

Anna Styszyńska

Akademia Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny,
Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej
81–374 Gdynia, ul. Sędzickiego 19
e-mail: stysa@am.gdynia.pl

**STAN TERMICZNY WÓD POWIERZCHNIOWYCH BAŁTYKU
A TEMPERATURA POWIETRZA W POLSCE**

**Sea surface temperature in Baltic and air temperature
in Poland**

Summary. The influence of sea surface temperature (SST) changeability of the Baltic Sea on the monthly and seasonal air temperature in Poland has been examined here. Spatial variability of these correlations was analyzed in the period 1950–2009, and temporal changes – in the years 1854–2009. A significant influence of changes in SST of the Baltic on air temperature in Poland at the end of winter (February–March) and in the middle of summer (July–August) was indicated. The correlations between SST and the air temperature are stable both in space and time. In fact the same correlation coefficients are noted at particular stations both for 155-year and for 60-year periods.

Key words: Baltic Sea, Poland, sea surface temperature, air temperature, correlations

Słowa kluczowe: Morze Bałtyckie, Polska, temperatura powierzchni morza, temperatura powietrza, korelacje

WPROWADZENIE

Zmienność temperatury powietrza nad Polską regulowana jest, oprócz sezonowych zmian dopływu energii słonecznej (cykl roczny), głównie przez zmienność cyrkulacji atmosferycznej. Na ten temat napisano wiele prac. Zmienność cyrkulacji atmosferycznej określa częstość adwekcji mas powietrza z nad określonych obszarów źródłowych, trajektorie napływu tego powietrza oraz reguluje prędkość wiatru i znaczny odsetek zmienności wielkości zachmurzenia.

Procesy cyrkulacyjne regulują również w dużym stopniu temperaturę powierzchni morza (dalej SST – *sea surface temperature*). Jednak w zmienności SST, oprócz zmian synchronicznych ze zmianami temperatury powietrza, zapisują się również wcześniejsze zmiany cyrkulacji atmosferycznej i zachmurzenia (element inercyjny). Powierzchnia morza tworzy podłoże atmosfery. Od zasobów ciepła w tym podłożu i temperatury tego podłoża zależą rozmiary transferu ciepła i wilgoci do atmosfery. O rozmiarach poboru ciepła z wody decyduje zimowa cyrkulacja atmosferyczna regulująca temperaturę powietrza napływającego nad wodę, jego wilgotność i prędkość wiatru przywodnego. Zmiany zachmurzenia, szczególnie ważne latem, decydują o wielkości nagrzewania powierzchni morza przez promieniowanie słoneczne. Zatem o zmianach rocznej SST będą decydować zasoby ciepła pozostałe w wodach po okresie zimowego wychładzania powierzchni morza oraz przyrost zasobów ciepła w końcu okresu letniego nagrzewania tej powierzchni.

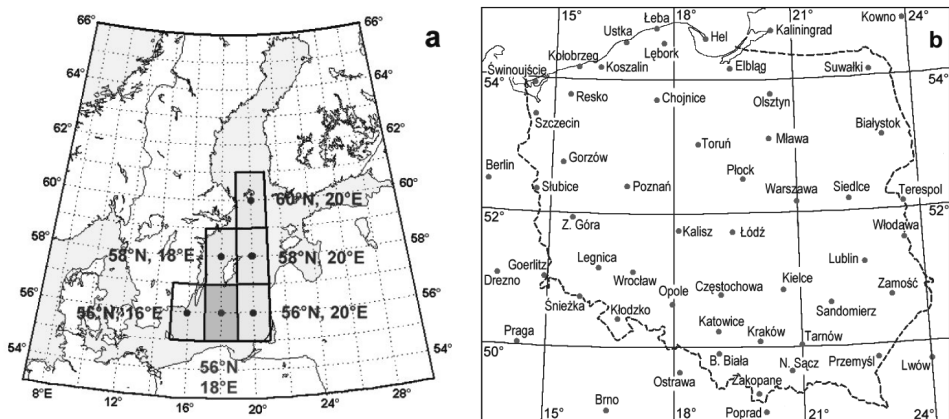
Z tego krótkiego przeglądu wynika, że zmienność temperatury powietrza i SST na obszarze południowej i środkowej części Bałtyku reguluje zespół tych samych procesów. Jednakże ze względu na odmienne właściwości fizyczne podłoża (zwłaszcza nieporównanie większą pojemność cieplną morza) przebieg zmian temperatury powierzchni morza i temperatury powietrza przebiega odmiennie w funkcji czasu. Przy działaniu tych samych czynników regulujących związki między temperaturą powietrza a SST dodatkowo komplikują zmiany temperatury powierzchni morza, przez którą na dużych obszarach odbywa się wymiana ciepła między podłożem a atmosferą, przez co zmiany SST w pewnych okresach bezpośrednio wpływają na temperaturę powietrza.

