

Międzyletnia zmienność występowania przypowierzchniowych zakwitów sinic w Morzu Bałtyckim na podstawie archiwum danych satelitarnych MODIS AQUA

Marta Konik

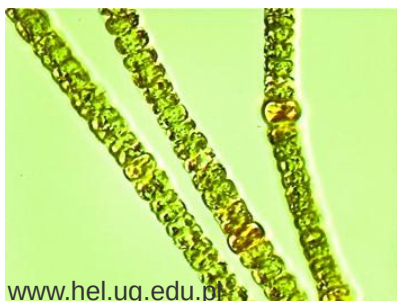
Instytut Oceanologii
Polskiej Akademii Nauk w Sopocie
ul. Powstańców Warszawy 55, 81-712 Sopot

Zakwity sinic



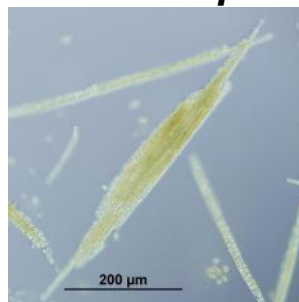
Zakwit sinic to intensywny, często nadmierny wzrost cyjanobakterii na lub przy powierzchni wody (jeziora lub morza), występujący naturalnie lub w wyniku nadmiernego dostarczania substancji odżywczych.
[UN, 1992]

***Nodularia
spumigena***

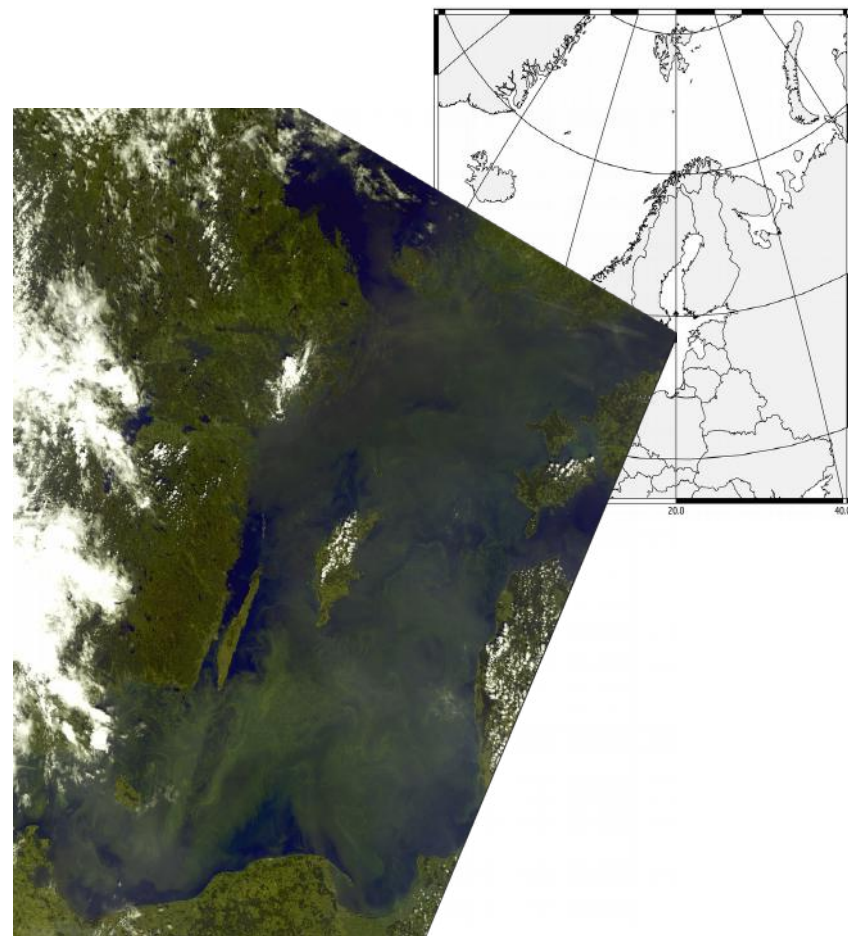


www.hel.ug.edu.pl

***Aphanizomenon
flos aquae***



Barry H. Rosen,
brosen@usgs.gov

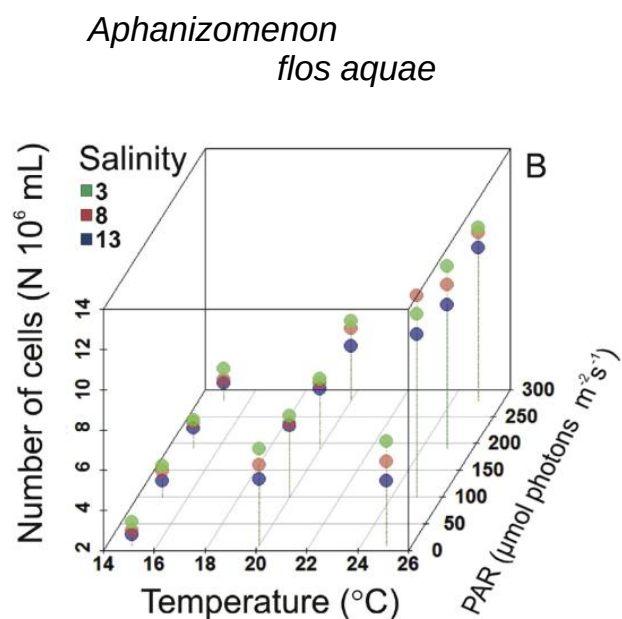
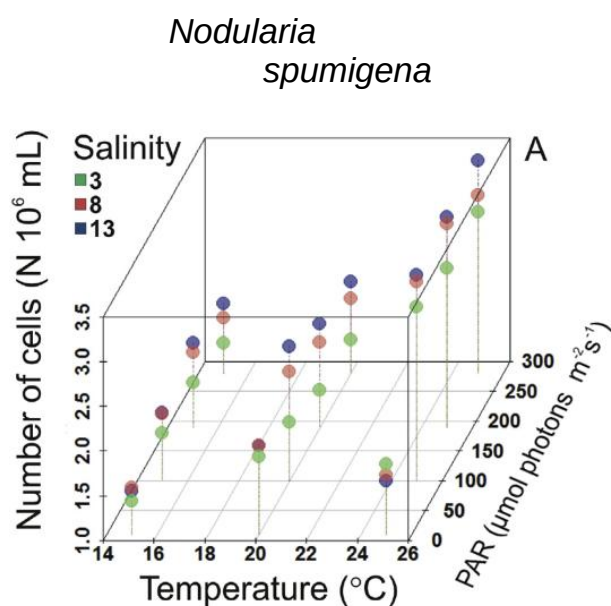


Toksyny sinic

Rodzaj sinic	Hepatotoksyny			Neurotoksyny					Subst. drażniące		
	Microcystin	Nodularin	Cylindrospermopsin	Anatoxin-a	Anatoxin-a(s)	Homoanatoxin-a	Saxitoxin	N-methylamino-L-alanine	Aplysiatoxin	Lipopolysaccharides	Lyngbyatoxin
<i>Dolichospermum sp.</i>	+		+	+	+		+	+		+	
<i>Anabaenopsis</i>	+									+	
<i>Aphanizomenon</i> (except <i>A. flos-aquae</i>)			+	+			+			+	
<i>Arthrospira</i>	+									+	
<i>Cyanobium</i>	+									+	
<i>Cylindrospermopsis</i>			+				+			+	
<i>Gloeotrichia</i>	+									+	
<i>Hapalosiphon</i>	+									+	
<i>Limnothrix</i>	+									+	+
<i>Lyngba</i>							+		+	+	
<i>Microcystis</i>	+			+				+		+	
<i>Nodularia</i>		+								+	

[<http://www.oregon.gov/oha>]

Czynniki warunkujące zakwit sinic



Główne czynniki wpływające na wystąpienie zakwit sinic:

