

**WPŁYW ZMIAN TEMPERATURY WÓD
W GŁÓWNYM NURCIE PRĄDU ZACHODNIOSPITSBERGEŃSKIEGO
NA TEMPERATURĘ POWIETRZA NA SPITSBERGENIE ZACHODNIM
(1982–2002)**

THE INFLUENCE OF THE CHANGES IN SEA SURFACE TEMPERATURE
IN THE WEST SPITSBERGEN CURRENT ON THE AIR TEMPERATURE
AT WEST SPITSBERGEN (1982–2002)

Grzegorz Kruszewski

Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej, Wydział Nawigacyjny, Akademia Morska
ul. Sędzickiego 19, 81–374 Gdynia
krucha@am.gdynia.pl

Zarys treści. Praca omawia związki temperatury powietrza na trzech stacjach Spitsbergenu Zachodniego z temperaturą wody powierzchniowej na akwenach położonych po zachodniej stronie wyspy – w nurcie Prądu Zachodniospitsbergeńskiego. Przeprowadzona analiza korelacji ciągów temperatury wody i powietrza wykazała istnienie między nimi istotnych statystycznie związków. Najwyższe współczynniki korelacji (osiągające nawet wartość +0.80) występują w okresie jesieni – między wartościami temperatury powietrza i wody z tego samego miesiąca. Związki pomiędzy roczną temperaturą powietrza a miesięcznymi wartościami temperatury wody są tylko nieznacznie słabsze. W niektórych przypadkach zmiany miesięcznej temperatury powierzchni wody objaśniają ponad 40% zmienności rocznej temperatury powietrza na Spitsbergenie.

Słowa kluczowe: temperatura powierzchni oceanu, Prąd Zachodniospitsbergeński, temperatura powietrza, Spitsbergen.

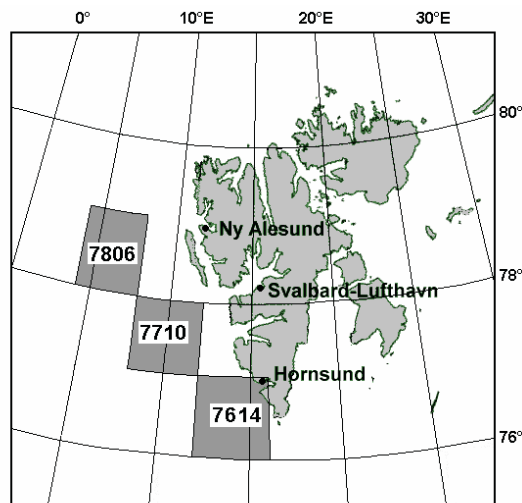
1. Wprowadzenie

Badania prowadzone w ostatnich latach wskazują na wyraźne ocieplenie się atlantyckiego sektora Arktyki. Mechanizm tego ocieplenia tłumaczy się różnie. Z jednej strony przypisuje się je czynnikiowi cyrkulacyjnemu (Przybylak 2002, Niedźwiedź 2003), z drugiej – przede wszystkim wzrostowi zasobów ciepła, wynikającemu z większej ilości napływającej ciepłej wody atlantyckiej (Midttun 1990, Zhang i in. 1998, Furevik 2001, Karcher i in. 2003). Wpływ zmian temperatury powierzchni oceanu (dalej TPO) na Prądzie Norweskim na temperaturę powietrza na Svalbardzie wykazali Kruszewski, Marsz i Zblewski (2003). Wskazali oni przypuszczalne mechanizmy opóźnionego oddziaływania TPO na temperaturę powietrza i ich dwojaki charakter, polegający na modyfikacji cyrkulacji atmosferycznej, a następnie bezpośrednim wpływie termicznym wnoszonych do Arktyki wód. Udowodnili także istnienie silnych związków synchronicznych pomiędzy temperaturą wody w rejonie Tromsø a temperaturą powietrza na tej stacji.

Podobne, silne związki TPO z temperaturą powietrza na pobliskich stacjach występują u brzegów Grenlandii (Zblewski 2004). Znaczący wzrost temperatury wód wokółspitsbergeńskich w latach 1982–2002 wykazał autor w swych wcześniejszych pracach (Kruszewski 2004a i b). Na stacjach położonych na Spitsbergenie w tym samym czasie obserwowany jest wzrost temperatury rocznej powietrza, a zwłaszcza temperatury lata. W rejonie tym odnotowano także wzrost częstości cyrkulacji zachodniej w okresie lata i jesieni, trwający od połowy lat 80-tych (Niedźwiedz 2003). Zachodzi więc pytanie, czy zmiany temperatury powietrza wykazują bezpośrednie związki ze wzrostem temperatury wód wokółspitsbergeńskich obserwowanym w latach 1982–2002.

