

## TRENDY TEMPERATURY POWIETRZA ORAZ LICZBY DNI MROŹNYCH I Z PRZEJŚCIEM TEMPERATURY PRZEZ 0°C W ARKTYCE ATLANTYCKIEJ I SYBERYJSKIEJ

THE TRENDS IN AIR TEMPERATURE AND THE NUMBER OF ICE  
AND FREEZE-THAW DAYS IN THE ATLANTIC AND SIBERIAN SECTOR OF ARCTIC

Ewa Łupikasza, Łukasz Małarzewski, Tadeusz Niedźwiedz, Ksenia Dobrowolska

Katedra Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski  
ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec

ewa.lupikasza@us.edu.pl, malarzewski@onet.eu, tadeusz.niedzwiedz@us.edu.pl,  
kseniadobrowolska@gmail.com

**Zarys treści.** Opracowanie dotyczy oceny zmienności wybranych charakterystyk termicznych na 4 wybranych stacjach meteorologicznych w obrębie atlantyckiego i syberyjskiego sektora Arktyki w okresie 1979-2013. Arktykę Atlantycką reprezentuje stacja w Hornsundzie (SW Spitsbergen) oraz w Danmarkshavn na wschodnim wybrzeżu Grenlandii. W pobliżu granicy obu regionów znajduje się stacja Dikson. Natomiast Arktykę Syberyjską dobrze reprezentuje stacja Ostrov Kotielnyj w archipelagu Wysp Nowosyberyjskich. Zmienność i trendy średniej temperatury powietrza oraz liczby dni mroźnych ( $T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$ ) i dni z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}\text{C}$  ( $T_{min} \leq 0^{\circ}\text{C} \wedge T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ ) przedstawiono w ujęciu rocznym i sezonowym. Znaczne ocieplenie w świetle średniej rocznej temperatury powietrza z trendami rzędu od  $+0,6^{\circ}\text{C}$  do  $1,0^{\circ}\text{C}/10$  lat znajduje odzwierciedlenie w tendencji spadkowej liczby dni mroźnych w obu regionach. Natomiast odmiennie kształtują się tendencje w występowaniu dni z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}\text{C}$ , które są wzrostowe w Arktyce Atlantyckiej i spadkowe w Arktyce Syberyjskiej.

**Słowa kluczowe:** trendy temperatury powietrza, dni mroźne, dni z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}\text{C}$ , Arktyka Atlantycka, Arktyka Syberyjska.

### 1. Wstęp

Ewidentnym przejawem współczesnych zmian klimatu w skali globalnej jest wyraźny wzrostowy trend temperatury powietrza rzędu  $0,72^{\circ}\text{C}$  w okresie 1951-2012 (IPCC 2013). Kierunek zmian temperatury powietrza w skali regionalnej w większości obszarów na Ziemi jest zgodny z kierunkiem zmian globalnych. Zróżnicowanie regionalne dotyczy tempa tych zmian oraz okresu, na który przypada początek wyraźnie zaznaczonego ocieplenia. W Arktyce dramatyczny wzrost temperatury rocznej i sezonowej (około  $1^{\circ}\text{C}$  w okresie 1995-2005) rozpoczął się w połowie lat 90. Tendencja ta była największa jesienią i w zimie (Przybylak 2007). W przebiegu rocznym najsilniejszy wzrost wykazuje temperatura w grudniu; istotne tendencje wzrostowe stwierdzono także w listopadzie, kwietniu, maju, czerwcu i sierpniu (Førland i Hanssen-Bauer 2003, Nordli 2005, Marsz i Styszyńska 2007, Bednorz 2011, Marsz i Styszyńska 2013, Nordli i in. 2014). Ze wzrostem temperatury powietrza w Atlantyckim sektorze Arktyki związane są istotne zmiany częstości występowania dni z przejściem temperatury

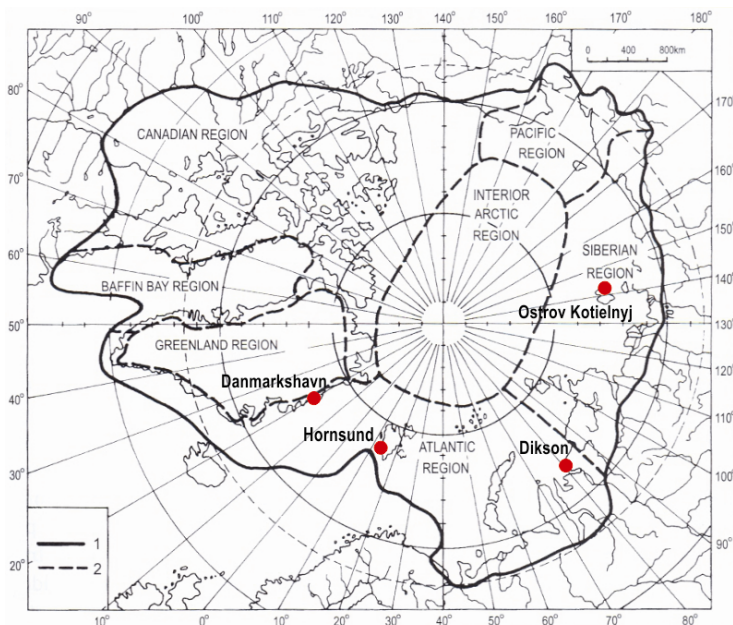
powietrza przez  $0^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C} \wedge T_{\max} > 0^{\circ}\text{C}$ ) oraz dni mroźnych ( $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$ ) (Łupikasza i in. 2012, Niedźwiedź i in. 2012, Łupikasza i Niedźwiedź 2013, Łupikasza i in. 2013). W atlantyckim sektorze Arktyki częstość występowania dni z przejściem temperatury powietrza przez  $0^{\circ}\text{C}$  istotnie malała w czerwcu i wzrastała w grudniu (Łupikasza i in. 2012a, Łupikasza i in. 2013). W miesiącach tych oraz w maju istotnie malała również liczba dni mroźnych w Hornsundzie (Niedźwiedź i in. 2012). Podobne tendencje częstości występowania dni mroźnych obserwowano także na innych stacjach położonych w Archipelagu Svalbard (Łupikasza i Niedźwiedź 2013).