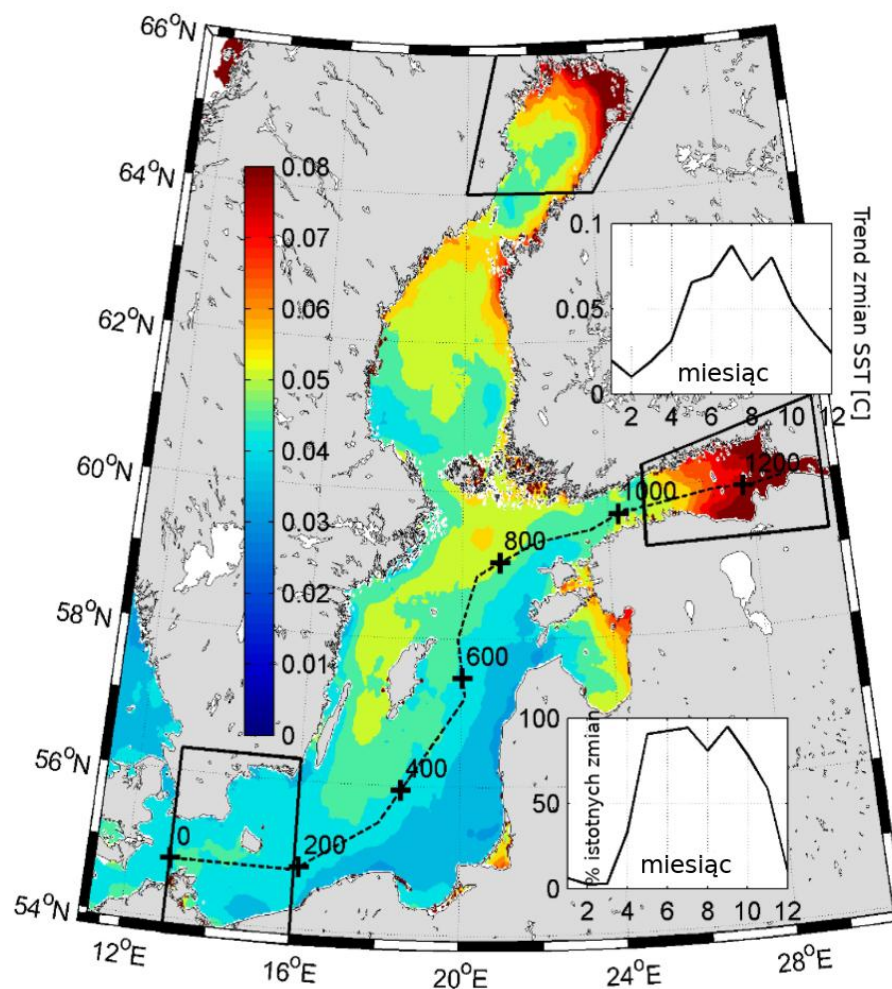
- temperatura (najlepiej wyższa niż 20°C)
- zasolenie (poniżej ok. 15)
- dopływ promieniowania fotosyntetycznie czynnego PAR
- dopływ substancji odżywczych, szczególnie związków azotu i fosforu

[Śliwińska i in., 2019]

Wzrost temperatury wody w Morzu Bałtyckim



Temperatura wody w Morzu Bałtyckim wzrosła o ok. 1,07°C w ciągu ostatnich 35 lat, co stanowi 2 x szybszy wzrost niż w wodach Oceanu Atlantyckiego (do 100 p.p.m.).

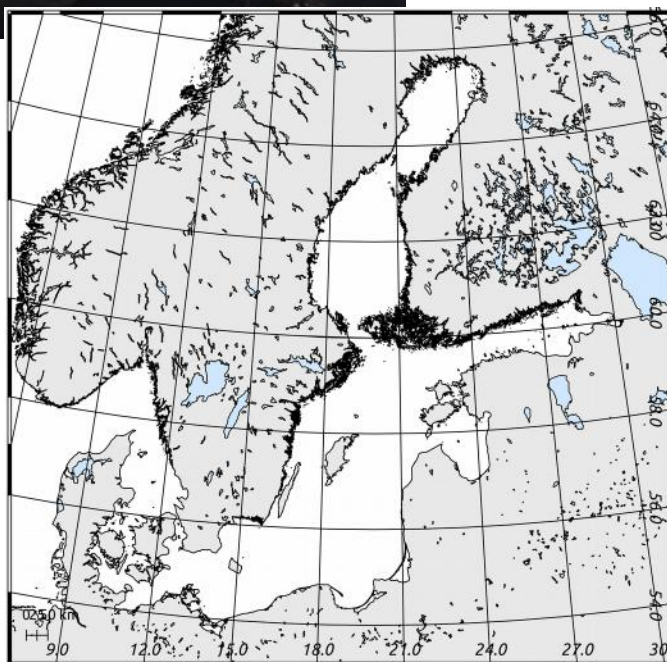


[Zmodyfikowano: Libik i Lips, 2019]

Użyte dane



earthobservatory.nasa.gov



- Mapy **reflektancji zdalnej** na górnej granicy atmosfery (**TOA**, ang. *Top-Of-Atmosphere*) rejestrowane przez satelitę MODIS AQUA w latach 2002 – 2018 (przetwarzane od Level-0); rozdzielczość przestrzenna: 1 km x 1km
- Mapy **temperatury powierzchniowej morza** z radiometru AVHRR z lat 2002 – 2018; rozdzielczość przestrzenna: 1 km x 1 km
- Wartości sumarycznego dziennego **dopływu rzecznego** z 22 głównych rzek uchodzących do Zatoki Botnickiej określone na podstawie archiwum symulacji średnich dziennych przepływów z modelu hydrologicznego LISFLOOD v3 (2019-05-13) stworzonego przy wsparciu Europejskiego Systemu Prognozowania Powodzi EFAS (ang. *European Flood Awareness System*):
- Średnie miesięczne wartości **indeksu BSI** (ang. *Baltic Sea Index*) opisanego przez Lehmann (2002) zostały obliczone używając danych E-OBS v19.0e udostępnianych w ramach programu Copernicus w rozdzielczości 0.25° x 0.25° oraz średnich klimatologicznych uzyskanych z modelu ERA-Interim publikowanych przez ECMWF (ang. *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*)

Zdalny pomiar koloru morza



Światło w toni wodnej ulega szeregowi transformacji, spośród których najważniejsze to:

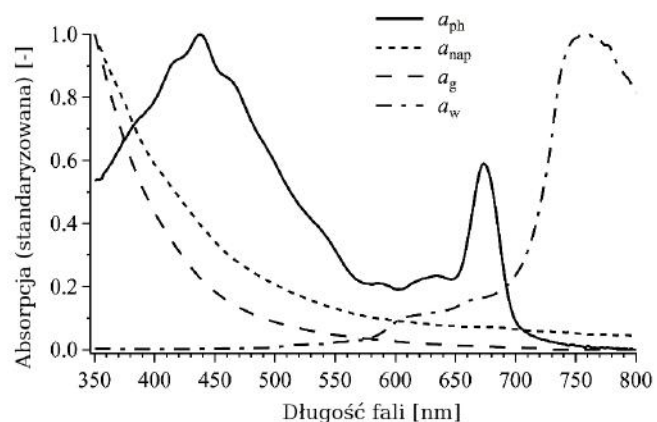
- absorpcja prowadząca do zmiany na energię chemiczną w procesie **fotosyntezy** lub do konwersji energii promienistej na ciepłą;
- **reemisja** w postaci fluorescencji przez optycznie aktywne pigmenty planktonu, np. chlorofil *a*;
- **absorpcja i rozpraszanie** na substancjach rozpuszczonych i zawieszonych w wodzie.