2. Materiały badawcze i metody

W pracy przeanalizowano wpływ zmian temperatury wód powierzchniowych w nurcie Prądu Zachodniospitsbergeńskiego na temperaturę powietrza na trzech stacjach Spitsbergenu Zachodniego. Dane o temperaturze powierzchni oceanu zaczerpnięto ze zbioru Reynoldsa, zawierającego wartości średnie miesięczne dla pól o rozdzielczości $1 \times 1^\circ$ z okresu 1982–2002 (21 lat; zbiór SST OI v. 1.). Opierając się na wcześniejszych badaniach autora (Kruszewski 2004b) wybrano trzy większe akweny, z których każdy charakteryzuje się jednorodną dynamiką zmian temperatury wody. Akweny te obejmują główny nurt Prądu Zachodniospitsbergeńskiego i posiadają rozmiary $1^\circ\varphi$ na $4^\circ\lambda$, co w tych szerokościach geograficznych daje wymiary zbliżone do kwadratów. Położenie omawianych akwenów przedstawia rycina 1.



Ryc. 1. Obszar objęty badaniami

Fig. 1. Area of investigations

W celu uproszczenia zapisu, używane dalej w tekście współrzędne akwenów (gridów) – [76, 14], [77, 10], [78, 06] – podają położenie środka dolnej krawędzi analizowanego pola. Grid opisany jako [76, 14] obejmuje obszar pomiędzy 76° a 77°N i 12° a 16°E (środek tak zdefiniowanego gridu leży w punkcie o współrzędnych 76.5°N i 14°E). Ze względu na bezpośrednie sąsiedztwo gridów, szeregi TPO wykazują znaczne wzajemne skorelowanie. Dla korelacji synchronicznych (szeregi TPO z tego samego miesiąca)

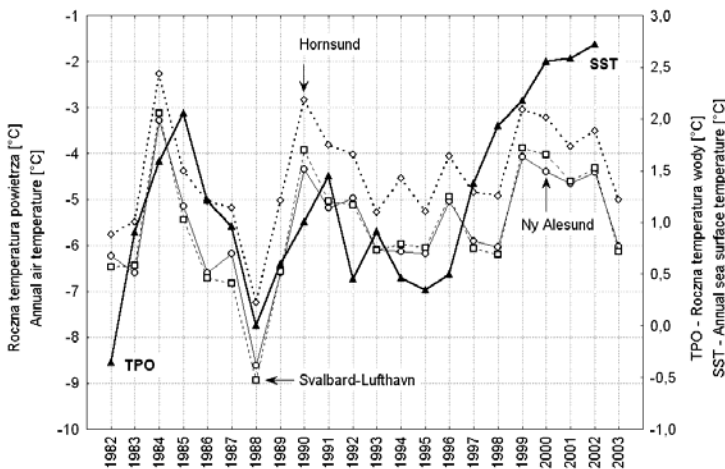
jedyny przypadek korelacji nieistotnej statystycznie ($r = 0.21$) wystąpił w maju pomiędzy TPO w skrajnych gridach [78, 06] i [76, 14]. Najwyższe współczynniki korelacji między temperaturą wody w poszczególnych gridach występują w miesiącach zimowych, przekraczając wartość 0.9.

Ciągi miesięcznych wartości temperatury powietrza z okresu 1982–2003 dla stacji Hornsund zaczerpnięto z Roczników Meteorologicznych opracowanych w Pracowni Badań Polarnych Oddziału Morskiego IMGW w Gdyni oraz w Instytucie Geofizyki PAN w Warszawie. Dane dla stacji Svalbard-Lufthavn i Ny Alesund pochodzą z bazy danych NORDCLIM (Nordic co-operation within Climate activities; Tuomenvirta i in. 2001) i Norweskiego Instytutu Meteorologicznego.

Zmiany TPO w poszczególnych gridach i temperatury powietrza na stacjach prześledzono w układzie miesięcznym i rocznym, wyznaczono współczynniki trendu liniowego i ich istotność statystyczną. Dalsza analiza polegała na wyznaczeniu współczynnika korelacji liniowej Pearsona pomiędzy szeregami TPO a temperaturą powietrza (dla wartości miesięcznych i rocznych). Przyjęto założenie, że zmiany temperatury wody i zmiany temperatury powietrza występują synchronicznie lub że zmiany temperatury wody wyprzedzają w czasie zmiany temperatury powietrza. Stąd korelacje o odwrotnym przebiegu w czasie nie były w tej pracy rozpatrywane.