Badania dni charakterystycznych pod względem termicznym są tak ważne jak ciągły monitoring zmian temperatury powietrza wskazujący czy kierunki współczesnych zmian klimatu utrzymują się czy też reakcja systemu klimatycznego ulega zmianie. Celem niniejszych badań jest określenie kierunków i tempa zmian w okresie ostatnich 35 lat (1979-2013) średniej rocznej i sezonowej temperatury powietrza, liczby dni mroźnych oraz liczby dni z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}\text{C}$  w Arktyce Atlantyckiej oraz w Arktyce Syberyjskiej.

## 2. Dane i metody

Do badań wybrano cztery synoptyczne stacje meteorologiczne zlokalizowane w podobnej strefie (szerokość geograficzna  $73,5-77^{\circ}\text{N}$ ) i reprezentujące warunki przyrodnicze i klimatyczne tundry arktycznej. Dwie stacje położone są w atlantyckim regionie Arktyki najcieplejszym w całej Arktyce (Atlas Arktiki 1985, Przybylak 2003), o małych wahaniami rocznych temperatury powietrza. Zachodnią część tego regionu reprezentuje stacja Danmarkshavn (numer WMO 04320,  $76^{\circ}46'\text{N}$ ,  $18^{\circ}40'\text{W}$ , wysokość 11 m n.p.m.) położona na wschodnim wybrzeżu Grenlandii. Polska Stacja Polarna w Hornsundzie ( $01003$ ,  $77^{\circ}00'\text{N}$ ,  $15^{\circ}33'\text{E}$ , 11 m n.p.m.) leży w południowo-zachodniej części Spitsbergenu, mniej więcej w środkowej części regionu atlantyckiego. Rosyjska stacja Dikson (20674,  $73^{\circ}30'\text{N}$   $80^{\circ}24'\text{E}$ , 47 m n.p.m.) znajduje się na wybrzeżu Morza Karskiego w pobliżu granicy między atlantyckim i syberyjskim regionem klimatycznym Arktyki (ryc. 1). Warunki typowe dla syberyjskiego regionu reprezentuje stacja Ostrov Kotielnyj (21432,  $76^{\circ}00'\text{N}$ ,  $137^{\circ}52'\text{E}$ , 10 m) położona na wybrzeżu Morza Łaptiewów w północno-zachodniej części archipelagu Wysp Nowosyberyjskich. Stacja ta leży w centrum tego regionu i odznacza się dużymi amplitudami rocznymi temperatury powietrza przekraczającymi  $32^{\circ}\text{C}$  typowymi dla klimatu kontynentalnego (Atlas Arktiki 1985, Przybylak 2003). W półroczu zimowym znajduje się pod wpływem Wyżu Syberyjskiego, co przejawia się w występowaniu stabilnej mroźnej pogody (w lutym 2002 r. zanotowano minimum temperatury wynoszące  $-49,9^{\circ}\text{C}$ ).

Dla wszystkich wymienionych stacji utworzyliśmy zbiory termicznych z jak najdłuższego okresu zawierające trzy charakterystyki: temperaturę maksymalną powietrza ( $T_{\max}$ ), temperaturę minimalną ( $T_{\min}$ ) oraz średnią dobową temperaturę powietrza ( $T_{\text{sr}}$ ). Znaczna część danych pochodzi z bazy danych ECA&D – European Climate Assessment & Dataset (Klein Tank i in. 2002). Wartości temperatury dla stacji Dikson i Ostrov Kotielnyj uzyskano także z rosyjskiej bazy CliWare (2014). Dane dla Stacji Naukowej Instytutu Geofizyki PAN w Hornsundzie zaczerpnięto z Biuletynów IMGW (Miętuś 2000-2001) oraz Biuletynów Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk (Institut of Geophysics 2001, 2003, Instytut Geofizyki PAN, 2009-2013). Wartości dobowe temperatury powietrza dla wszystkich stacji za okres od października 1999 r. do września 2014 r. zostały porównane i uzupełnione informacjami pochodzącymi z depesz synoptycznych (SYNOP) zgromadzonych w bazie OGIMET (Valor i López 2014).



Ryc. 1. Lokalizacja stacji meteorologicznych, 1 – granice Arktyki, 2 – granice regionów klimatycznych (wg Atlas Arktyki 1985 za R. Przybylakiem 2003)

Fig. 1. Location of meteorological stations, 1 – boundary of the Arctic, 2 – climatic regions (after Atlas Arktyki 1985 from R. Przybylak 2003).

Zebrane dane dobowe obejmują następujący zakres czasowy różny dla poszczególnych stacji: Danmarkshavn (styczeń 1958 – październik 2014), Hornsund (lipiec 1978 – październik 2014), Dikson (styczeń 1936 – październik 2014), Ostrov Kotelnij (styczeń 1936 – październik 2014). Informacje te są przydatne przy podejmowaniu dalszych badań z wykorzystaniem najdłuższych serii danych. Do analizy w niniejszym opracowaniu wybrano okres, dla którego dysponowano kompletnymi danymi za każdy pełny rok ze wszystkich czterech stacji. Najkrótszy ciąg pomiarów meteorologicznych, aktualnie obejmujący 35 pełnych lat (1979-2013), posiada stacja Hornsund. Przekraczająca 30 lat długość tego okresu jest zdaniem autorów w pełni wystarczająca do oceny współczesnych zmian klimatycznych. Dlatego też dalsze analizy dotyczą właśnie tego wielolecia. Dla zimy uwzględniono jeszcze dane z grudnia 1978 roku oraz ze stycznia i lutego 2014 roku.

Na podstawie średniej temperatury dobowej ( $T_{\text{sr}}$ ) obliczono średnie miesięczne, sezonowe i roczne wartości temperatury powietrza w każdym roku jak i w ciągu całego okresu 1979-2013. W poszczególnych miesiącach, sezonach i latach wyznaczono liczbę dni mroźnych ( $T_{\text{max}} < 0^{\circ}\text{C}$ ), czyli takich, kiedy przez całą dobę panowała ujemna temperatura powietrza oraz liczbę dni z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\text{min}} \leq 0^{\circ}\text{C} \wedge T_{\text{max}} > 0^{\circ}\text{C}$ ).