Silne związki zmian SST w rejonie Głębi Gdańskiej z charakterem zimowej cyrkulacji atmosferycznej i temperaturą powietrza w przybrzeżnej strefie Bałtyku występujące w drugiej połowie XIX i XX wieku stwierdzili m.in. Marsz i Styszyńska (2003, 2010). Problem, w jakim stopniu zmienność temperatury powierzchni Bałtyku powiązana jest ze zmiennością temperatury powietrza nad całym obszarem Polski, nie jest jeszcze rozwiązany. Celem tej pracy jest określenie, jak kształtuje się „siła” powiązań SST południowego i środkowego Bałtyku z temperaturą powietrza nad Polską w czasie i jakie jest jej zróżnicowanie przestrzenne.

MATERIAŁY I METODY

Zmiany temperatury powierzchni Bałtyku przesledzono, wykorzystując zbiór NOAA NCDC ERSST version 2 err: Improved extended reconstructed global sea surface temperature data based on COADS data (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/>). Zawiera on miesięczne wartości SST z pól $2^\circ\varphi \times 2^\circ\lambda$, przy pa-

rzystym mianowaniu punktów centralnych tych powierzchni (organizacja gridowa). Zbiór ERSST v.2. z okresu 1854–1992 stanowi przetworzenie danych ze zbioru COADS SST, z późniejszego okresu – wysokorozdzielczych danych satelitarnych, kalibrowanych pomiarami *in situ*. Pełne omówienie konstrukcji tego zbioru, w tym technik stosowanych do eliminacji szumów, uzyskania wartości średnich oraz zapewnienia jednorodności klimatologicznej zawiera praca Smitha i Reynoldsa (2004). Do charakterystyki zmian temperatury powierzchni Bałtyku wybrano z tego zbioru 6 gridów położonych w południowej i środkowej części morza. Środki trzech z nich leżą na równoleżniku 56°N (16, 18 i 20°E), dwóch – na równoleżniku 58°N (18 i 20°E) i jednego – na 60°N i 20°E (ryc. 1a). Miesięczne i roczne wartości SST w tych gridach są ze sobą silnie skorelowane ($r = 0,95-0,99$), co pozwala uznać, że wystarczy tylko jeden z nich przyjąć za reprezentatywny dla całej rozpatrywanej powierzchni południowego i środkowego Bałtyku. Za taki przyjęto grid o współrzędnych środka 56°N i 18°E, obejmujący obszar określony granicami 55–57°N i 17–19°E. Obszar ten stanowi niemal w 100% powierzchnię wodną i obejmuje 27 619 km².



Ryc. 1. Lokalizacja gridów (a) i stacji meteorologicznych (b) wykorzystanych w opracowaniu

Fig. 1. Position of grids (a) and meteorological stations (b) used in this analysis

W opracowaniu wykorzystano szeregi średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza z 47 stacji leżących na obszarze Polski i 10 stacji położonych w pobliżu jej granic. Lokalizację wszystkich stacji przedstawia ryc. 1b. Analizę przestrzenną oparto na danych z okresu 1950–2009 (60 lat). Do oceny związków zachodzących w dłuższym horyzoncie czasowym analizom poddano 156-letnie ciągi (1854–2009) średniej miesięcznej i sezonowej temperatury powietrza ze stacji: Koszalin, Hel, Poznań, Warszawa, Wrocław i Kraków. Większość danych pochodzi ze zbioru ECAD (European Climate Assessment & Da-

taset; <http://eca.knmi.nl>; Klein Tank i in. 2002). Uzupełniono je oficjalnymi danymi instytutów meteorologicznych poszczególnych państw: IMGW, Deutscher Wetterdienst, Czech Hydrometeorological Institute oraz Russian Research Institute of Hydrometeorological Information. Jednorodność i jakość tych danych nie budzi wątpliwości. Były one wcześniej wykorzystywane przez wielu autorów.