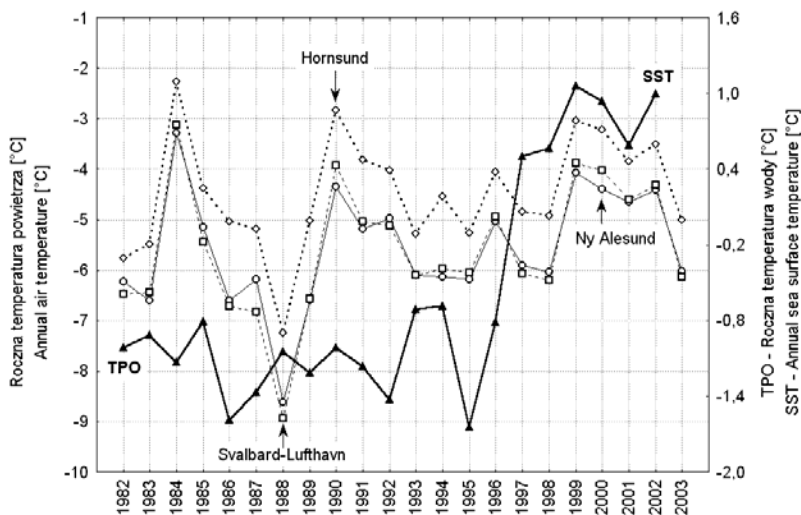
3. Wyniki

W analizowanym okresie 21 lat zaobserwowano znaczący wzrost temperatury wody. W przypadku wartości rocznych TPO trendy są dodatnie i istotne statystycznie we wszystkich trzech akwenach i wynoszą od $+0.08^{\circ}\text{C}/\text{rok}$ [76, 14] i [77, 10] do $+0.11^{\circ}\text{C}/\text{rok}$ [78, 06]. Przebiegi średnich rocznych wartości temperatury wody w skrajnych analizowanych gridach oraz przebiegi rocznej temperatury powietrza na stacjach spitsbergeńskich prezentują ryciny 2 i 3. Na uwagę zasługuje fakt pojawienia się dużej zgodności przebiegu TPO w gridzie [78, 06] i temperatury powietrza na stacjach spitsbergeńskich w ostatnich kilku latach (ryc. 3), gdy wcześniej (przed rokiem 1996–1997) zgodności takiej nie obserwowano.



Ryc. 2. Przebieg rocznych wartości TPO w gridzie [76, 14] i temperatury powietrza na stacjach: Hornsund, Svalbard-Lufthavn i Ny Alesund

Fig. 2. Course of mean annual SST values in grid [76, 14] and air temperature values at Hornsund, Svalbard-Lufthavn and Ny Alesund



Ryc. 3. Przebieg rocznych wartości TPO w gridzie [78, 06] i temperatury powietrza na stacjach: Hornsund, Svalbard-Lufthavn i Ny Alesund

Fig. 3. Course of mean annual SST values in grid [78, 06] and air temperature values at Hornsund, Svalbard-Lufthavn and Ny Alesund

Trendy wartości miesięcznych TPO są istotne statystycznie we wszystkich miesiącach roku tylko w najdalej na północ położonym gridzie [78, 06]. W pozostałych dwóch gridach trendy temperatury wody tracą istotność statystyczną w okresie lata (maj – sierpień, [77, 10]) lub wiosny i lata (marzec – sierpień [76, 14]).

Istotne trendy dodatnie temperatury powietrza na analizowanych stacjach występują tylko w Hornsundzie i Svalbard-Lufthavn w jednym miesiącu roku – sierpniu. Wynoszą one odpowiednio $+0.06^{\circ}\text{C}/\text{rok}$ ($p = 0.013$) i $+0.08^{\circ}\text{C}/\text{rok}$ ($p = 0.006$). Trendy temperatury rocznej na wszystkich stacjach są dodatnie, lecz nieistotne statystycznie. Ich wartości wynoszą od $+0.05$ (Hornsund i Ny Alesund) do $+0.06^{\circ}\text{C}/\text{rok}$ (Svalbard-Lufthavn).

Współczynniki korelacji pomiędzy wartościami TPO a temperaturą powietrza zestawiono w tabelach 1 – 3. Tabela 1 zawiera współczynniki korelacji pomiędzy TPO w najdalej na południe usytuowanym gridzie [76, 14] a temperaturami powietrza na analizowanych stacjach. Najsilniejsze związki temperatury wody z temperaturą powietrza występują synchronicznie, lub z przesunięciem jednego lub dwóch miesięcy. Na sąsiadującej z tym akwenem stacji Hornsund związki synchroniczne są bardzo wyraźne w okresie lata (w lipcu $r = 0.67$, w sierpniu $r = 0.61$). Widoczny jest także znaczący spadek współczynników korelacji TPO z temperaturą powietrza miesięcy letnich w miarę wzrostu odległości stacji od rozpatrywanego akwenu (tab. 1). Dla najdalej w stosunku do rozpatrywanego gridu położonej stacji Ny Alesund istotna korelacja występuje już tylko w lipcu ($r = 0.44$). Potwierdza to tezę o lokalnym, związanym z podobną dostawą radiacji słonecznej do powierzchni morza i obszarów lądowych, uwarunkowaniu tej zależności. Mechanizmy funkcjonowania takich związków temperatury powietrza z TPO zostały już szczegółowo opisane (Kruszewski i in. 2003), stąd nie będzie się ponownie poruszać tego zagadnienia.