Następnie porównano przebiegi rocznej średniej dobowej temperatury powietrza, liczby dni mroźnych oraz liczby dni z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}\text{C}$  na poszczególnych stacjach reprezentujących różne części strefy tundrowej Arktyki. Wieloletnie zmiany rozpatrywanych charakterystyk termicznych wygładzono pięciopunktowym filtrem Gaussa. Zmiany badanych wskaźników w okresie 2008-2014 oceniono na podstawie analizy trendów w różnych okresach wieloletnich powiększanych konsekwentnie

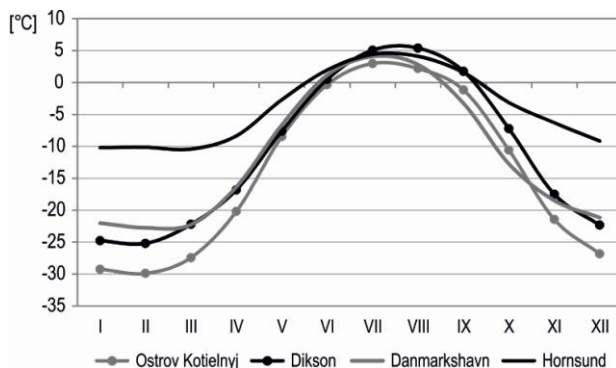
o jeden rok, a mianowicie w całym rozpatrywanym okresie pomiarów 1979-2013 (35 lat) oraz w latach 1979-2008 (30 lat), 1979-2009 (31 lat), 1979-2010 (32 lata), 1979-2011 (33 lata), 1979-2012 (34 lata). Dla niektórych charakterystyk możliwe było też wyznaczenie trendów za okres 36 ostatnich lat (1979-2014). Istotność statystyczną trendów oceniono stosując test Mann-Kendalla, zaś wielkość trendów obliczono metodą najmniejszych kwadratów i wyrażono zmianą liczby dni na 10 lat. Przy ocenie wartości trendów przyjęto poziom istotności statystycznej  $\alpha=0,05$ . Wszystkie analizy przeprowadzono w ujęciu rocznym, miesięcznym oraz sezonowym, definiując sezony jako standardowe w klimatologii okresy 3-miesięczne: zima – grudzień, styczeń, luty; wiosna – marzec, kwiecień, maj; lato – czerwiec, lipiec, sierpień; jesień – wrzesień, październik, listopad.

### 3. Przebieg roczny charakterystyk temperatury powietrza

W pierwszej części artykułu przedstawiona została struktura rocznego przebiegu temperatury powietrza na podstawie wartości średnich miesięcznych. Na tle tej standardowej charakterystyki klimatu przedstawiono różnicowanie przestrzenne i czasowe liczby dni mroźnych i z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}\text{C}$ .

#### 3.1. Średnia miesięczna i roczna temperatura powietrza

Średnia roczna temperatura powietrza różniła się na badanym obszarze Arktyki Atlantyckiej i Syberyjskiej aż o przeszło  $10^{\circ}\text{C}$ . Najwyższa była stwierdzona w SW części Spitsbergenu (Hornsund) gdzie wynosiła  $-4,0^{\circ}\text{C}$ , najniższa zaś wystąpiła na Wyspach Nowosyberyjskich ( $-14,1^{\circ}\text{C}$ ). Jej wartości na granicy obu regionów w Dikson ( $-10,8^{\circ}\text{C}$ ) były zbliżone do notowanych na wybrzeżu Grenlandii w Danmarkshavn ( $-11,4^{\circ}\text{C}$ ) znajdujących się pod wpływem chłodnego Prądu Wschodniogrenlandzkiego. Najłagodniejszy przebieg roczny temperatury powietrza zaznaczył się w Hornsundzie, gdzie amplituda roczna wynosiła zaledwie  $14,9^{\circ}\text{C}$  (ryc. 2). Wiązało się to z silnym oddziaływaniem ocieplającym wód napływających z Morza Norweskiego w głąb Arktyki oraz dużą aktywnością cyklonalną w okresie zimowym. Na wschodnim wybrzeżu Grenlandii wahania roczne temperatury dochodziły niemal do  $27^{\circ}\text{C}$ . Natomiast przekraczały one  $30^{\circ}\text{C}$  w Arktyce Syberyjskiej dochodząc na stacji Ostrov Kotelnij do  $32,9^{\circ}\text{C}$ .



Ryc. 2. Przebieg roczny temperatury powietrza [ $^{\circ}\text{C}$ ] w okresie 1979-2013 (średnie miesięczne)

Fig. 2. Annual course of air temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ] in the period 1979-2013 (monthly averages).

Najmniejsze różnice w temperaturze powietrza między stacjami notowano w lecie, kiedy kształtowały się one w granicach od 2,1°C w lipcu do 3,2°C w sierpniu. Od listopada do kwietnia przekraczały one już 10°C dochodząc do 19,5°C w lutym (Hornsund -10,4°C; Ostrov Kotielnyj -29,9°C). W okresie od lipca do września najwyższe temperatury notowano na stacji Dikson (do 5,4°C w sierpniu), natomiast od października do czerwca najcieplejszą stacją był Hornsund. Najniższe średnie temperatury powietrza przez 10 miesięcy (od listopada do sierpnia) występowały na Wyspach Nowosyberyjskich i jedynie we wrześniu i październiku najniższą temperaturę notowano na wybrzeżu Grenlandii w Danmarkshavn.

Duże zróżnicowanie zaznaczyło się w zmienności średniej temperatury miesięcznej i rocznej na poszczególnych stacjach w okresie 35 lat. Największą zmiennością odznaczała się stacja Dikson położona na granicy Arktyki Atlantyckiej i Syberyjskiej (tab. 1). Przez 9 miesięcy zakres zmian średniej miesięcznej temperatury był tu największy spośród czterech rozpatrywanych stacji, dochodząc w lutym do 22,8°C. Największa była też na tej stacji różnica temperatury średniej (45,5°C) między najzimniejszym lutym 1979 roku (-36,1°C) i najcieplejszym sierpniem roku 1995 (9,4°C). Z kolei w Hornsundzie średnia temperatura miesięczna zmieniała się od -17,9°C w styczniu 1981 roku do 5,9°C w lipcu 2013 roku (różnica wynosiła więc tylko 23,8°C). W grudniu i styczniu największym zakresem zmian temperatury średniej miesięcznej odznaczał się Hornsund (odpowiednio 16,3°C i 16,1°C), co wiązało się z dużą zmiennością cyrkulacji atmosfery w tym okresie. Natomiast w maju i we wrześniu największą zmiennością cechowała się temperatura powietrza na Wyspach Nowosyberyjskich. Najmniejszy zakres wahań (3,1°C) w rozpatrywanym okresie zaobserwowano na stacji w Hornsundzie w lipcu.