Zastosowane metody badawcze to powszechnie znane analizy: korelacyjna, regresji i wariancji. Istotność statystyczną występujących związków określano za pomocą testów t Studenta oraz F Fishera-Snedecora. Mapy izokorelat zostały wykreślone automatycznie (program Surfer v. 9), przy wykorzystaniu metody zwykłego krigingu (*ordinary criging*).

ZWIĄZKI SST NA BAŁTYKU Z TEMPERATURĄ POWIETRZA W POLSCE

Przeprowadzona analiza korelacji pokazała, że w latach 1854–2009 temperatura powierzchni Bałtyku wykazuje wysoce istotne statystycznie ($p < 0,000$) związki z temperaturą powietrza w Polsce. Siła związków między miesięcznymi wartościami SST a miesięczną temperaturą powietrza wykazuje wyraźną i silną zmienność w cyklu rocznym. Traktując SST jako zmienną objaśniającą (niezależną), a temperaturę powietrza w Koszalinie, na Helu, w Poznaniu, Warszawie, Wrocławiu i Krakowie jako zmienne objaśniane (zależne), stwierdzono najsilniejsze korelacje w styczniu, lutym i marcu. W północnej i środkowej Polsce bardzo ściśle korelacje występują również w lipcu, sierpniu i wrześniu (tab. 1).

W ujęciu sezonowym zmienność SST na południowym i środkowym Bałtyku objaśnia zimą (XII-III, XII-II, I-III) od 38–55% na północy, 34–41% w centrum, do 31–37% zmienności temperatury powietrza na południu Polski. Wiosną (III-V) siła związków nieco rośnie i objaśnia od 52% wariancji temperatury na północy kraju do 37–41% na południu. W północnej Polsce również latem (VI-VIII) i jesienią (IX-XI) związki SST z temperaturą powietrza są bardzo silne i objaśniają od 48–59% latem do 42–46% jesienią zmienności temperatury powietrza. Jest to tym bardziej istotne, że latem nie zauważa się istotnych związków temperatury powietrza w Polsce z makroskalowymi wskaźnikami cyrkulacyjnymi (np. miesięcznymi wskaźnikami NAO CRU czy makrotypami cyrkulacji środkowotroposferycznej Vangengeima-Girsa). Ponieważ największy wpływ na roczną temperaturę powietrza wywierają zmiany temperatury w miesiącach zimowych, to nic dziwnego, że również korelacje rocznej temperatury powietrza ze zmianami rocznej SST wykazują wysoce ($p < 0,0000$) istotne korelacje (tab. 1). Roczne zmiany SST objaśniają 61% wariancji rocznej temperatury powietrza w Koszalinie i na Helu, 50–46% wariancji temperatury w Poznaniu

i Warszawie oraz 40% wariacji temperatury we Wrocławiu i Krakowie.

Tabela 1. Współczynniki korelacji między SST w gridzie 56°N i 18°E a miesięczną i sezonową temperaturą powietrza w Koszalinie, Helu, Poznaniu, Warszawie, Wrocławiu i Krakowie (1854–2009)