Tabela 1 – Table 1

Współczynniki korelacji liniowej pomiędzy wartościami TPO w gridzie [76, 14] a temperaturą powietrza na stacjach: Hornsund, Svalbard-Lufthavn i Ny Alesund (1982–2002; n = 21). Pogrubioną czcionką oznaczono współczynniki korelacji istotne na poziomie $p < 0.05$

The values of coefficient of linear correlation between SST in [76, 14] grid and air temperature in: Hornsund, Svalbard-Lufthavn and Ny Alesund (1982–2002; n = 21). The significance of values printed in bold is $p < 0.05$

76°N 14°E	Hornsund												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
I	0.22	0.21	-0.23	-0.26	-0.30	0.25	0.48	0.42	0.25	0.42	0.36	0.28	0.32
II		0.45	-0.26	-0.34	-0.11	0.17	0.38	0.35	0.35	0.41	0.22	0.24	0.36
III			-0.21	-0.45	-0.14	0.04	0.33	0.33	0.31	0.44	0.23	0.24	0.33
IV				-0.20	-0.13	0.31	0.55	0.56	0.22	0.35	0.33	0.44	0.43
V					0.04	0.50	0.59	0.45	0.30	0.18	0.15	0.41	0.50
VI						0.55	0.60	0.56	0.37	0.42	0.33	0.58	0.63
VII							0.67	0.66	0.35	0.45	0.18	0.38	0.45
VIII								0.61	0.25	0.32	0.19	0.43	0.35
IX									0.41	0.55	0.38	0.43	0.50
X										0.80	0.55	0.35	0.63
XI											0.68	0.40	0.66
XII												0.56	0.67
I–XII													0.61

76°N 14°E	Svalbard-Lufthavn												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
I	0.18	0.33	-0.15	-0.20	-0.32	0.22	0.33	0.38	0.16	0.40	0.32	0.31	0.33
II		0.54	-0.16	-0.23	-0.14	0.19	0.19	0.33	0.27	0.40	0.18	0.25	0.39
III			-0.11	-0.33	-0.23	0.13	0.18	0.30	0.23	0.42	0.19	0.25	0.36
IV				-0.16	-0.20	0.38	0.29	0.41	0.12	0.30	0.28	0.44	0.41
V					0.06	0.31	0.18	0.31	0.22	0.16	0.12	0.43	0.48
VI						0.36	0.35	0.43	0.28	0.38	0.30	0.59	0.60
VII							0.45	0.51	0.26	0.38	0.15	0.39	0.39
VIII								0.50	0.19	0.28	0.17	0.45	0.30
IX									0.37	0.51	0.38	0.48	0.48
X										0.75	0.54	0.42	0.63
XI											0.67	0.47	0.64
XII												0.58	0.68
I–XII													0.60

76°N 14°E	Ny Alesund												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
I	0.16	0.43	0.01	-0.20	-0.02	0.03	0.08	0.11	0.15	0.37	0.30	0.28	0.36
II		0.61	-0.02	-0.21	0.12	0.04	0.01	0.04	0.25	0.36	0.13	0.24	0.41
III			0.01	-0.29	0.08	-0.03	-0.03	0.04	0.21	0.39	0.14	0.24	0.38
IV				-0.11	-0.04	0.27	0.25	0.33	0.14	0.28	0.24	0.45	0.48
V					0.06	0.37	0.28	0.18	0.23	0.13	0.09	0.44	0.54
VI						0.26	0.34	0.21	0.28	0.33	0.25	0.60	0.62
VII							0.44	0.31	0.26	0.29	0.11	0.42	0.39
VIII								0.40	0.20	0.21	0.15	0.46	0.28
IX									0.36	0.45	0.31	0.54	0.46
X										0.70	0.48	0.50	0.62
XI											0.61	0.55	0.65
XII												0.63	0.70
I–XII													0.62

Tabela 2 – Table 2

Współczynniki korelacji liniowej pomiędzy wartościami TPO w gridzie [77, 10] a temperaturą powietrza na stacjach: Hornsund, Svalbard-Lufthavn i Ny Alesund (1982–2002; n = 21). Pogrubioną czcionką oznaczono współczynniki korelacji istotne na poziomie $p < 0.05$

The values of coefficient of linear correlation between SST in [77, 10] grid and air temperature in: Hornsund, Svalbard-Lufthavn and Ny Alesund (1982–2002; n = 21). The significance of values printed in bold is $p < 0.05$

77°N 10°E	Hornsund												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
I	0.23	0.31	-0.10	-0.17	-0.16	0.33	0.36	0.34	0.33	0.44	0.41	0.49	0.47
II		0.39	-0.18	-0.23	-0.13	0.36	0.43	0.39	0.37	0.47	0.41	0.39	0.49
III			-0.20	-0.33	-0.17	0.27	0.42	0.41	0.32	0.50	0.41	0.40	0.47
IV				-0.24	-0.13	0.33	0.44	0.47	0.36	0.50	0.48	0.48	0.54
V					-0.05	0.27	0.37	0.29	0.39	0.50	0.43	0.51	0.59
VI						0.16	0.38	0.33	0.20	0.43	0.39	0.43	0.44
VII							0.27	0.19	0.01	0.30	0.34	0.30	0.24
VIII								0.19	0.12	0.11	0.24	0.35	0.18
IX									0.23	0.35	0.42	0.30	0.28
X										0.57	0.54	0.21	0.35
XI											0.69	0.26	0.46
XII												0.38	0.53
I–XII													0.47