Zdalny pomiar koloru morza

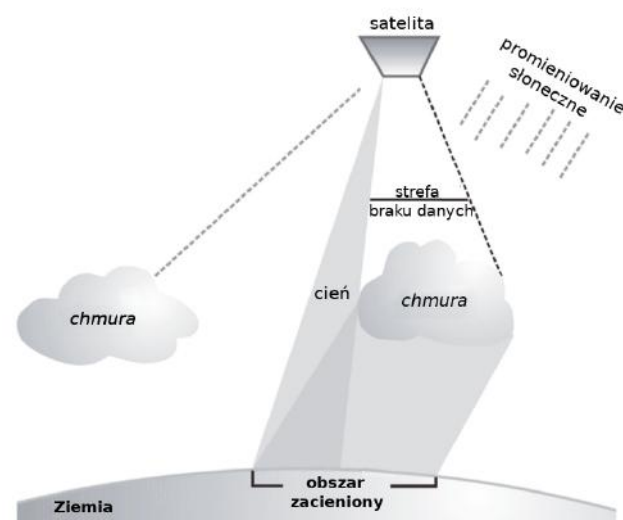
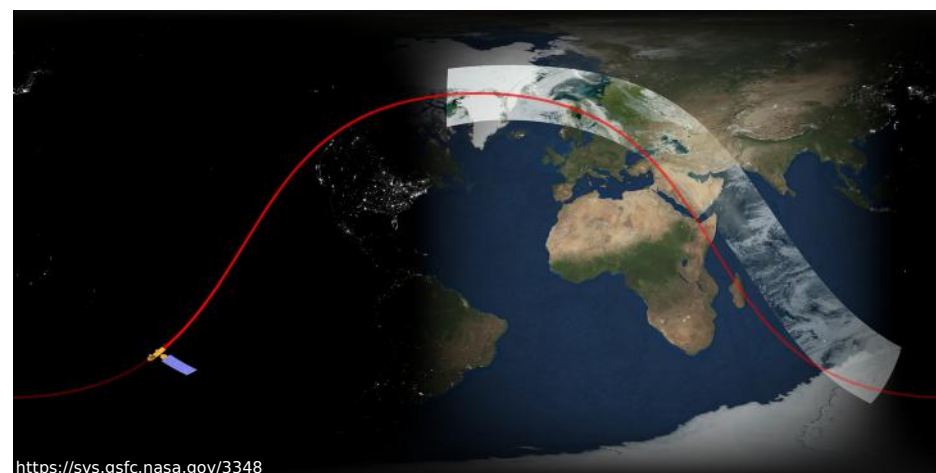


Główne składniki zmieniające kolor wody:

- molekuły wody (a_w)
- plankton (a_{ph})
- rozpuszczone substancje organiczne, tzw. "gelbstoff" (a_g)
- pozostałe cząsteczki zawieszone, tzw. "non-algal" (a_{nap})



[Zmodyfikowano: raport IOCCG, XI 2018 Canada]



[Zmodyfikowano: Jensen i in., 2000]

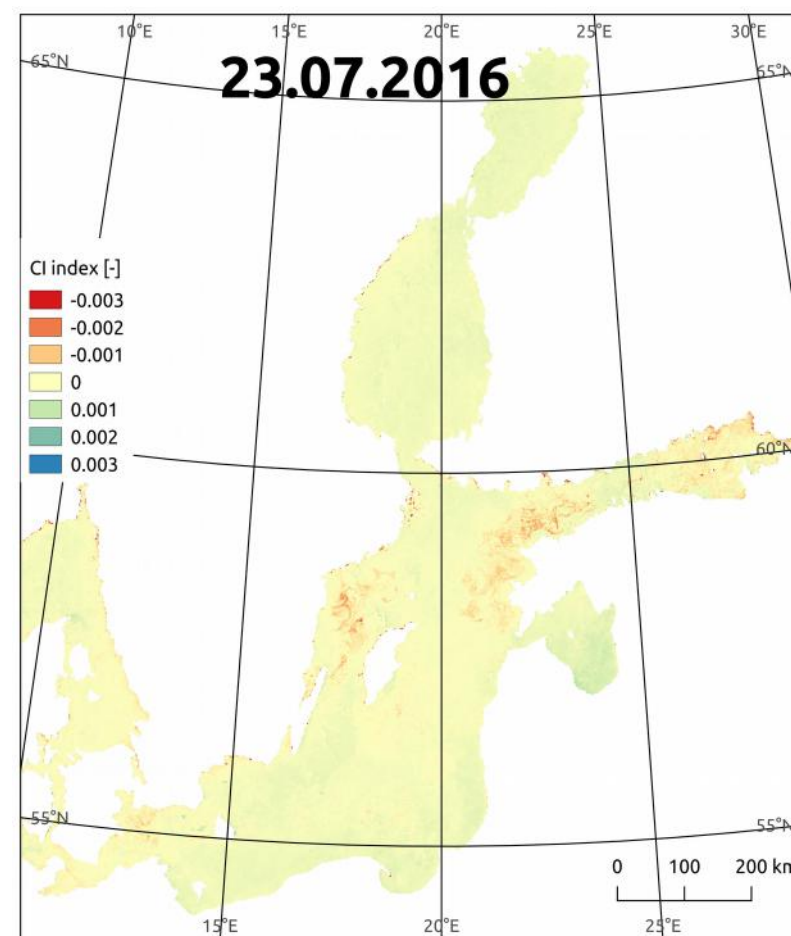
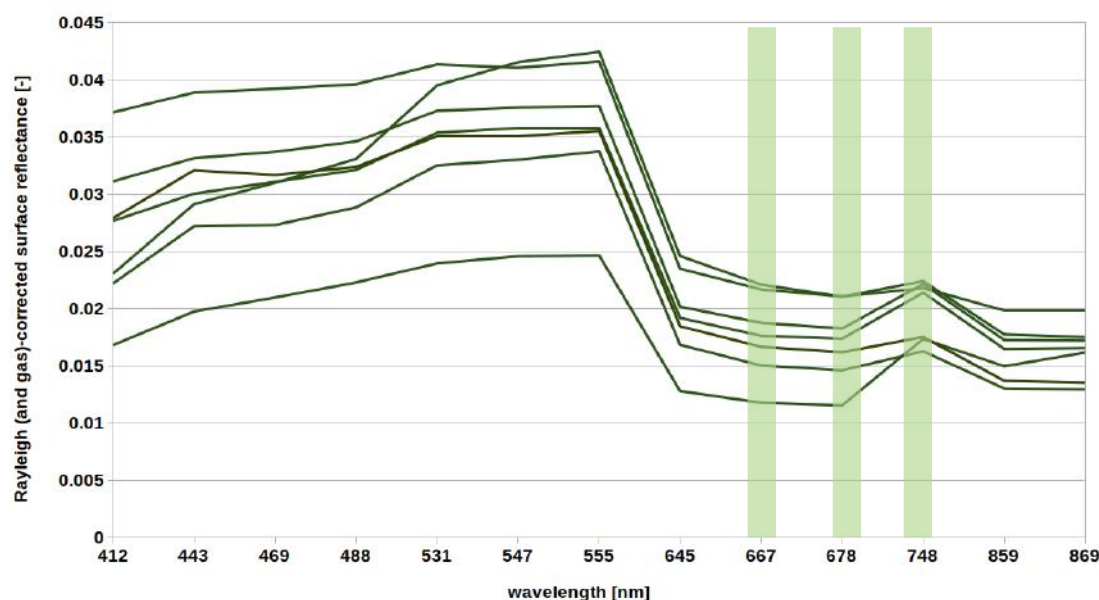
Cyanobacteria Index

Z danych z satelity MODIS AQUA uzyskano serię czasową przestrzennego rozkładu wartości indeksu CI dla lat 2002 – 2018:

$$CI(678) = \rho_s(678) - \rho_s(667) - \rho_s(748) - \rho_s(667) \frac{678 - 667}{748 - 667}$$

[Wynne et al., 2013]