Tab. 1. Najwyższe (Nw) i najniższe (Nn) wartości średniej miesięcznej temperatury powietrza [°C] oraz zakres jej zmienności (A) na wybranych stacjach arktycznych w okresie 1979-2013

Table 1. The highest (Nw), the lowest (Nn) and the variability range (A) of average monthly air temperatures [°C] at selected Arctic stations in the period 1979-2013.

Stacja Station	Element Element	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
OK	Nw	-24,4	-25,4	-20,6	-13,5	-4,3	1,7	7,3	5,3	2,1	-5,8	-15,0	-22,7
	Nn	-33,4	-36,3	-31,1	-25,0	-11,9	-2,8	0,7	-1,3	-5,8	-17,0	-28,0	-34,1
	A	9,0	10,8	10,5	11,5	7,6	4,5	6,6	6,6	8,0	11,2	13,0	11,4
DK	Nw	-16,9	-13,3	-14,3	-7,8	-4,7	3,8	8,8	9,4	5,3	-2,9	-10,7	-12,6
	Nn	-32,3	-36,1	-29,8	-24,2	-11,5	-1,8	1,9	2,0	-2,8	-16,3	-25,3	-28,3
	A	15,3	22,8	15,5	16,4	6,8	5,6	6,9	7,5	8,0	13,4	14,6	15,7
DH	Nw	-14,6	-16,1	-18,1	-10,2	-3,3	4,1	6,0	5,3	-0,1	-5,4	-14,3	-16,1
	Nn	-27,3	-27,9	-25,9	-21,2	-9,0	-1,4	2,6	1,1	-5,9	-16,4	-22,9	-25,5
	A	12,7	11,9	7,8	11,0	5,7	5,5	3,5	4,2	5,8	11,0	8,6	9,4
H	Nw	-1,7	-0,9	-3,5	-0,3	-0,2	3,3	5,9	5,8	4,5	1,9	-0,6	-1,2
	Nn	-17,9	-16,6	-16,8	-14,2	-7,3	-0,1	2,8	2,4	-1,7	-8,0	-14,9	-17,5
	A	16,1	15,7	13,3	13,9	7,2	3,4	3,1	3,4	6,3	9,9	14,3	16,3

OK – Ostrov Kotielnyj, DK – Dikson, DH – Danmarkshavn, H – Hornsund

### 3.2. Liczba dni mroźnych

Średnia roczna liczba dni, podczas których przez całą dobę notowano ujemną temperaturę powietrza zmieniała się od 181 dni (prawie 50% dni w roku) na stacji w Hornsundzie do 265 dni (72%) na wyspach Nowosyberyjskich. Tak więc różnica między Arktyką Atlantycką i Syberyjską wynosi aż

84 dni. Na wybrzeżu wschodnim Grenlandii (Danmarkshavn 254 dni) również notowano o 73 dni mroźnych więcej niż w Hornsundzie. Na granicy między obiema częściami Arktyki (Dikson 244 dni) notowano o 10 dni mroźnych mniej niż w Danmarkshavn.

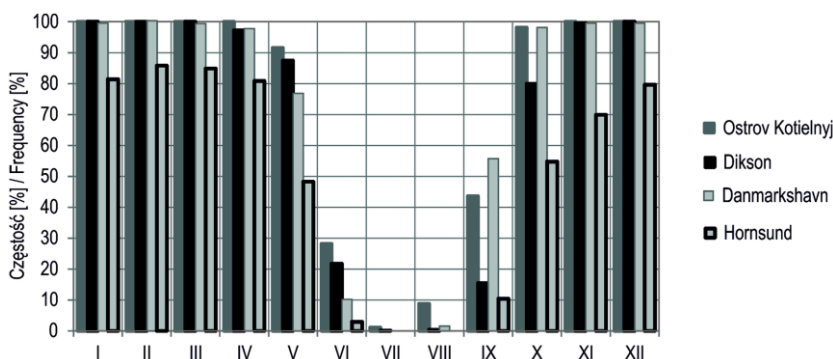
Cechą charakterystyczną klimatu Arktyki Syberyjskiej była stabilność występowania dni mroźnych w okresie od listopada do kwietnia, gdyż w tych sześciu miesiącach występowała wyłącznie ujemna temperatura powietrza (tab. 2, ryc. 3). Podobne warunki stwierdzono też na wschodnim wybrzeżu Grenlandii. Natomiast w południowo-zachodniej części Spitsbergenu w tym czasie notowano średnio od 21 dni mroźnych w listopadzie do 26 dni w marcu. W Hornsundzie w lipcu i sierpniu dni mroźne nie występowały wcale, a w czerwcu ich częstość wynosiła zaledwie 3%, po czym we wrześniu wzrosła do 10%. W maju i październiku dni mroźne stanowiły już około połowę dni w miesiącu. W Arktyce Syberyjskiej dni mroźne zdarzały się także w miesiącach letnich. Na stacji Ostrov Kotelnyj ich częstość zmieniała się o tej porze roku od około 1% w lipcu i 9% w sierpniu do 28% w czerwcu.

Tab. 2. Średnia miesięczna liczba dni mroźnych ( $T_{max} < 0^{\circ}C$ ) w okresie 1979-2013

Table 2. Average monthly number of ice days ( $T_{max} < 0^{\circ}C$ ) in the period 1979-2013.

Stacja Station	Wskaźnik Index	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
OK	Ld	31,0	28,2	31,0	30,0	28,4	8,5	0,3	2,7	13,1	30,4	30,0	31,0
	BS		0,1			0,6	0,8	0,1	0,7	1,4	0,2		
	OS		0,4			3,3	4,6	0,8	3,9	8,4	1,1		
DK	Ld	31,0	28,2	31,0	29,2	27,1	6,5	0,03	0,1	4,6	24,8	29,9	31,0
	BS		0,1		0,3	0,5	0,7	0,01	0,1	1,0	0,8	0,1	
	OS		0,5		2,0	2,8	4,2	0,2	0,5	5,8	4,5	0,5	
DH	Ld	30,9	28,2	30,8	29,3	23,8	3,1	0	0,5	16,7	30,4	29,9	30,9
	BS	0,1	0,1	0,1	0,2	0,8	0,5		0,2	0,8	0,2	0,1	0,1
	OS	0,5	0,5	0,5	1,5	4,6	3,1		1,0	4,5	1,4	0,4	0,5
H	Ld	25,2	24,0	26,3	24,3	15,0	0,9	0	0	3,1	17,0	21,0	24,7
	BS	0,9	0,6	0,7	0,8	0,8	0,3			0,7	0,9	1,1	0,8
	OS	5,1	3,5	4,4	5,0	4,6	1,5			3,9	5,3	6,4	4,9

OK – Ostrov Kotelnyj, DK – Dikson, DH – Danmarkshavn, H – Hornsund, Ld – liczba dni – number of days, BS – błąd standardowy – standard error, OS – odchylenie standardowe – standard deviation, 0 – brak dni mroźnych – absence of ice days



Ryc. 3. Przebieg roczny średniej częstości względnej występowania dni mroźnych ( $T_{max} < 0^{\circ}C$ ) w okresie 1979-2013

Fig. 3. Annual course of the average ice days ( $T_{max} < 0^{\circ}C$ ) relative frequency in the period 1979-2013.