77°N 10°E	Svalbard-Lufthavn												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
I	0.22	0.41	-0.02	-0.10	-0.12	0.28	0.23	0.28	0.24	0.40	0.35	0.50	0.48
II		0.52	-0.10	-0.15	-0.04	0.25	0.30	0.38	0.27	0.42	0.37	0.40	0.52
III			-0.12	-0.24	-0.13	0.20	0.29	0.38	0.22	0.47	0.37	0.40	0.50
IV				-0.15	-0.09	0.21	0.24	0.33	0.23	0.44	0.44	0.48	0.54
V					0.05	0.01	0.18	0.23	0.26	0.45	0.39	0.50	0.61
VI						0.01	0.31	0.29	0.06	0.37	0.37	0.43	0.46
VII							0.37	0.31	0.31	-0.10	0.26	0.33	0.28
VIII								0.31	0.07	0.10	0.24	0.37	0.23
IX									0.18	0.33	0.44	0.34	0.34
X										0.55	0.56	0.27	0.40
XI											0.71	0.32	0.51
XII												0.41	0.59
I–XII													0.51

77°N 10°E	Ny Alesund												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
I	0.20	0.48	0.08	-0.13	0.09	0.13	0.14	0.09	0.24	0.36	0.33	0.47	0.49
II		0.58	0.05	-0.17	0.14	0.14	0.18	0.17	0.28	0.37	0.35	0.41	0.55
III			0.03	-0.24	0.13	0.07	0.11	0.16	0.21	0.43	0.35	0.40	0.52
IV				-0.11	0.13	0.07	0.13	0.24	0.24	0.40	0.40	0.49	0.60
V					0.19	-0.05	0.13	0.14	0.27	0.42	0.38	0.52	0.66
VI						-0.05	0.22	0.16	0.09	0.35	0.37	0.43	0.50
VII							0.27	0.15	-0.07	0.26	0.35	0.32	0.32
VIII								0.13	0.10	0.11	0.25	0.35	0.23
IX									0.20	0.32	0.42	0.38	0.35
X										0.55	0.54	0.34	0.42
XI											0.68	0.40	0.54
XII												0.46	0.61
I–XII													0.54

Tabela 3 – Table 3

Współczynniki korelacji liniowej pomiędzy wartościami TPO w gridzie [78, 06] a temperaturą powietrza na stacjach: Hornsund, Svalbard-Lufthavn i Ny Alesund (1982–2002; n = 21). Pogrubioną czcionką oznaczono współczynniki korelacji istotne na poziomie $p < 0.05$

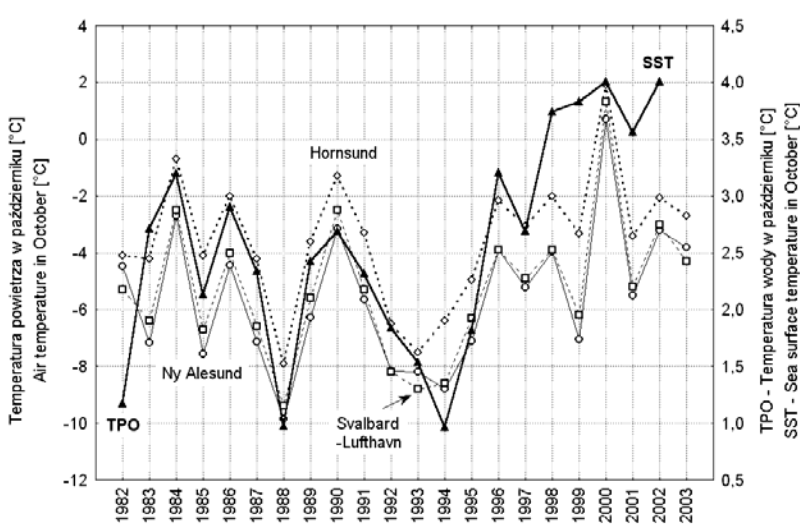
The values of coefficient of linear correlation between SST in [78, 06] grid and air temperature in: Hornsund, Svalbard-Lufthavn and Ny Alesund (1982–2002; n = 21). The significance of values printed in bold is $p < 0.05$

78°N 06°E	Hornsund												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
I	0.11	0.10	-0.11	-0.12	-0.27	0.31	0.33	0.29	0.27	0.41	0.39	0.42	0.35
II		0.12	-0.17	-0.07	-0.27	0.38	0.40	0.38	0.26	0.42	0.40	0.38	0.37
III			-0.08	-0.08	-0.25	0.34	0.31	0.31	0.28	0.44	0.45	0.40	0.38
IV				-0.18	-0.16	0.29	0.23	0.31	0.33	0.41	0.46	0.41	0.38
V					-0.00	0.31	0.20	0.28	0.41	0.48	0.43	0.47	0.43
VI						0.29	0.26	0.33	0.32	0.41	0.35	0.46	0.39
VII							0.25	0.22	0.21	0.30	0.30	0.41	0.35
VIII								0.22	0.29	0.23	0.20	0.39	0.28
IX									0.14	0.21	0.38	0.22	0.14
X										0.33	0.46	0.10	0.17
XI											0.62	0.19	0.31
XII												0.31	0.38
I–XII													0.35