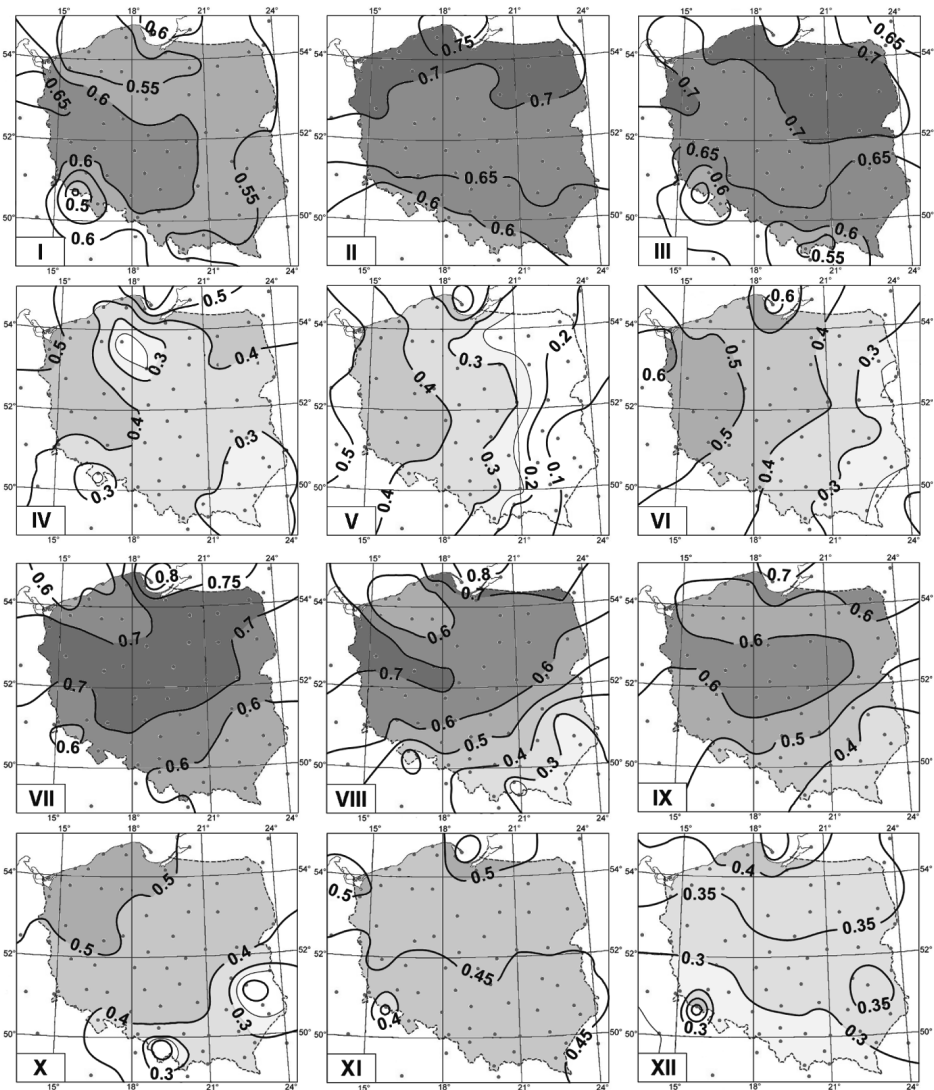
Table 1. Correlation coefficients between SST in grid 56°N i 18°E and monthly and seasonal air temperature in Koszalin, Hel, Poznań, Warszawa, Wrocław and Kraków station (1854–2009)

Miesiąc	Koszalin	Hel	Poznań	Warszawa	Wrocław	Kraków
I	0,61	0,59	0,58	0,56	0,56	0,53
II	0,61	0,63	0,56	0,55	0,53	0,50
III	0,67	0,68	0,61	0,63	0,57	0,55
IV	0,56	0,60	0,48	0,47	0,45	0,41
V	0,51	0,52	0,43	0,33	0,39	0,30
VI	0,52	0,46	0,35	0,29	0,30	0,22
VII	0,64	0,65	0,55	0,51	0,48	0,43
VIII	0,74	0,72	0,55	0,50	0,36	0,31
IX	0,68	0,67	0,56	0,48	0,43	0,36
X	0,49	0,53	0,46	0,25	0,42	0,39
XI	0,44	0,48	0,44	0,45	0,41	0,38
XII	0,48	0,48	0,43	0,43	0,42	0,42
Rok	0,78	0,78	0,71	0,68	0,64	0,63
XIIp-II	0,65	0,64	0,60	0,59	0,58	0,56
III-V	0,72	0,72	0,66	0,64	0,64	0,59
VI-VIII	0,77	0,69	0,57	0,52	0,45	0,38
IX-XI	0,65	0,68	0,66	0,50	0,58	0,53

Ze względu na dostępność danych o temperaturze powietrza na obszarze Polski szczegółową analizę przestrzenną jej związków z temperaturą powierzchniowej warstwy wód południowego Bałtyku przeprowadzono w odniesieniu do ostatnich 60 lat (1950–2009). W tym okresie przez osiem miesięcy w roku (styczeń-marzec i lipiec-listopad) na całym lub prawie całym obszarze Polski (ryc. 2) korelacje osiągają wysoką istotność statystyczną ($p \leq 0,001$).