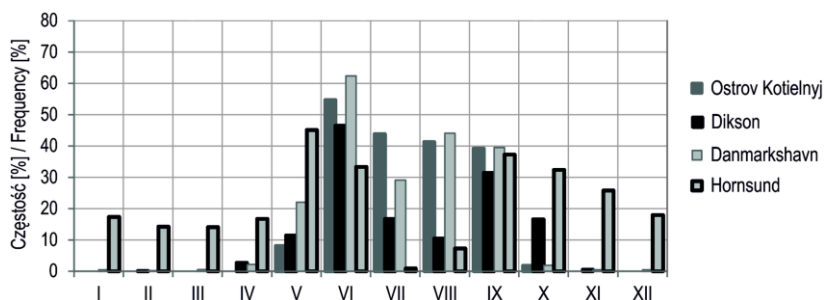
### 3.3. Liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C

Średnia roczna liczba dni, podczas których temperatura powietrza oscylowała wokół 0°C, wykazywała największą różnicę (38 dni) wśród czterech rozpatrywanych punktów między stacją Dikson, gdzie zaobserwowano tylko 42 takich dni (11% dni w roku) i Hornsundem, gdzie zanotowano ich aż 80 (22%). Jeszcze więcej (96 dni) stwierdzono (Łupikasza i in. 2013) na stacji Bjørnøya położonej na południe od Hornsundu, dlatego też różnica w liczbie dni z przejściem temperatury przez 0°C między Wyspą Niedźwiedzią była jeszcze większa (54 dni). Natomiast we wnętrzu Spitsbergenu na stacji Svalbard Lufthavn koło Longyearbyen ich liczba wyniosła 63. Zbliżone wartości zanotowano na wschodnim wybrzeżu Grenlandii (Danmarkshavn 62 dni) i na Wyspach Nowosyberyjskich (Ostrov Kotelnyj 58 dni). Na tej ostatniej stacji przejścia temperatury przez 0°C zdarzały się tylko od maja do października, gdyż w pozostałych miesiącach panowała nieprzerwanie pogoda mroźna związana z oddziaływaniem wyżu Syberyjskiego (tab. 3, ryc. 4).

Tab. 3. Średnia liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C ( $T_{min} \leq 0^{\circ}C < T_{max} > 0^{\circ}C$ ) w okresie 1979-2013  
Table 3. Average number of days with freeze-thaw events ( $T_{min} \leq 0^{\circ}C < T_{max} > 0^{\circ}C$ ) in the period 1979-2013.

Stacja Station	Wskaźnik Index	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
OK	Ld	0	0	0	0	2,5	16,4	13,6	12,8	11,7	0,5	0	0
	BS					0,5	0,7	1,3	1,2	1,0	0,2		
	OS					3,1	4,0	7,5	7,2	5,8	1,0		
DK	Ld	0	0	0	0,8	3,5	13,9	5,2	3,3	9,4	5,1	0,1	0
	BS				0,3	0,4	1,0	0,7	0,7	0,8	0,6	0,1	
	OS				1,9	2,5	5,6	4,3	3,9	4,6	3,8	0,5	
DH	Ld	0,1	0,1	0,2	0,7	6,8	18,7	9,0	13,7	11,9	0,6	0,1	0,1
	BS	0,1	0,01	0,1	0,2	0,8	0,7	0,8	1,1	0,7	0,2	0,1	0,1
	OS	0,5	0,2	0,5	1,5	4,5	4,3	4,5	6,2	3,9	1,4	0,4	0,5
H	Ld	5,4	4,0	4,4	5,0	14,0	10,0	0,3	2,3	11,2	10,0	7,7	5,6
	BS	0,8	0,5	0,7	0,7	0,7	1,0	0,1	0,4	0,7	0,7	0,8	0,7
	OS	4,5	3,2	3,9	4,0	4,0	5,7	0,6	2,3	4,3	4,1	5,0	4,2

OK – Ostrov Kotelnyj, DK – Dikson, DH – Danmarkshavn, H – Hornsund, Ld – liczba dni – number of days, BS – błąd standardowy – standard error, OS – odchylenie standardowe – standard deviation, 0 – brak dni z przejściem temperatury przez 0°C – absence of days with freeze-thaw events



Ryc. 4. Przebieg roczny średniej częstości względnej występowania dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C ( $T_{min} \leq 0^{\circ}C < T_{max} > 0^{\circ}C$ ) powietrza w okresie 1979-2013

Fig. 4. Annual course of the average relative frequency of days with freeze-thaw events ( $T_{min} \leq 0^{\circ}C < T_{max} > 0^{\circ}C$ ) in the period 1979-2013.

W Hornsundzie dni z  $T_{min} \leq 0^{\circ}C$  i  $T_{max} > 0^{\circ}C$  pojawiały się w ciągu całego roku. Przebieg roczny częstości ich występowania jest bimodalny (ryc. 4) z głównym maksimum wiosennym w maju (45% dni) i wtórnym jesiennym we wrześniu (37%). W lipcu ich częstość spada do 1%, w sierpniu wzrasta do 7%, ale w czerwcu wynosi jeszcze aż 33%. W półroczu zimowym waha się w granicach od 14% dni w lutym i marcu do 26% w listopadzie i jest związana z odwilżami spowodowanymi napływem cieplejszego powietrza z Morza Norweskiego. Na wybrzeżu Grenlandii bardzo wysoką częstością (62%) występowania dni z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}C$  odznacza się czerwiec (tab. 2, ryc. 4), a drugorzędne maksimum przypada na sierpień (44%). Na Wyspach Nowosyberyjskich także najwięcej tych dni notowano w czerwcu (55%) a ich częstość stopniowo zmniejszała się w następnych miesiącach od 44% w lipcu do 39% we wrześniu. W październiku dni takie pojawiały się już sporadycznie (2%), a na początku okresu ich występowania w maju ich częstość wynosiła 8%. Maksimum czerwcowe (46%) i drugorzędne wrześniowe (31%) było także charakterystyczne w strefie przejściowej między Arktyką Atlantycką i Syberyjską na stacji Dikson.