78°N 06°E	Svalbard-Lufthavn												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
I	0.10	0.19	-0.05	-0.07	-0.23	0.23	0.24	0.27	0.21	0.39	0.33	0.44	0.36
II		0.22	-0.11	-0.02	-0.19	0.23	0.27	0.40	0.20	0.42	0.35	0.40	0.39
III			-0.02	-0.03	-0.19	0.15	0.20	0.29	0.22	0.43	0.40	0.42	0.39
IV				-0.11	-0.10	0.13	0.16	0.26	0.26	0.38	0.42	0.42	0.39
V					0.04	0.06	0.06	0.26	0.34	0.45	0.38	0.46	0.44
VI						0.10	0.03	0.25	0.23	0.39	0.29	0.45	0.39
VII							0.12	0.27	0.13	0.29	0.25	0.41	0.39
VIII								0.26	0.23	0.24	0.18	0.39	0.33
IX									0.09	0.22	0.39	0.23	0.20
X										0.35	0.49	0.15	0.26
XI											0.64	0.24	0.39
XII												0.35	0.45
I–XII													0.40

78°N 06°E	Ny Alesund												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
I	0.06	0.28	0.05	-0.12	-0.01	0.02	0.06	0.06	0.18	0.36	0.32	0.4	0.35
II		0.30	0.03	-0.11	0.00	0.06	0.04	0.15	0.15	0.40	0.35	0.37	0.38
III			0.09	-0.11	0.04	-0.01	-0.03	0.06	0.17	0.41	0.40	0.38	0.38
IV				-0.15	0.04	-0.03	0.02	0.18	0.23	0.36	0.41	0.40	0.39
V					0.08	-0.07	-0.01	0.14	0.29	0.43	0.37	0.44	0.43
VI						0.01	-0.04	0.09	0.18	0.36	0.28	0.40	0.39
VII							0.07	0.09	0.11	0.28	0.27	0.38	0.40
VIII								0.06	0.23	0.22	0.19	0.36	0.31
IX									0.11	0.23	0.41	0.24	0.20
X										0.38	0.48	0.19	0.25
XI											0.63	0.27	0.38
XII												0.38	0.46
I–XII													0.39

Należy zwrócić uwagę na bardzo silne skorelowanie TPO i temperatury powietrza w Hornsundzie jesienią (październik, $r = 0.80$; listopad, $r = 0.68$). Duże podobieństwo przebiegów TPO i temperatury powietrza w październiku ilustruje rycina 4.



Ryc. 4. Przebieg miesięcznych wartości TPO w październiku w gridzie [76, 14] i temperatury powietrza w październiku na stacjach: Hornsund, Svalbard-Lufthavn i Ny Alesund

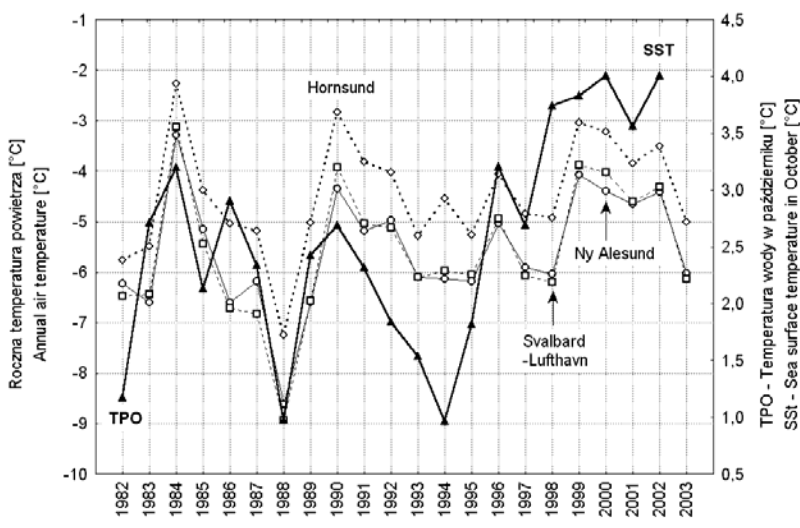
Fig. 4. Course of mean monthly SST values in October in grid [76, 14] and air temperature values in October at Hornsund, Svalbard-Lufthavn and Ny Alesund

W październiku dwukrotnie rośnie (w stosunku do września) różnica temperatury woda – powietrze, osiągając średnio wartość ponad 6°C . Uruchamia to proces gwałtownego wzrostu przekazu ciepła z morza do atmosfery. Ponieważ procesy ogrzewania się powietrza zachodzą w skali synoptycznej, na pozostałych, bardziej odległych stacjach obserwujemy w tych miesiącach podobne, choć słabsze zależności (patrz tab. 1). Zimą istotne korelacje temperatury powietrza z TPO występują w grudniu oraz lutym i w obu przypadkach ich siła rośnie ze wzrostem odległości stacji od rozpatrywanego akwenu. Widoczne jest także silne skorelowanie miesięcznych TPO w gridzie [76, 14] z okresu wrzesień – grudzień z roczną temperaturą powietrza na wszystkich badanych stacjach. Przebiegi rocznej temperatury powietrza na stacjach Spitsbergenu Zachodniego i TPO z października dla gridu [76, 14] prezentuje rycina 5.

Najwyższe współczynniki korelacji występują dla grudniowej temperatury wody ($r \geq 0.67$). Potwierdza to wagę procesów transferu ciepła z oceanu do atmosfery zachodzących w okresie jesieni i początku zimy w kształtowaniu rocznej temperatury powietrza obszarów przyległych położonych w wysokich szerokościach geograficznych.

