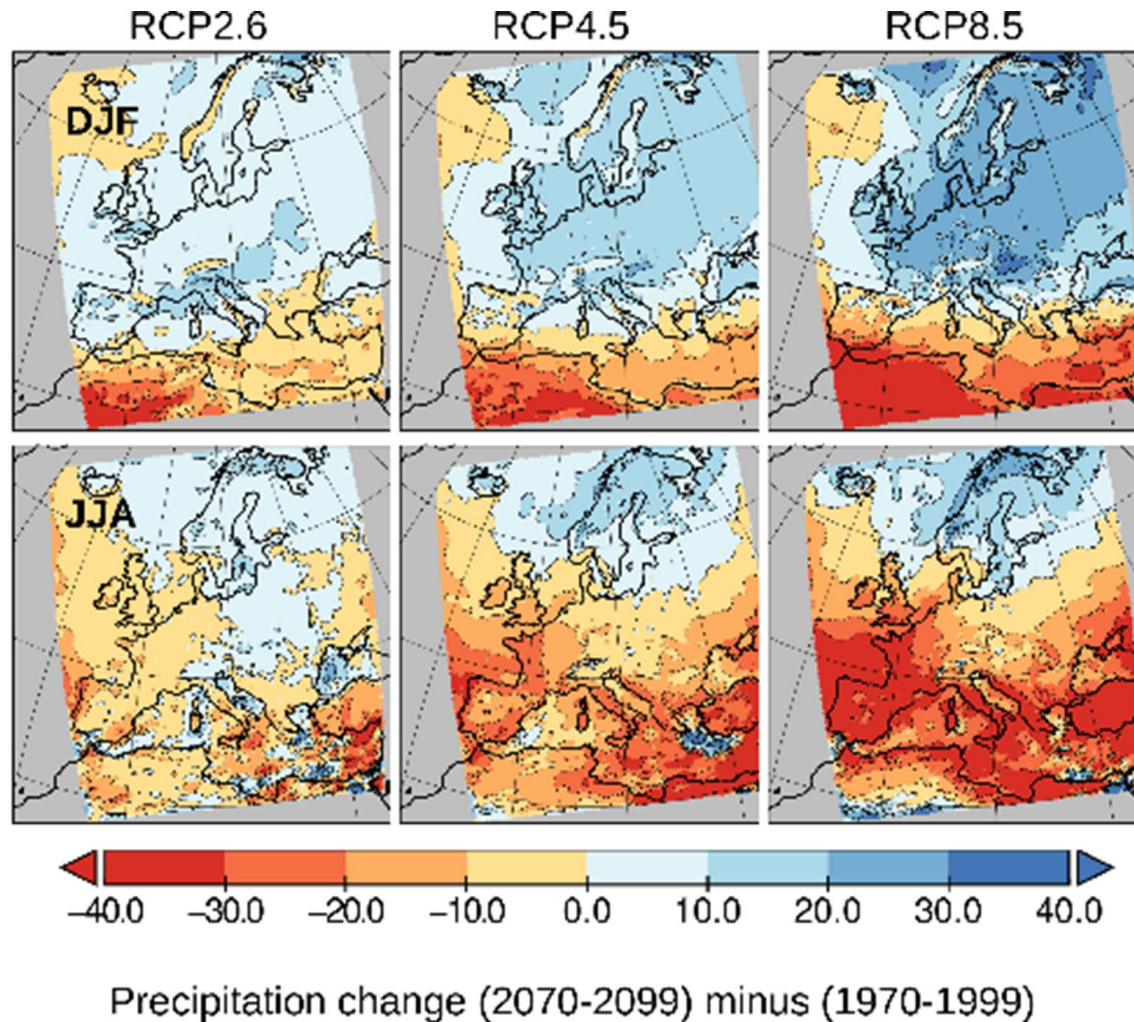
Obecne tempo wzrostu poziomu morza to ok 4mm/rok. Uśrednione scenariusze wskazują na wzrost poziomu morza o ok. 0,6 m do końca XXI w. Nie zakładają one jednak niestabilności lądolodu na Antarktydzie i Grenlandii.