$CI(678) < 0 \approx$ Obecność zakwitów sinic

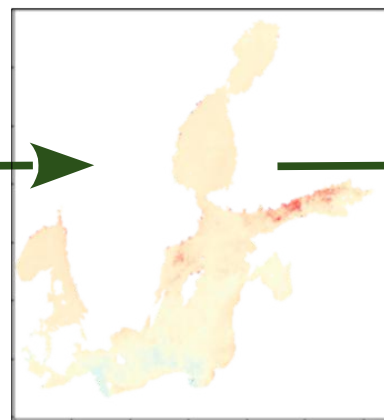
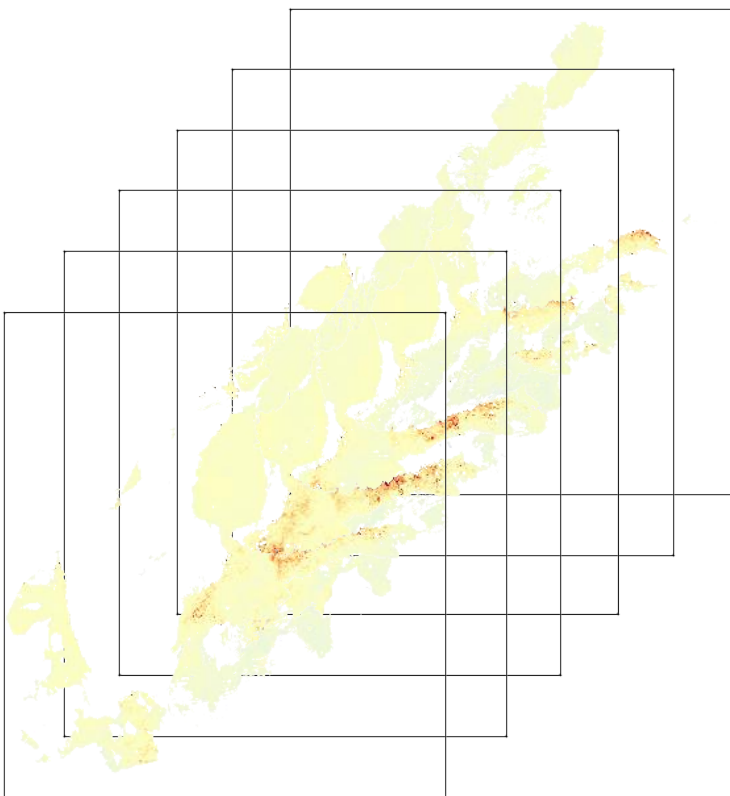


Interpolacja danych metodą DINEOF

(Data INterpolating Empirical Orthogonal Functions)

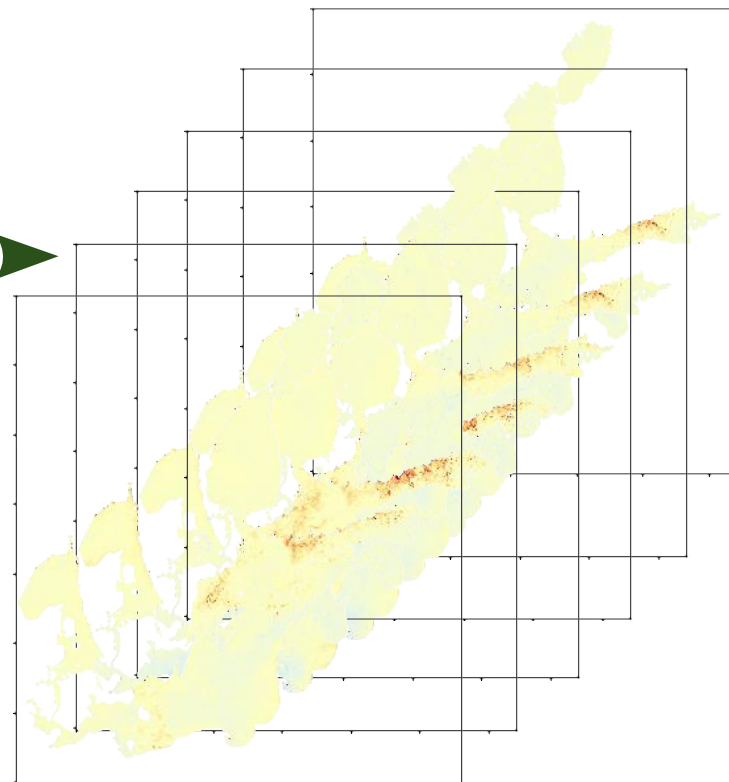


**Indeks CI
seria czasowa**



1.. EOF

**Indeks CI
kompletna seria czasowa**



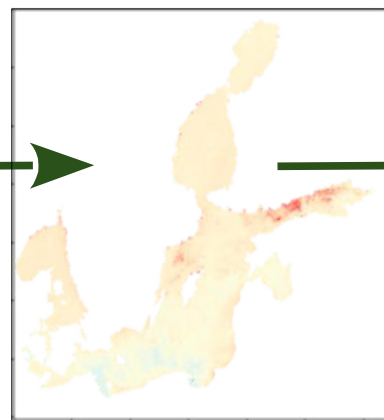
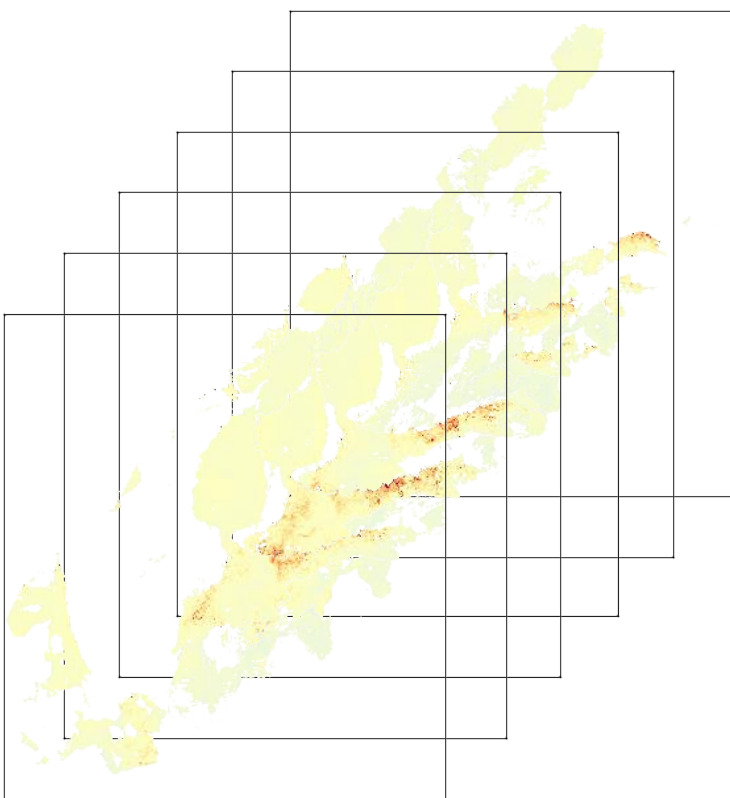
[Beckers i in., 2006]

Interpolacja danych metodą DINEOF

(Data INterpolating Empirical Orthogonal Functions)