Korelacje temperatury wody w gridzie [77, 10] z temperaturą powietrza mają inny rozkład (tab. 2). Przede wszystkim nie pojawiają się tu synchroniczne, istotne statystycznie związki w okresie letnim. Być może związane jest to z większą odległością od brzegów wyspy i różnicami w zachmurzeniu w stosunku do poprzednio omawianego akwenu i stacji meteorologicznych na Spitsbergenie. Istotne korelacje miesięcznych TPO z temperaturą powietrza na wszystkich stacjach pojawiają się ponownie synchronicznie w miesiącach jesiennych i zimowych. Najwyższe odnotowane współczynniki korelacji występują na

wszystkich stacjach w listopadzie, osiągając maksimum dla stacji Svalbard-Lufthavn ($r = 0.71$), leżącej na NE od rozpatrywanego gridu [77, 10]. Należy zwrócić uwagę na istotne skorelowanie TPO w okresie od stycznia do czerwca z roczną temperaturą powietrza na omawianych stacjach. W przeciwieństwie do gridu [76, 14] najsilniejsze korelacje występują tu nie w końcu roku, lecz z TPO z maja. Temperatura wody w tym i poprzedzającym miesiącu wykazuje istotne lub wyraźnie podwyższone korelacje z temperaturą powietrza występującą w okresie od października do grudnia na stacjach Hornsund i Svalbard-Lufthavn oraz grudnia w Ny Alesund. Współczynniki korelacji pomiędzy TPO [77, 10] z maja a roczną temperaturą powietrza osiągają wartości od $r = 0.59$ (Hornsund) do $r = 0.66$ (Ny Alesund) i są w każdym z przypadków wyższe niż analogiczne związki rocznych wartości TPO z roczną temperaturą powietrza. Współczynniki korelacji miesięcznych TPO z roczną temperaturą powietrza rosną wraz z szerokością geograficzną rozpatrywanych stacji, podobnie jak w przypadku gridu [76, 14].



Ryc. 5. Przebieg miesięcznych wartości TPO w październiku w gridzie [76, 14] i rocznej temperatury powietrza na stacjach: Hornsund, Svalbard-Lufthavn i Ny Alesund

Fig. 5. Course of mean monthly SST values in October in grid [76, 14] and annual air temperature values at Hornsund, Svalbard-Lufthavn and Ny Alesund

Korelacje TPO w gridzie [78, 06] z temperaturą powietrza są najsłabsze (tab. 3). Przede wszystkim przez okres niemal całego roku nie pojawiają się tu związki synchroniczne. Istotne korelacje TPO w tym gridzie z temperaturą powietrza na wszystkich trzech stacjach występują synchronicznie jedynie w listopadzie, a współczynniki korelacji wynoszą od 0.62 (Hornsund) do 0.64 (Svalbard-Lufthavn). Na wszystkich stacjach występuje także istotne statystycznie skorelowanie temperatury powietrza w październiku i grudniu, a także temperatury rocznej (Ny Alesund i Svalbard-Lufthavn) z TPO maja. W przypadku Hornsundu współczynnik korelacji rocznej temperatury powietrza z TPO maja w gridzie [78, 06] jest tuż poniżej granicy istotności statystycznej. Współczynniki korelacji rocznej TPO z roczną temperaturą powietrza nie osiągają progu istotności statystycznej, jednak w ostatnich latach przebiegi temperatury powietrza i TPO stały się bardzo podobne (ryc. 3).

4. Podsumowanie i wnioski

W rejonie Spitsbergenu Zachodniego w latach 1982–2002 obserwowano wzrost zarówno temperatury wody jak i powietrza. Obserwowane trendy rocznych wartości TPO są istotne statystycznie i nawet dwukrotnie wyższe (grid [78, 06]) od trendów temperatury powietrza, które istotności statystycznej nie osiągają. Wykryto istotne statystycznie korelacje pomiędzy temperaturą wody w rozpatrywanych gridach a temperaturą powietrza. Najwyższe współczynniki korelacji TPO z temperaturą powietrza zazwyczaj występują synchronicznie (TPO & TP z tego samego miesiąca) lub z miesięcznym przesunięciem. Najczęściej pojawiają się w październiku i listopadzie.

Najsilniejsze i najliczniejsze związki temperatury powietrza z TPO znaleziono dla najdalej na południe położonego gridu [76, 14], w którym średnia temperatura wody jest najwyższa. Szczególną rolę dla kształtowania rocznej temperatury powietrza na stacjach zachodniego wybrzeża Spitsbergenu odgrywa zmienność temperatury wody w gridzie [76, 14] w okresie od października do grudnia. Październikowe zmiany temperatury wody w tym gridzie objaśniają 35–36% zmienności rocznej temperatury powietrza.