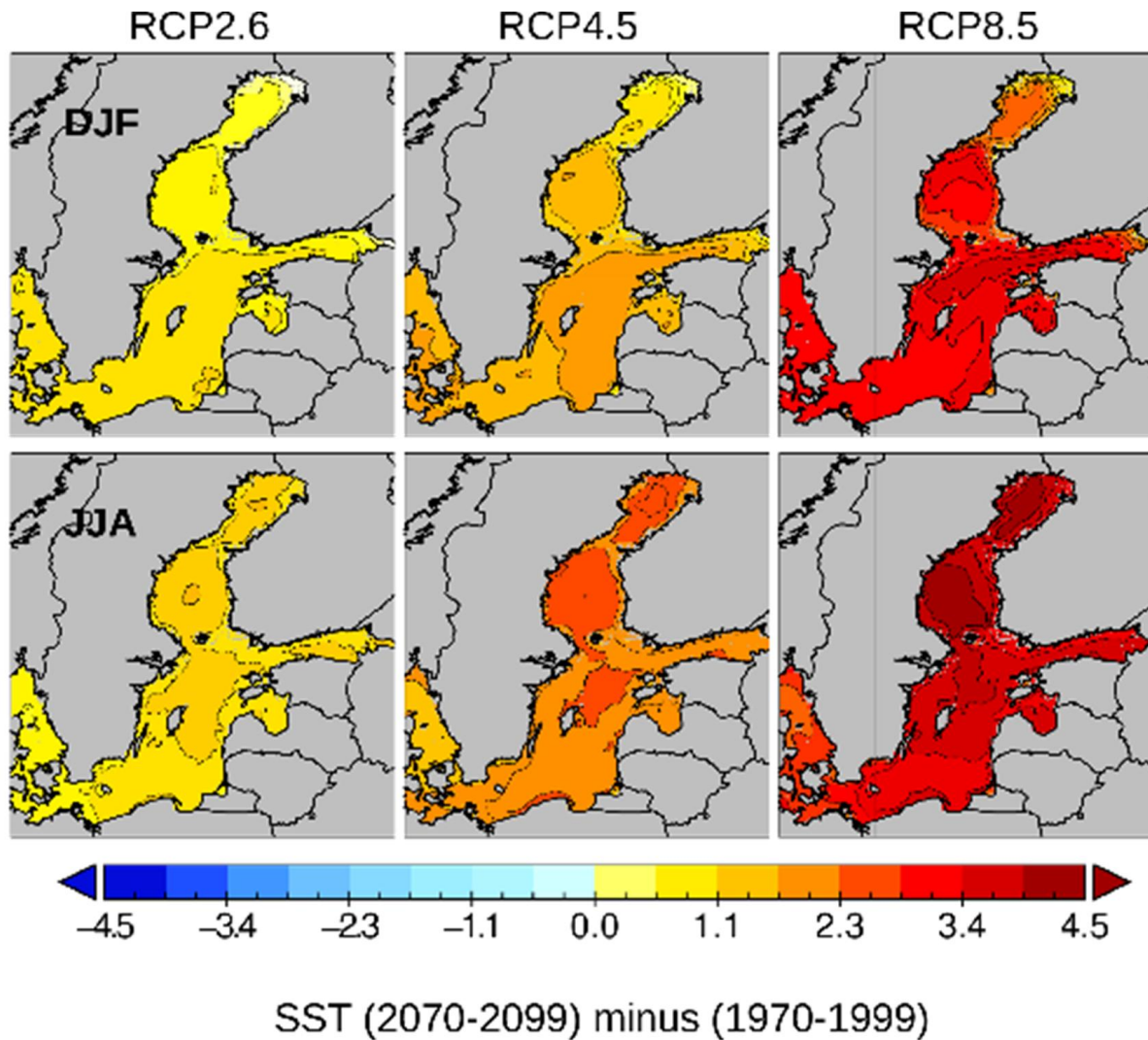
**Przewidywane zmiany temperatury powietrza w rejonie Morza Bałtyckiego  
średnie wyniki z 8 różnych modeli przeskalowanych dla tego obszaru**



## Przewidywane zmiany poziomu opadów w rejonie Morza Bałtyckiego średnie wyniki z 8 różnych modeli przeskalowanych dla tego obszaru