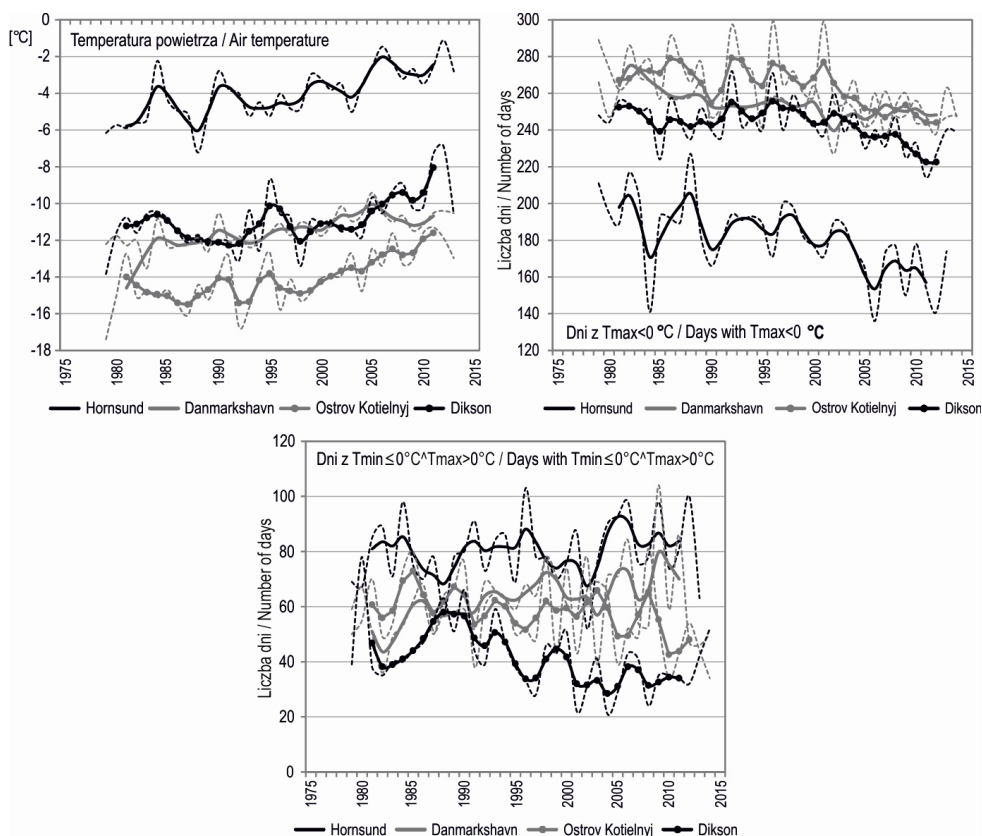
#### 4. Wieloletnia zmienność i trendy rocznych wartości wskaźników termicznych

W rozpatrywanym okresie 35 lat (1979-2013) zaznaczyły się bardzo duże zmiany średniej rocznej temperatury powietrza jak też rozpatrywanych wskaźników termicznych. Największe wahania średniej rocznej temperatury wynoszące  $6,8^{\circ}C$  stwierdzono na granicy Arktyki Atlantyckiej i Syberyjskiej w Dikson, od  $-13,7^{\circ}C$  w najchłodniejszym roku 1979 do  $-6,9^{\circ}C$  w najcieplejszym roku 2012 (ryc. 5). Rok 1979 należał także do najchłodniejszych ( $-17,9^{\circ}C$ ) na Wyspach Nowosyberyjskich, gdzie najwyższa temperatura została zmierzona w roku 2011 ( $-11,3^{\circ}C$ ). Zakres zmian ( $6,1^{\circ}C$ ) był identyczny jak w środkowej części Arktyki Atlantyckiej w Hornsundzie, gdzie temperatura zmieniała się od  $-7,2^{\circ}C$  w roku 1988 do  $-1,1^{\circ}C$  w roku 2012. Najmniejszymi wahaniami średniej rocznej temperatury ( $4,1^{\circ}C$ ) odznaczało się wschodnie wybrzeże Grenlandii. Zmiany temperatury były ponadto niesynchroniczne z przebiegiem temperatury na pozostałych stacjach. W Danmarkshavn omawiana temperatura zmieniała się od  $-13,5^{\circ}C$  w roku 1983 do  $-9,4^{\circ}C$  w roku 2005.

W latach 1979-2013 na całym rozpatrywanym obszarze Arktyki Atlantyckiej i Syberyjskiej zaznaczył się bardzo wyraźny i istotny statystycznie trend wzrostowy średniej rocznej temperatury powietrza wynoszący  $+1,0^{\circ}C/10$  lat zarówno w Hornsundzie jak i na Wyspach Nowosyberyjskich oraz  $+0,8^{\circ}C/10$  lat w Danmarkshavn i oraz  $+0,8^{\circ}C/10$  lat w Hornsundzie  $+0,6^{\circ}C/10$  lat w Dikson (tab. 4). Najsilniejszy wzrost temperatury przypadł na lata 1998-2012, za wyjątkiem Danmarkshavn, gdzie w tym okresie przebieg zmian temperatury był łagodniejszy (ryc. 5). Świadczy to o kontynuacji i nasileniu współczesnego ocieplenia Arktyki, którego początek został przez R. Przybylaka (2007) określony na lata 1994-1995. Podane trendy są już znacznie wyższe od obserwowanych w okresie 1976-2005, które średnio w Arktyce Atlantyckiej wynosiły wtedy  $+0,59^{\circ}C/10$  lat, a w Arktyce Syberyjskiej były mniejsze, rzędu  $+0,48^{\circ}C/10$  lat (Przybylak 2007). Ocieplenie to w znacznej mierze zostało spowodowane przyczynami naturalnymi (Styszyńska 2005, Przybylak 2007), głównie cyrkulacyjnymi. Dane z tab. 4 wskazują na stabilność trendów średniej rocznej temperatury w okresach od 1979-2008 do 1979-2013.