Ciekawe jest obserwowane skorelowanie TPO miesięcy wiosennych (kwiecień, maj) z temperaturą powietrza końca roku (październik – grudzień), co szczególnie uwidacznia się w przypadku gridu [77, 10] i stacji w Hornsundzie. Zmienność temperatury wody w maju we wszystkich trzech omawianych tu gridach objaśnia od kilkunastu do około 40% zmienności temperatury rocznej powietrza, przy czym najsilniejszy wpływ na roczną temperaturę powietrza wywiera majowa zmienność temperatury wody w gridzie [77, 10]. Przypuszczalnie wiosenna wartość TPO informuje o zasobach ciepła w dużej objętości wód, które po “zamaskowaniu” warstwą ciepłych letnich wód powierzchniowych, jesienią ponownie pojawiają się na powierzchni.

Najsłabsze związki między temperaturą powietrza na Spitsbergenie Zachodnim a temperaturą wody występują w przypadku najdalej na północ usytuowanego gridu [78, 06], mimo tego, że zmiany TPO na tym akwenie zachodzą najbardziej dynamicznie.

Związki występujące między temperaturą powietrza na stacjach Spitsbergenu Zachodniego a temperaturą powierzchni oceanu w rejonie Prądu Zachodniospitsbergeńskiego wydają się zaskakująco silne, zważywszy fakt, że analizowane akweny leżą na zachód od wymienianych stacji, a częstość cyrkulacji atmosferycznej z zachodu (SW + W + NW) nie przekracza 15.5% (Niedźwiedz 2003). Sugeruje to, że występujące związki temperatury powietrza z TPO nie stanowią tylko efektu przenoszenia ogrzanego powietrza znad Prądu Zachodniospitsbergeńskiego na wschód – w kierunku rozpatrywanych stacji.

Literatura

- Furevik T., 2001, Annual and interannual variability of Atlantic Water temperatures in the Norwegian and Barents Seas: 1980–1996. *Deep-Sea Research I*, 48: 383-404.
- Karcher M. J., Gerdes R., Kauker F., Köberle C., 2003, Arctic warming: Evolution and spreading of the 1990s warm event in the Nordic seas and the Arctic Ocean. *J. Geophys. Res.*, 108(C2), 3034 doi:10.1029/2001JC001265
- Kruszewski G., 2004a, Zmienność temperatury powierzchni morza w rejonie Spitsbergenu (1982–2002) jako przejaw współcześnie zachodzących zmian klimatycznych. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 14: 79-86.
- Kruszewski G., 2004b, Wzrost temperatury wód wokółspitsbergeńskich w ostatnim 20-leciu (1982–2002). *Polish Polar Studies. XXX International Polar Symposium*, Gdynia, 203-211.
- Kruszewski G., Marsz A., Zblewski S., 2003, Wpływ zmian temperatury powierzchni oceanu na Morzu Norweskim na temperaturę powietrza na Svalbardzie i Jan Mayen (1982–2002). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 13: 59-78.
- Midttun L., 1990, Surface temperatures of the Barents Sea. *Polar Research* 8: 11-16.

- Niedźwiedz T., 2003, Współczesna zmienność cyrkulacji atmosfery, temperatury powietrza i opadów atmosferycznych na Spitsbergenie. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 13: 79-92.
- Przybylak R., 2002, Variability of air temperature and atmospheric precipitation in the Arctic. *Atmospheric and Oceanographic Sciences Library*, 25, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London, ss. 330.
- Tuomenvirta H., Drebs A., Førland E., Tveito O.E., Alexandersson H., Laursen E.V., Jónsson T., 2001, Nordklím data set 1.0 – description and illustrations. *DNMI Report KLIMA 08/01*: 27 s.
- Zblewski S. 2004, Zmiany temperatury wody Prądów Wschodnio- i Zachodniogrenlandzkiego w okresie ocieplenia końca XX wieku (1982–2002). *Polish Polar Studies. XXX International Polar Symposium*, Gdynia, 425-438.
- Zhang J., Rothrock A. D., Steele M. 1998, Warming of the Arctic Ocean by strengthened Atlantic inflow: Model results. *Geophysical Research Letters*, Vol. 25, No. 10: 1745-1748.

Summary

This work deals with correlations between SST in the West Spitsbergen Current and air temperature at Spitsbergen (Hornsund, Svalbard-Lufthavn and Ny Alesund). The strongest correlations SST with air temperature have been found in the southern part of the West Spitsbergen Current. In grid [76, 14] synchronic correlations (SST & air temperature in the same month) are strongest and most frequent, occurring in fall and winter months at all three stations (table 1). Correlations in summer months are strong only with closest station at Hornsund ($r = 0.67$ in July), and decrease with distance to the station. Synchronic correlations between monthly air temperature and SST in next two grids are less frequent and weaker. In [77, 10] grid statistically significant synchronic correlations are limited to fall and winter months and in [78, 06] grid occur in November only (see table 2 & 3).

Correlations between monthly SST and annual air temperature are strongest for October, November and December in [76, 14] grid, and coefficients of correlation are very close for all three stations and months ($0.62 \leq r \leq 0.70$) – see Fig. 5. Interesting correlation occur between SST in April and May and annual air temperature values at Spitsbergen, especially strong at Ny Alesund and SST in May in [77, 10] grid ($r = 0.66$). The changeability of SST in this area in May explains from 31% (Hornsund) to 41% (Ny Alesund) of changeability in annual air temperature at Spitsbergen.