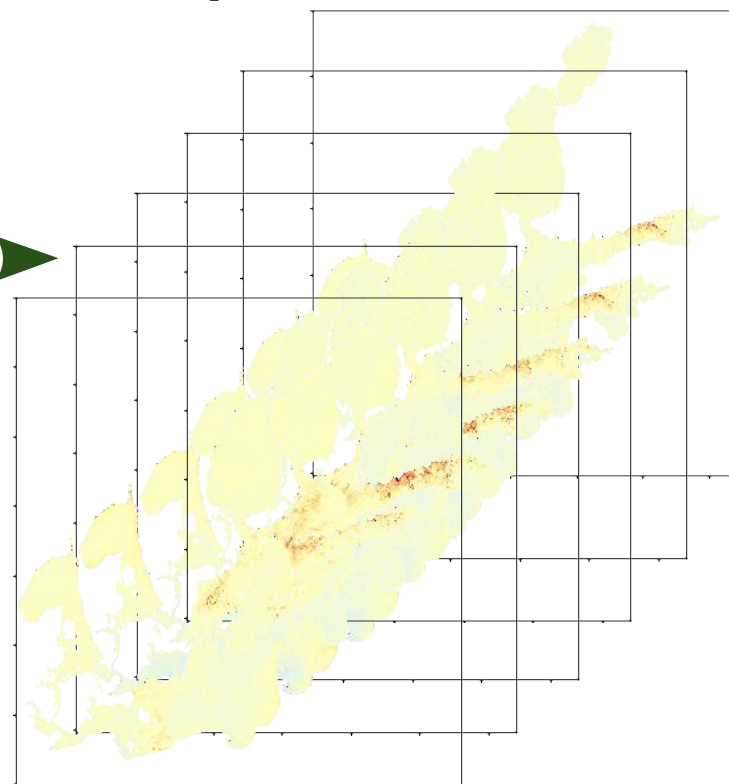


**Indeks CI
seria czasowa**



2.. EOF

**Indeks CI
kompletna seria czasowa**



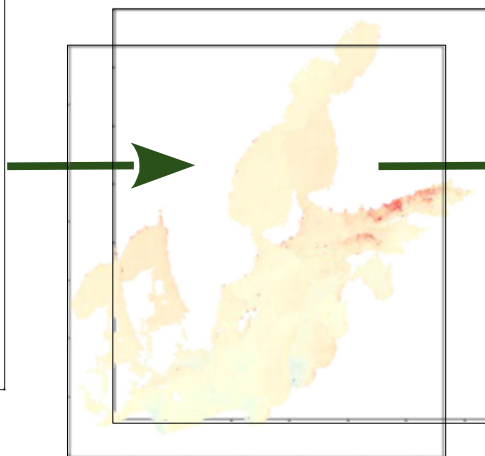
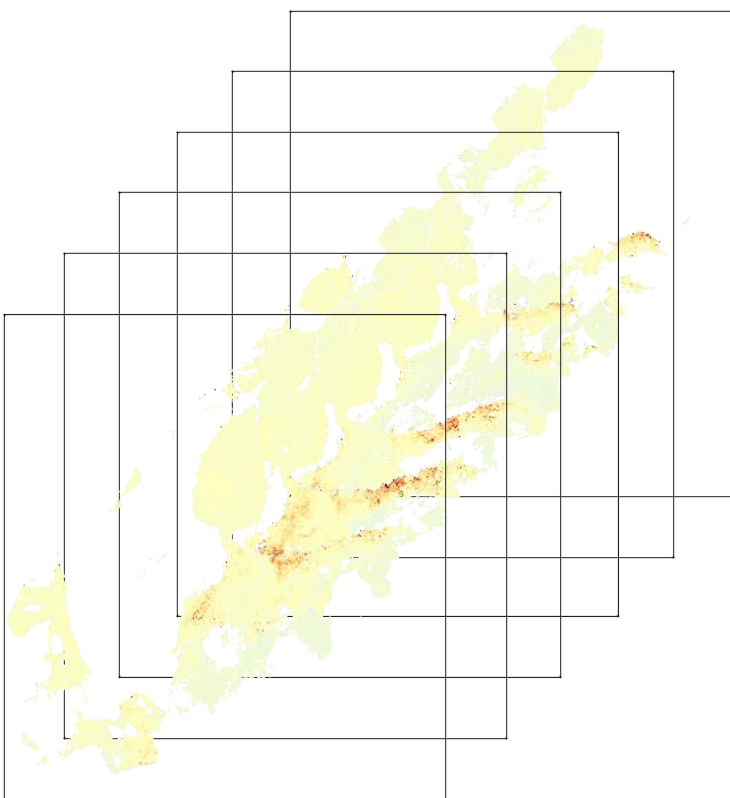
[Beckers i in., 2006]

Interpolacja danych metodą DINEOF

(Data INterpolating Empirical Orthogonal Functions)

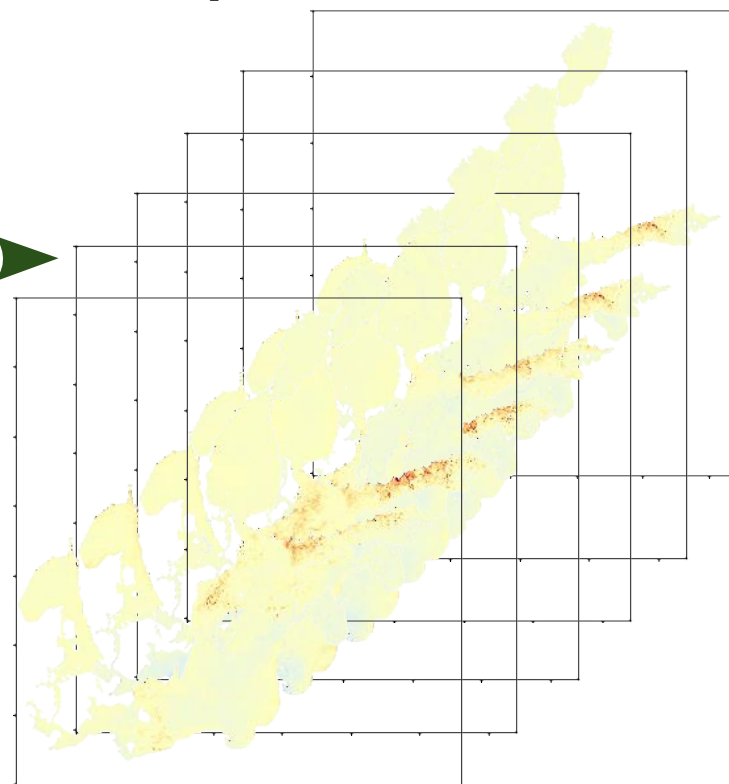


**Indeks CI
seria czasowa**



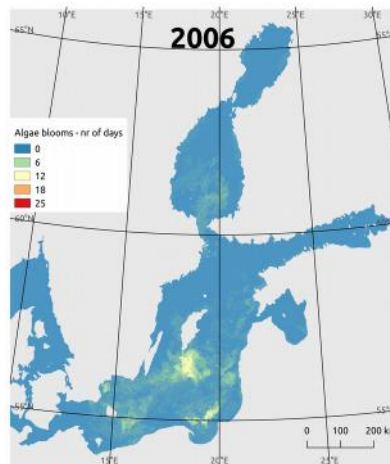
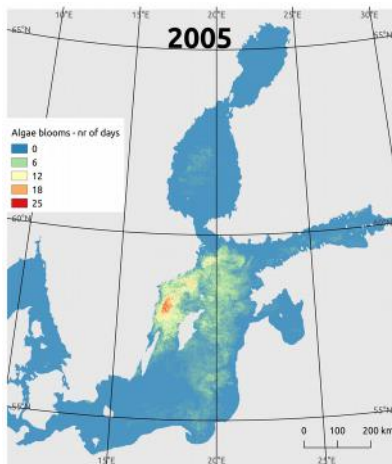
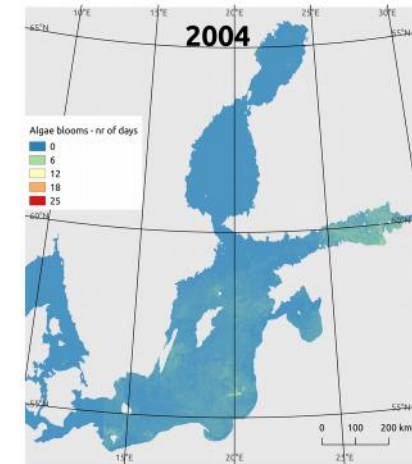
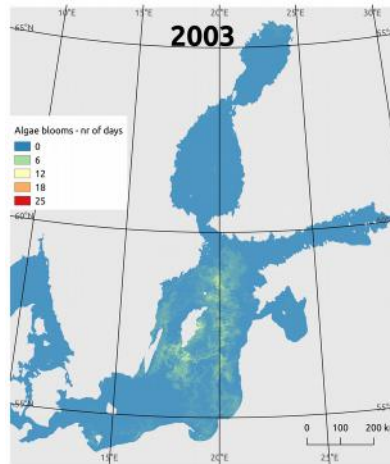
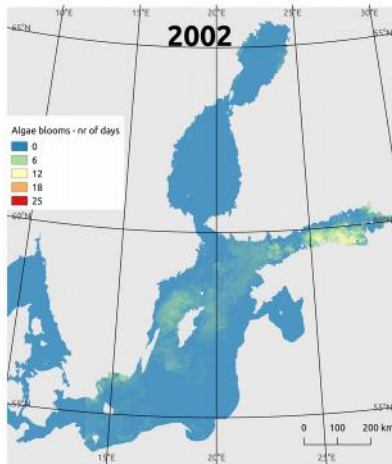
5 EOFs