Maksimum siły ($r \geq 0,7$) związki te osiągają w dwóch okresach: lutym i marcu oraz lipcu i sierpniu (ryc. 2). W lutym i marcu najsilniejsze związki występują w N i NE części kraju. W tych rejonach zmiany SST objaśniają ponad 50% wariacji temperatury powietrza w lutym i marcu. Przesuwając się na południe, siła związku powoli maleje (do $r = 0,6$). Maleje również stopień objaśnienia zmian temperatury powietrza przez zmiany SST (do 36%). W lipcu i sierpniu

najsilniejsze związki ($r = 0,8$) występują w rejonie Zatoki Gdańskiej. Obszar, na którym ponad 50% wariacji temperatury powietrza objaśniane jest przez zmiany SST ($r \geq 0,7$), w lipcu obejmuje znaczną część środkowej i północno-wschodniej Polski, a w sierpniu ogranicza się do NW Polski, sięgając od Świnoujścia i Słubic na zachodzie po Poznań w środkowej części kraju (ryc. 2). W lipcu na



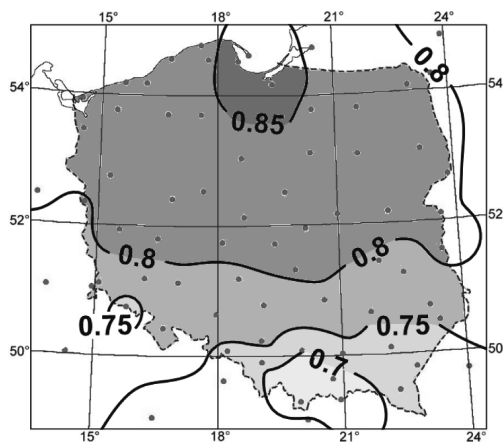
Ryc. 2. Rozkład współczynników korelacji SST z temperaturą powietrza w Polsce (1950–2009)

Fig. 2. Distribution of coefficients of correlation between SST and air temperature in Poland (1950–2009)

całym pozostałym obszarze kraju korelacje pozostają wysoce istotne i objaśniają ponad 30% wariacji temperatury powietrza, natomiast w sierpniu w SE części kraju siła związku wyraźnie słabnie i stopień objaśnienia zmian temperatury powietrza przez zmiany SST maleje na tym obszarze do około 10%.

W kwietniu, maju i czerwcu następuje wyraźna zmiana w rozkładzie przestrzennym współczynników korelacji SST z temperaturą powietrza. W odróżnieniu od pozostałych miesięcy roku izokorelaty przyjmują wyraźny przebieg południkowy, maleje też siła związków. Są one najsilniejsze ($r \geq 0,5$) na zachodzie kraju. Wskazuje to, że w tych miesiącach zmiany temperatury powietrza zachodzą inaczej niż zmiany SST na południowym Bałtyku. W kształtowaniu SST znaczącą rolę odgrywa wtedy układ inercyjny (zasób ciepła w wodach pozostały po okresie zimowego wychładzania i powolny wzrost SST spowodowany dużym ciepłem właściwym wody), natomiast temperatura powietrza zmienia się praktycznie bez opóźnień względem działania czynników wymuszających jej zmiany. Najsłabsze związki występują w maju, kiedy to izokorelata $r = 0,254$ (poziom ufności = 95%) przebiega wzdłuż południka 21°E, oddzielając obszar istotnych korelacji na zachodzie od nieistotnych występujących na wschód od tej izokorelaty (ryc. 2). Tam, gdzie korelacje są istotne, zmiany SST objaśniają zaledwie od 6 do 25% wariacji temperatury powietrza.