Współczesne ocieplenie Arktyki szczególnie wyraźnie wywarło wpływ na znaczne zmniejszenie liczby dni mroźnych, zwłaszcza w Arktyce Atlantyckiej, gdzie w Hornsundzie trend spadkowy w latach 1979-2013 dochodził do  $-12$  dni/na 10 lat (tab. 4). Także na Wyspach Nowosyberyjskich tendencja spadkowa wartości omawianego wskaźnika dochodziła do  $-8,3$  dnia na dekadę w okresie 1979-2013





Ryc. 5. Wieloletnia zmienność średniej rocznej temperatury powietrza, liczby dni mroźnych ( $T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$ ) oraz liczby dni z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}\text{C}$  ( $T_{min} \leq 0^{\circ}\text{C} \wedge T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ ), pogrubione linie – przebieg wygładzony filtrem Gaussa (5-pkt)

Fig. 5. Long-term variability of annual average air temperature, number of ice days ( $T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$ ) and number of days with freeze-thaw events, thick lines – course of the thermal indices smoothed with Gauss filter of 5 pt.

i -9,0 dni na dekadę w latach 1979-2012. Najmniejsze zmiany stwierdzono na stacji Dikson (-5,1 dnia na 10lat) oraz w Danmarkshavn (-5,7 dnia na 10lat). Najsilniejsza tendencja spadkowa przypadła na ostatnie lata 2002-2013, przy jednoczesnym zmniejszeniu wahań z roku na rok (ryc. 5). Wcześniej występowały znaczne fluktuacje, na przykład na stacji Ostrov Kotielnyj co kilka lat liczba dni mroźnych zmieniała się w granicach od około 240 do 299 dni w roku. W całym rozpatrywanym okresie liczba dni mroźnych na tej stacji zmieniała się w zakresie 62 dni, od 237 dni w roku 2007 do 299 dni w roku 1996. Jednak największy zakres zmian (91 dni) zaznaczył się w Hornsundzie, od 136 dni w roku 2006 do 227 dni w roku 1988. Zakres zmian na stacji Dikson (od 214 dni w roku 2011 do 272 dni w roku 1992) był podobny do tego w Danmarkshavn (od 227 dni w roku 2002 do 286 dni w roku 1982). Przy badaniu typów pogody na Wyspach Nowosyberyjskich (Dobrowolska 2013) stwierdzono także ich mniejszą zmienność niż na Spitsbergenie (Ferdynus 2013).

Zupełnie odmiennie w obu regionach Arktyki kształtowała się zmienność rocznej liczby dni z przejściem temperatury powietrza przez  $0^{\circ}\text{C}$  (ryc. 5, tab. 4). W Arktyce Atlantyckiej następował wzrost liczby tych dni w tempie od +2,0 dni/10 lat w Hornsundzie do +4,0 dni/10 lat w Danmarkshavn. Nato-

Tab. 4. Trendy rocznej temperatury powietrza ( $^{\circ}\text{C}/10\text{lat}$ ) i wskaźników termicznych (liczba dni/10 lat) w okresie 1979-2014

Table 4. Trends in the annual air temperature ( $^{\circ}\text{C}/10\text{yrs}$ ) and thermal indices (number of days/10 yrs) in the period 1979-2014.

Stacja Station	Wskaźnik Index	Wielkość i istotność statystyczna trendów w wieloletnich Magnitude and statistical significance of trends in the long-term periods						
		1979-2008	1979-2009	1979-2010	1979-2011	1979-2012	1979-2013	1979-2014
OK	T $^{\circ}\text{C}$	+0,8**	+0,8**	+0,9***	+1,0***	+1,0***	+1,0***	-
	LdM	-7,5*	-7,2*	-7,8**	-8,3**	-9,0***	-8,3**	-8,4**
	LdP	-0,7	-0,9	-2,3	-2,9	-2,9	-3,3	-4,1
DK	T $^{\circ}\text{C}$	+0,7	+0,6	+0,6*	+0,6**	+0,6**	+0,6**	-
	LdM	-2,2	-3,3	-3,7*	-5,0*	-5,4**	-5,2**	-5,0**
	LdP	-6,9	-6,7*	-6,5*	-6,5*	-6,3**	-5,7*	-4,8
DH	T $^{\circ}\text{C}$	+1,0***	+0,9***	+0,8***	+0,8***	+0,8***	+0,8***	-
	LdM	-6,6***	-6,4***	-5,8***	-5,7***	-5,9***	-5,7***	-5,6***
	LdP	+4,4*	+6,6**	+5,8*	+6,5**	+5,2*	+4,0	+3,1
H	T $^{\circ}\text{C}$	+1,0***	+1,0***	+0,9***	+0,9***	+1,0***	+1,0***	-
	LdM	-10,0***	-11,2***	-10,5***	-11,2***	-12,3***	-11,7***	-
	LdP	+2,0	+3,0	+2,4	+2,2	+3,1	+2,0	-

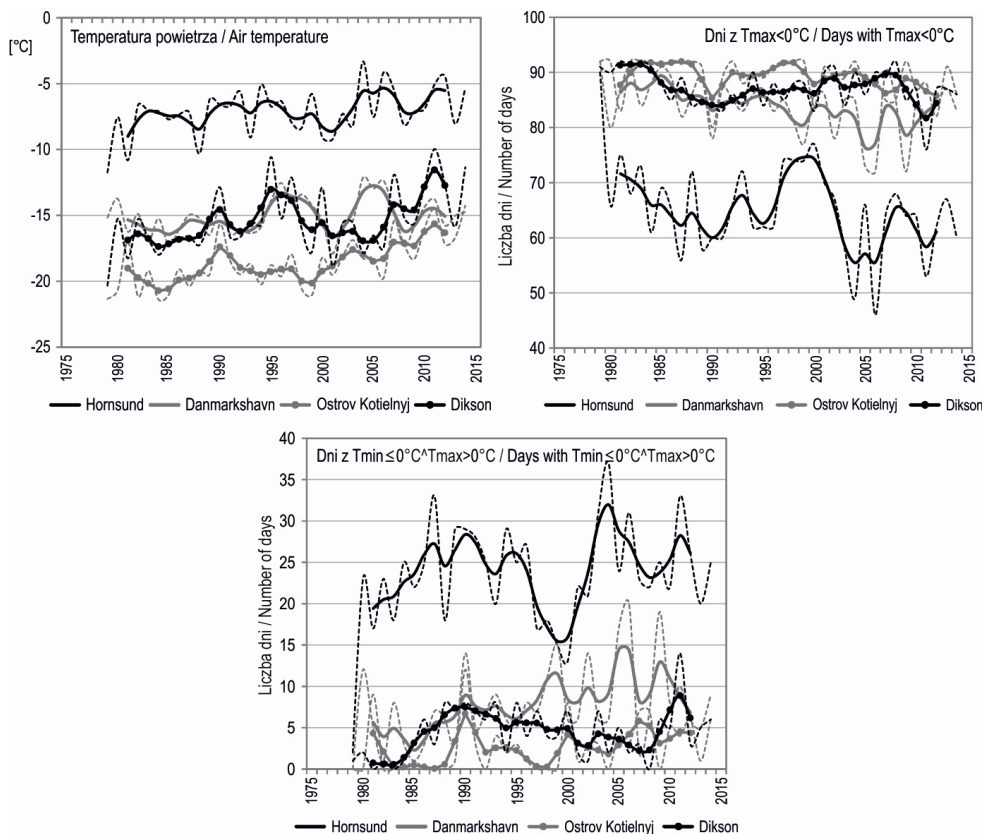
OK – Ostrov Kotelnij, DK – Dikson, DH – Danmarkshavn, H – Hornsund