**Indeks CI
kompletna seria czasowa**

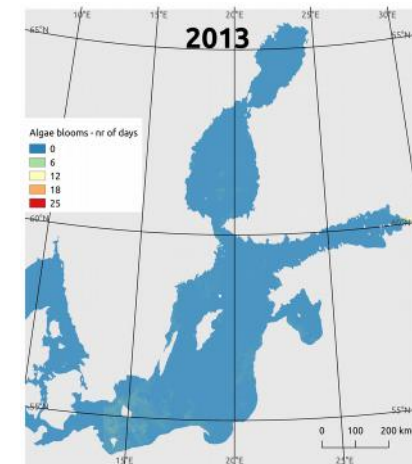
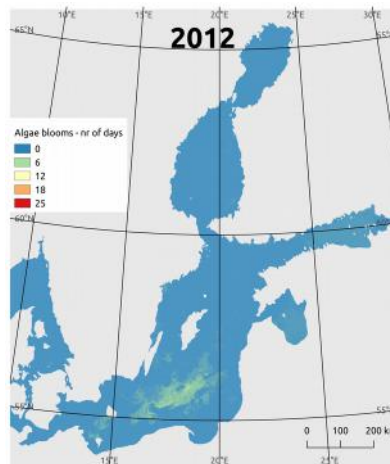
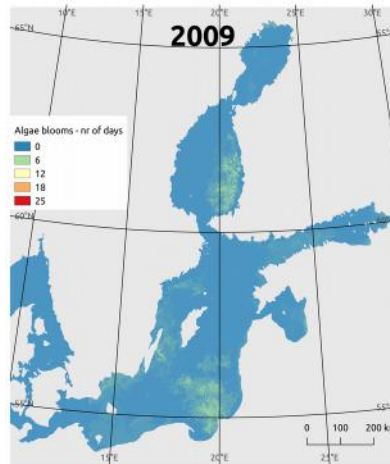
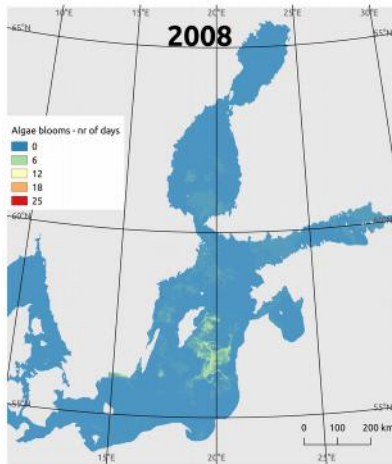


[Beckers i in., 2006]

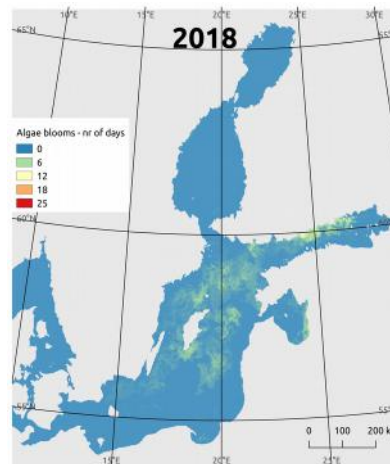
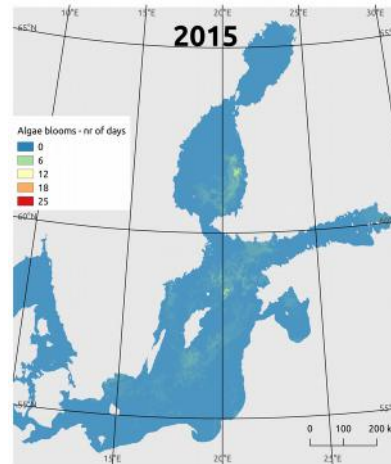
Międzyletnia zmienność występowania zakwitów sinic (2002 - 2007)



Międzyletnia zmienność występowania zakwitów sinic (2008 - 2013)



Międzyletnia zmienność występowania zakwitów sinic (2014 - 2018)



2019...

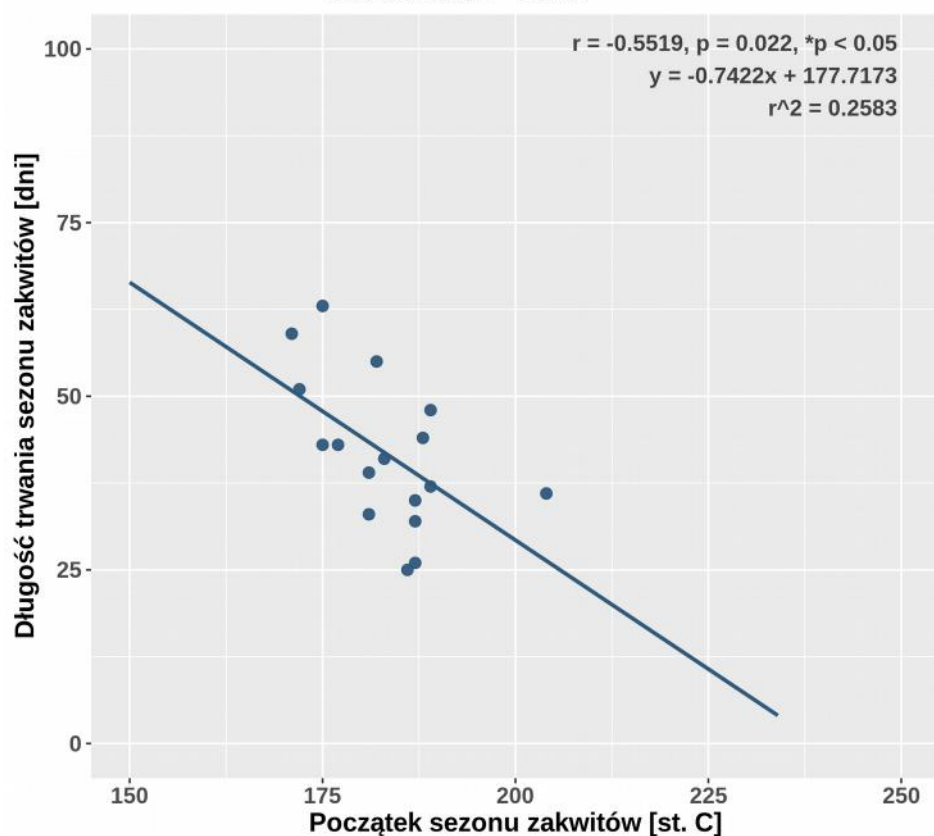
Czas występowania zakwitów



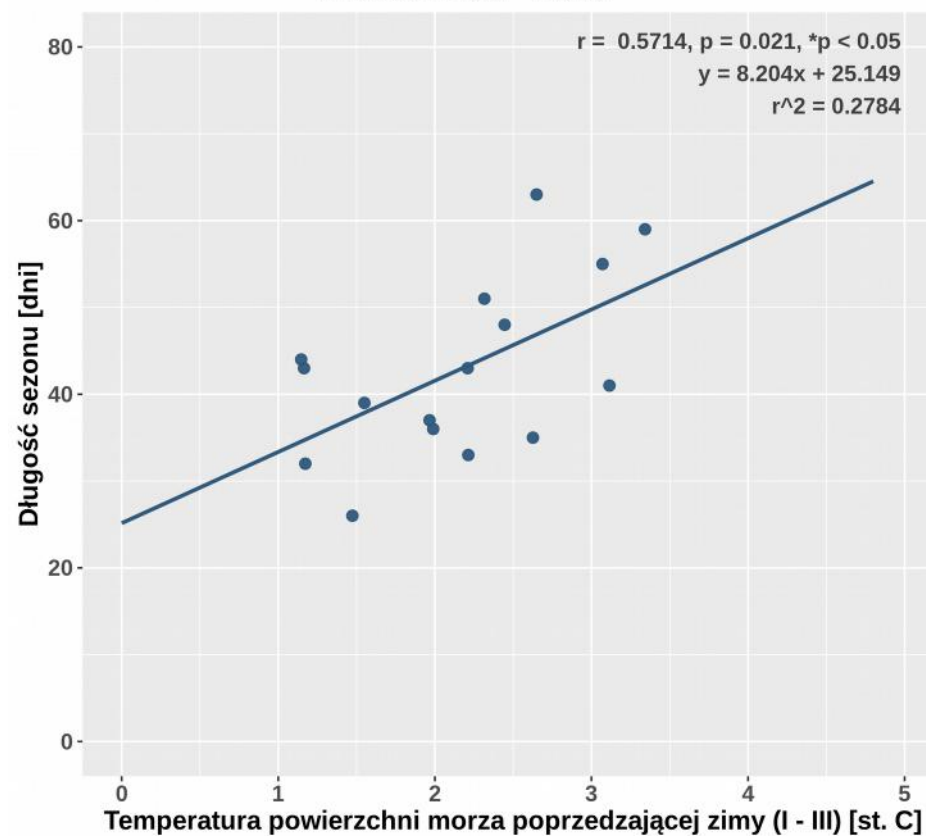
Czas występowania zakwitów



Długość sezonu zakwitów sinic
a dzień pojawienia się zakwitów sinic w danym roku
dla lat 2002 - 2018