Najsilniejsze związki uzyskuje się, analizując roczne wartości SST i temperatury powietrza nad Polską. W rejonie Zatoki Gdańskiej współczynniki korelacji przekraczają 0,85, na stacjach północnej i środkowej Polski 0,80, a na pozostałym obszarze $r > 0,7$ (ryc. 3). Jedynie w Karpatach związki te są nieco



Ryc. 3. Rozkład współczynników korelacji rocznej SST z roczną temperaturą powietrza w Polsce (1950–2009)

Fig. 3. Distribution of coefficients of correlation between annual SST and annual air temperature in Poland (1950–2009)

słabsze, choć w dalszym ciągu wysoce istotne statystycznie ($r = 0,68-0,70$, $p < 0,00000$). W rejonie Zatoki Gdańskiej zmiany rocznej SST na południowym Bałtyku objaśniają ponad 72% wariacji rocznej temperatury powietrza, w północnej i środkowej Polsce ponad 64%, a na pozostałym obszarze od 46 do 60%.

WNIOSKI

Temperatura powietrza nad obszarem Polski wykazuje zróżnicowaną w czasie siłę związków z SST na Bałtyku. Zmiany siły związków z miesiąca na miesiąc tworzą pewien charakterystyczny rytm roczny. Najsilniejsze skorelowanie na dużych obszarach kraju występuje w schyłkowej fazie zimy (luty-marzec) oraz w okresie „pełni lata” (lipiec-sierpień); w pozostałych okresach związki wyraźnie słabną. Przyczyną osłabienia związków między SST a temperaturą powietrza nad Polską jest opóźniona reakcja SST na wpływ warunków zewnętrznych (przesunięcia fazowe tempa wzrostów i spadków temperatury wody).

Związki między SST a temperaturą powietrza są na obszarze całej Polski stabilne w czasie i przestrzeni. Praktycznie takie same współczynniki korelacji na poszczególnych stacjach uzyskuje się w przypadku szeregów 155-letnich, jak dla 60-letnich.

Choć obecnie trudno oddzielić wpływ termiczny powierzchni Bałtyku od bezpośredniego wpływu cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza nad Polską, to przeprowadzone analizy wskazują, że jest on znaczący. Rozkład przestrzenny i siła badanych związków wskazują, że Bałtyk wbrew utartym poglądom o jego niewielkim, ograniczonym tylko do strefy przybrzeżnej wpływie klimatycznym (np. Kwiecień 1987), oddziałuje znacznie silniej i na znacznie większej przestrzeni. Wpływ ten będzie najsilniejszy w okresach przewagi napływu nad obszar Polski mas powietrznych z kierunków NE, N i NW, a więc z kierunków umożliwiających intensywne procesy transformacji mas powietrznych przemieszczających się nad Bałtykiem.

Najsilniejsze związki (na większości powierzchni Polski $r > 0,8$, na pozostałym obszarze $r > 0,7$) uzyskuje się, analizując uśrednienia roczne SST i temperatury powietrza na stacjach. Pozwala to na wiarygodne szacowanie rocznej temperatury powietrza na stacjach w okresie, z którego nie ma z danej stacji danych obserwacyjnych (druga połowa XIX, pierwsza połowa XX wieku) na podstawie danych SST z obszaru Bałtyku.

Literatura

- Klein Tank A.M.G., Wijngaard J.B., Können G.P. i inni, 2002, *Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment*. Int. Jour. Climat., 22 (12), 1441–1453.
- Kwiecień K., 1987, *Warunki klimatyczne*. [w:] B. Augustowski (red.), *Bałtyk Południowy*. GTN – Ossolineum, Gdańsk, 219–288.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2003, *Zmiany temperatury powierzchni Bałtyku w rejonie Zatoki i Głębi Gdańskiej (1871–1992) i ich związki z temperaturą powietrza*. Prace Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni, 14, 109–138.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2010, *Changes in Sea Surface Temperature of the South Baltic Sea (1854–2005)*. [w:] R. Przybylak, J. Majorowicz, R. Brázdil, M. Kejna (red.), *The Polish Climate in the European Context: An Historical Overview*. Springer monograph, 18, 355–374.
- Smith T.M., Reynolds R.W., 2004, *Improved Extended Reconstruction of SST [1854–1997]*. Jour. of Climate, 17 (12), 2466–2477.