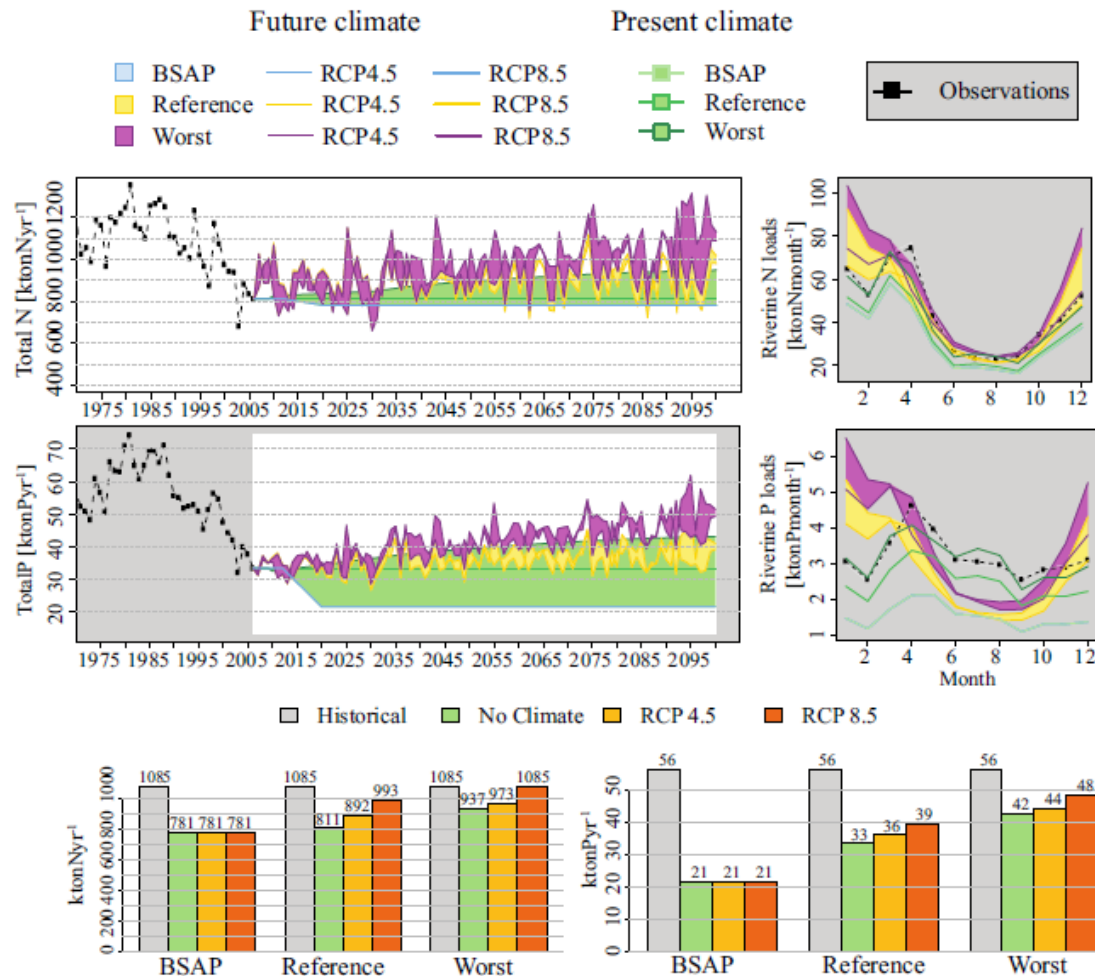
## Przewidywane zmiany temperatury powierzchniowej (SST) w Morzu Bałtyckim