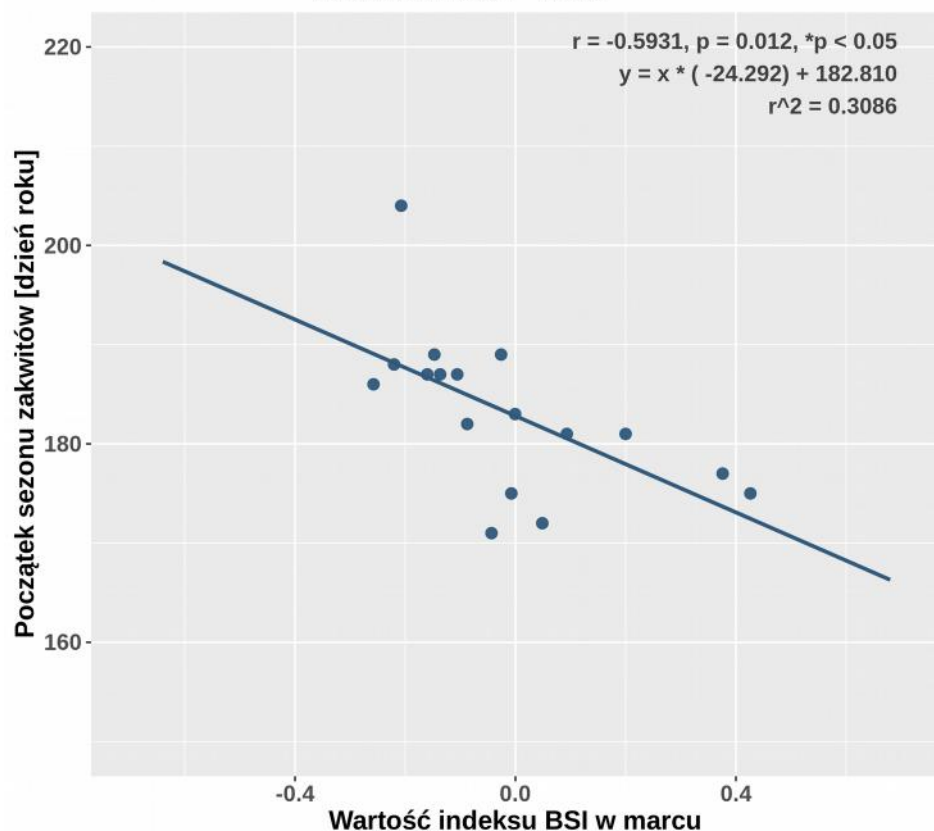
Relacja pomiędzy długością sezonu zakwitów sinic
a temperaturą powierzchni morza poprzedzającej zimy (I - III)
w latach 2002 - 2018



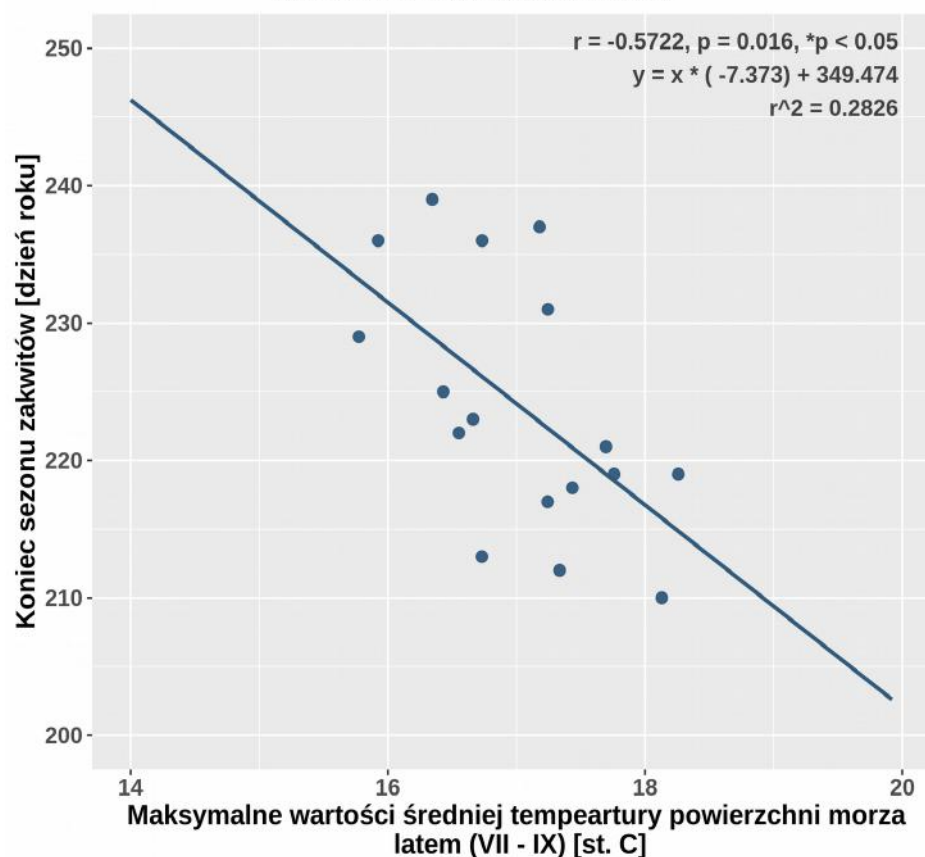
Czas występowania zakwitów



Relacja pomiędzy początkiem sezonu zakwitów sinic
a indeksem BSI w marcu
w latach 2002 - 2018



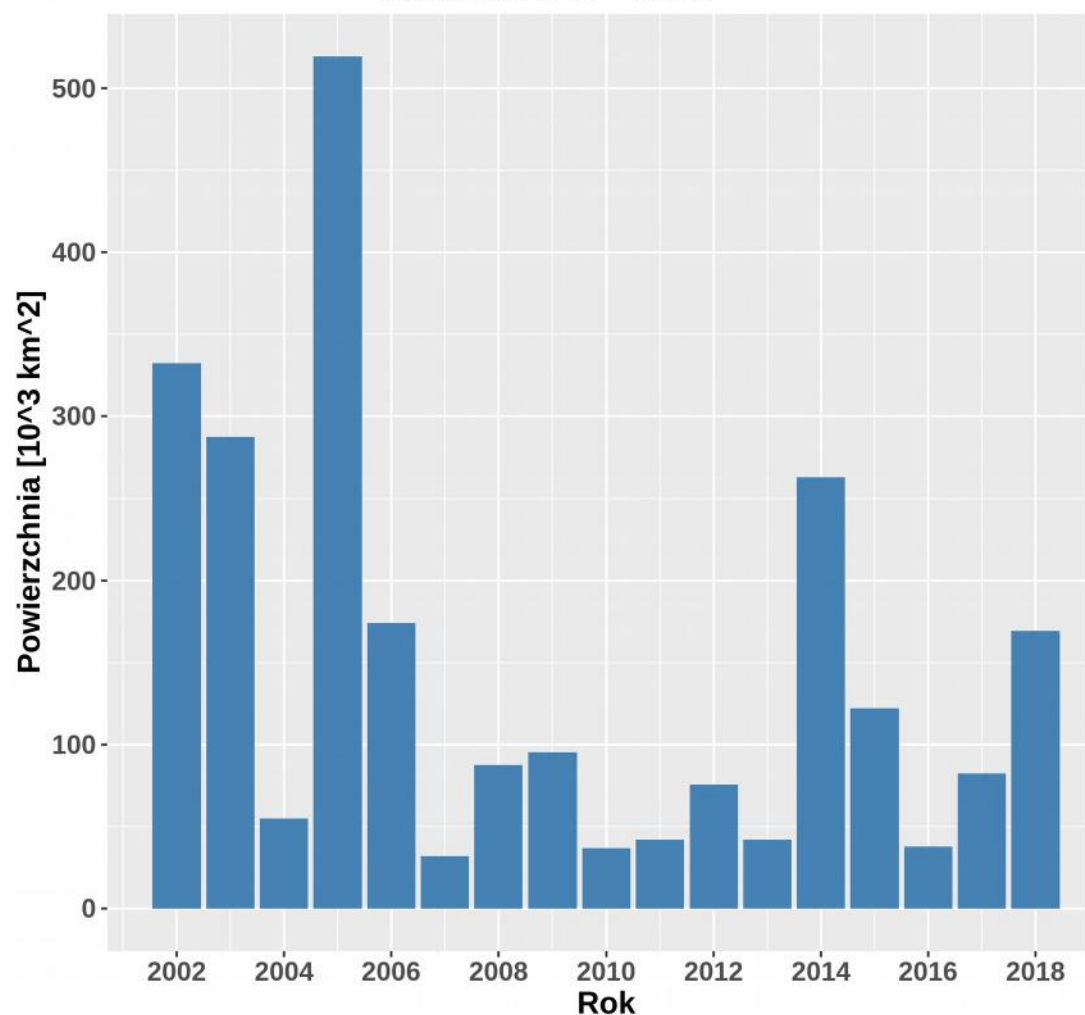
Relacja pomiędzy końcem sezonu zakwitów
a maksymalną średnią temperaturą powierzchni morza
latem w okresie 2002 - 2018