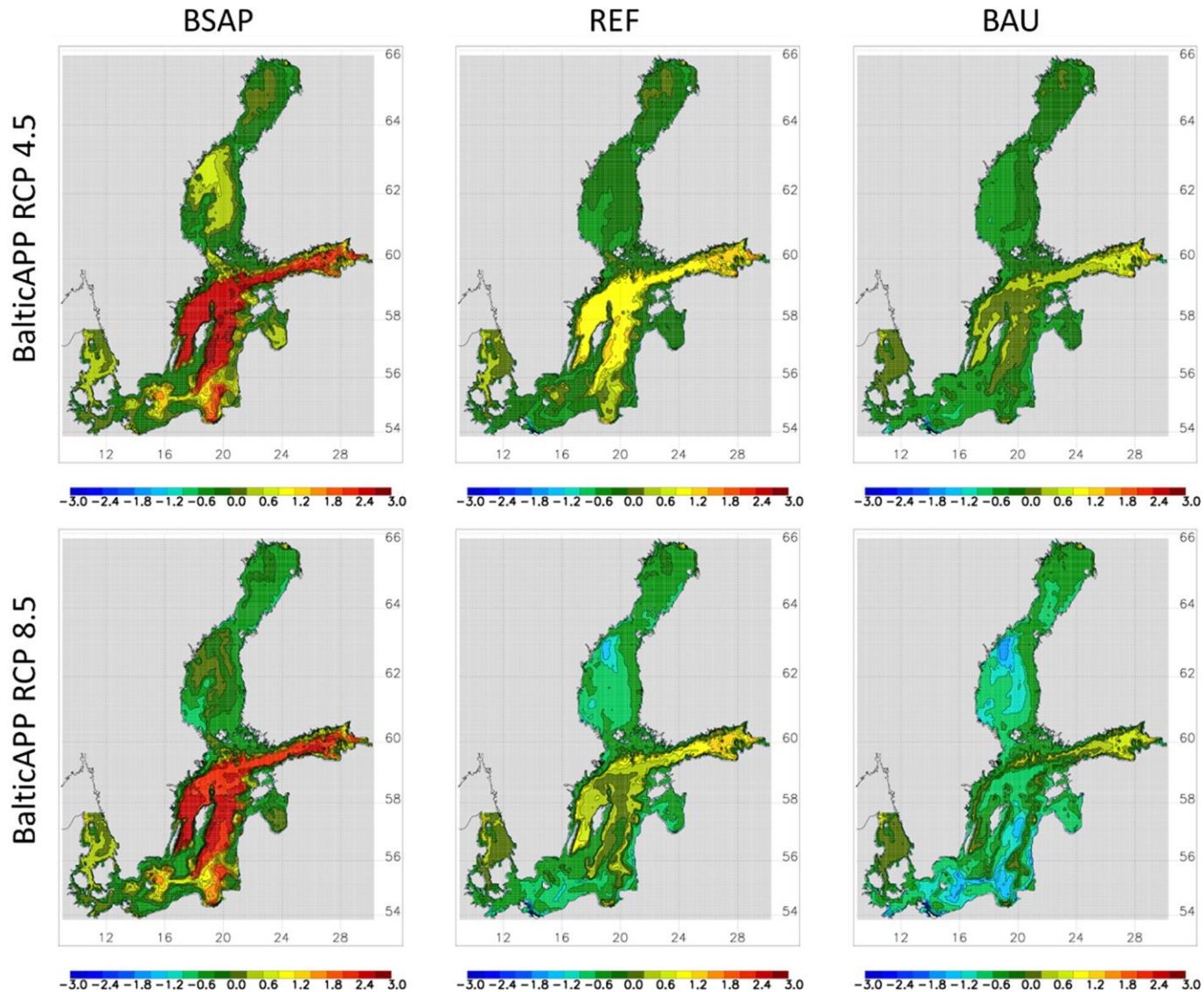
# Główne czynniki kształtujące przyszłe zmiany: zmiany klimatu i rozwój socjoekonomiczny (ładunki substancji biogenicznych)

Najczęściej używane scenariusze ładunków substancji biogenicznych do Bałtyku:

- Baltic Sea Action Plan (BSAP)
- Reference (REF)
- Business as usual (BAU) lub WORST case scenario



# Przewidywane zmiany stężenia $O_2$ (ml $L^{-1}$ ) w warstwie przydennej latem (czerwiec, lipiec, sierpień) między 1978-2007 i 2069-2098



## Podsumowanie:

- Wzmocnienie uwarstwienia kolumny wody pod koniec lat 90-tych, które nastąpiło po długim okresie osłabienia, wraz z eutrofizacją wywołaną dużą dostawą substancji biogenicznych z lądu, doprowadziło do przesunięcia reżimu w Morzu Bałtyckim w tzw. „błędne koło”.
- „Błędne koło” jest napędzane przez nadwyżkę fosforu nad azotem – co wraz ze wzrostem temperatury stanowi warunki sprzyjające rozwojowi sinic.
- Prognozowany wzrost temperatury powierzchni morza będzie odpowiadał pod względem wielkości prognozowanemu wzrostowi temperatury w atmosferze.
- Przewiduje się wzrost ilości opadów na północy. Na południu spodziewana jest tylko niewielka zmiana (jeśli w ogóle).
- Nie wykryto statystycznie istotnego trendu dla zasolenia, głównie ze względu na niepewne prognozy związane z częstotliwością i wielkością wlewów z Morza Północnego.
- Zmiana klimatu ma znacznie mniejszy wpływ na występowanie i zasięg deficytów tlenowych niż zewnętrzne ładunki substancji biogenicznych (scenariusze społeczno-ekonomiczne).
- Redukcja ładunków substancji biogenicznych zgodnie z BSAP może potencjalnie zmniejszyć zasięg występowania deficytów tlenowych i zwiększyć przezroczystość wody (krążek Secchi’ego).
- Zmiana poziomu morza w południowej części Bałtyku jest podobna do tej obserwowanej dla otwartych obszarów morskich (ok. 0,6 m do końca XXI w.). Na północy Bałtyku poziom morza opada (-,3 m do końca XXI w.) na skutek geostatycznego wypiętrzania Skandynawii.



**Dziękuję !!!**