Powierzchnia morza objęta zakwitami



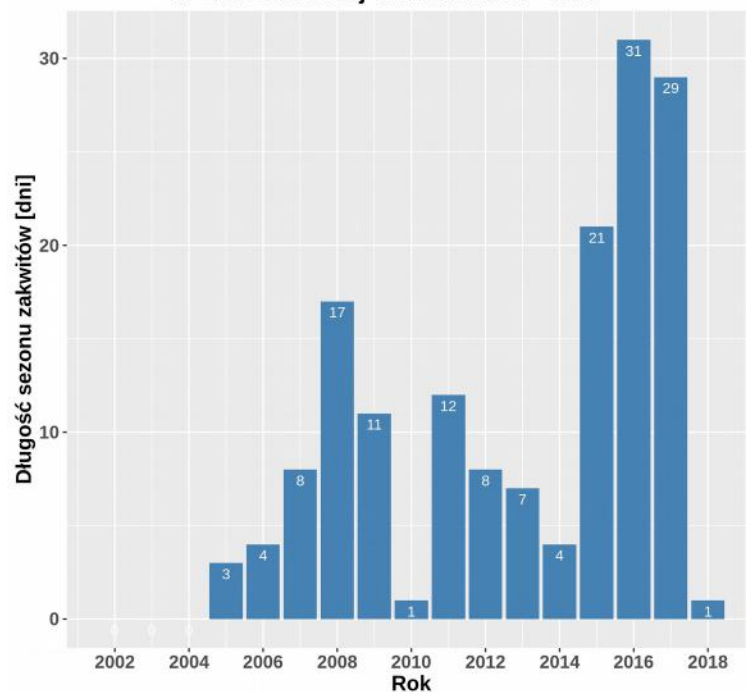
Sumaryczna powierzchnia morza objęta zakwitami
w latach 2002 - 2018



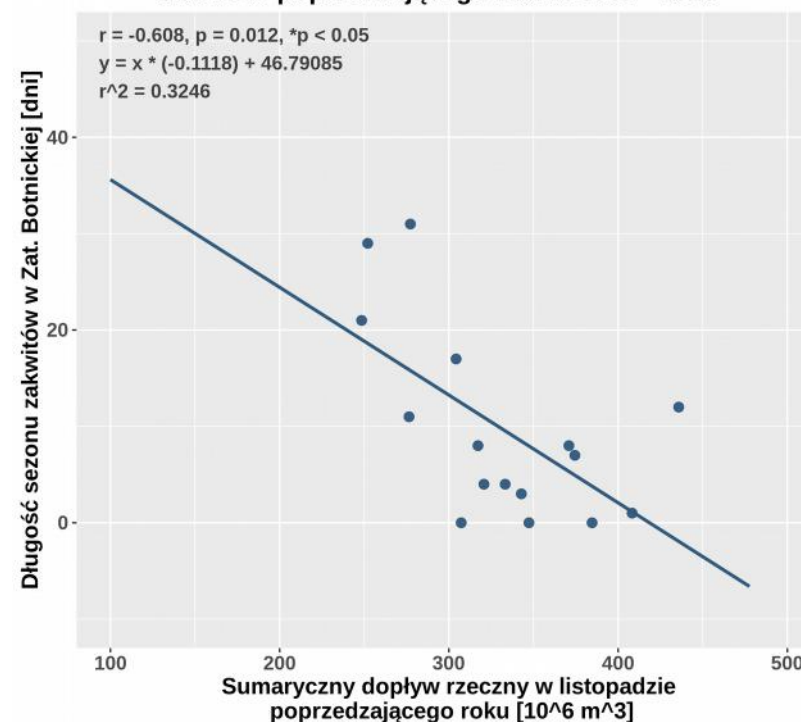
Zmiany w Zatoce Botnickiej



Długość sezonu zakwitów sinic
w Zat. Botnickiej w latach 2002 - 2018



Zależność pomiędzy długością sezonu zakwitów
w Zat. Botnickiej a sumarycznym dopływem rzeczny
w XI roku poprzedzającego dla lat 2002 - 2018



Podsumowanie



- Na razie nie stwierdzono istotnego trendu wzrostu powierzchni zakwitów
- Stwierdzono natomiast wzrost długości okresu, w którym obserwowane są zakwity sinic. Może to sugerować utrzymywanie się optimum temperatury i zasolenia przez dłuższy niż dotychczas okres w roku
- Temperatura wody notowana zimą ma istotny wpływ na datę pojawienia się zakwitów sinic. Im wyższa temperatura zimą, tym szybciej obserwujemy zakwity sinic w Morzu Bałtyckim
- Im później pojawiają się zakwity, tym krócej trwają, ale mają podobną intensywność. Można podejrzewać, że przy późnym pojawieniu się limitowane są spadającymi temperaturami, a przy wczesnych zakwitach następuje limitowanie substancjami odżywczymi
- Zakwity sinic stają się regularnym zjawiskiem w Zatoce Botnickiej



Dziękuję!

- Beckers J.M., Barth A., Alvera-Azcarate A., (2006). *DINEOF reconstruction of clouded images including error maps. Application to the Sea Surface Temperature around Corsican Island*. Ocean Science, 2(2), pp. 183-199.
- Janssen, L. L. F., Bakker, W. H., Weir, M. J. C., Gorte, B. G. H., Pohl, C., Woldai, T., et al. Reeves, C. V. (2000). *Principles of remote sensing : an introductory textbook*. (ITC Educational Textbook Series; Vol. 2). Enschede: ITC.
- Liblik T., Lips U. (2019). Stratification Has Strengthened in the Baltic Sea – An Analysis of 35 Years of Observational Data. Front. Earth Sci., 7, pp. 174, doi: 10.3389/feart.2019.00174
- Śliwińska-Wilczewska S., Cieszyńska A., Konik M., Maculewicz J., Latała A. (2019). *Environmental drivers of bloom-forming cyanobacteria in the Baltic Sea: Effects of salinity, temperature, and irradiance*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 219, pp. 139–150.
- UN (1992). *Environment and Development* (Terminology bulletin: 344). United Nations, New York, USA
- Wynne T.T, Stumpf R.P., Briggs T.O., (2013). *Comparing MODIS and MERIS spectral shapes for cyanobacterial bloom detection*. International Journal of Remote Sensing, doi:10.1080/01431161.2013.804228