T  $^{\circ}\text{C}$  – temperatura powietrza – air temperature, LdM – liczba dni z  $T_{\text{max}} < 0^{\circ}\text{C}$  – number of days with  $T_{\text{max}} < 0^{\circ}\text{C}$ , LdP – liczba dni z  $T_{\text{min}} \leq 0^{\circ}\text{C} \wedge T_{\text{max}} > 0^{\circ}\text{C}$  – number of days with  $T_{\text{min}} \leq 0^{\circ}\text{C} \wedge T_{\text{max}} > 0^{\circ}\text{C}$ , istotność statystyczna – statistical significance: \* –  $\alpha \leq 0,05$ ; \*\* –  $\alpha \leq 0,01$ ; \*\*\* –  $\alpha \leq 0,001$

miast w Arktyce Syberyjskiej obserwowano tendencję spadkową od -3,3 dni/10 lat na Wyspach Nowosyberyjskich do -5,7 dni/10 lat w Dikson. Największy zakres zmian tego wskaźnika (68 dni) od 367 dni w roku 1982 do 104 dni w roku 2009 stwierdzono na wybrzeżu Grenlandii (Danmarkshavn). Natomiast najmniejszą zmiennością (47 dni) rocznej liczby wyróżniała się stacja Ostrov Kotelnij (od 34 dni w roku 2010 do 81 dni w roku 2008), zapewne z tego powodu, że przez 6 miesięcy w sposób trwały występowały tam wyłącznie dni mroźne. W Hornsundzie liczba dni z wahaniami temperatury wokół  $0^{\circ}\text{C}$  zmieniała się od 52 dni w roku 2002 do 103 dni w roku 1996, a więc zakres zmian wynosił 51 dni.

## 5. Wieloletnia zmienność i trendy wskaźników termicznych wiosną

Na wiosnę średnia temperatura powietrza najsilniej zmieniała się w Arktyce Syberyjskiej. Na Wyspach Nowosyberyjskich trend wynosił  $+1,1^{\circ}\text{C}/10\text{lat}$  (tab. 5), z wahaniami od  $-21,4^{\circ}\text{C}$  w roku 1984 do  $-14,6^{\circ}\text{C}$  w roku 2011 (ryc. 6). Znaczny wzrost temperatury, niemal o  $5^{\circ}\text{C}$ , zaznaczył się w ostatnich latach (2000-2014). Zakres zmian w okresie 35 lat sięgał  $6,8^{\circ}\text{C}$ , ale największą zmiennością ( $10,4^{\circ}\text{C}$ ) wyróżniała się stacja Dikson położona na granicy Arktyki Syberyjskiej i Atlantycznej. Na tej stacji temperatura wiosny zmieniała się od  $-20,3^{\circ}\text{C}$  w roku 1979 do  $-10,0^{\circ}\text{C}$  w roku 2011. Najmniejszymi wahaniami średniej temperatury wiosny ( $5,8^{\circ}\text{C}$ ) jak też najsłabszym trendem wzrostowym ( $+0,3^{\circ}\text{C}/10\text{lat}$ ) odznaczało się wschodnie wybrzeże Grenlandii. W Hornsundzie omawiana charakterystyka zmieniała się od  $-11,7^{\circ}\text{C}$  w roku 1979 do  $-3,3^{\circ}\text{C}$  w roku 2004, przy trendzie dodatnim  $+0,7^{\circ}\text{C}/10\text{lat}$ , który od 7 lat nie ulegał istotnym zmianom. We wcześniejszym okresie 1976-2005 średnio w Arktyce Atlantycznej trend temperatury wiosny był mniejszy, wynosił od  $+0,60^{\circ}\text{C}/10\text{lat}$  do  $+0,69^{\circ}\text{C}/10\text{lat}$  w Arktyce Syberyjskiej (Przybylak 2007).



Ryc. 6. Wieloletnia zmienność średniej temperatury powietrza, liczby dni mroźnych ( $T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$ ) oraz dni z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}\text{C}$  wiosną ( $T_{min} \leq 0^{\circ}\text{C} \wedge T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ ), pogrubione linie – przebieg wygładzony filtrem Gaussa (5 pkt)

Fig. 6. Long-term variability of average air temperature, number of ice days ( $T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$ ) and number of days with freeze-thaw events in spring, thick lines – course of the thermal indices smoothed with Gauss filter of 5 pt.

Trend spadkowy liczby dni z mrozem ( $-2,9$  dni/10 lat) był najsilniejszy w Hornsundzie. Tu też obserwowano największy zakres zmian tego wskaźnika (44 dni) od 46 dni w roku 2006 do 90 dni w roku 1979. W Arktyce Syberyjskiej na wiosnę panowała jeszcze pogoda mroźna i na Wyspach Nowosyberyjskich liczba dni mroźnych zmieniała się zaledwie w zakresie 12 dni, dzięki zmniejszeniu się ich liczby do 80 na wiosnę 1990 roku. Natomiast przez 14 wiosen wszystkie dni były mroźne.

W Arktyce Atlantycznej obserwowano znaczący trend wzrostowy liczby dni z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}\text{C}$ , od  $+1,7$  dni/10 lat w Hornsundzie do  $1,9$  dni/10 lat w Danmarkshavn. Na wschodnim wybrzeżu Grenlandii okres 1998-2013 wyróżniał się zwiększoną liczbą omawianych dni przy jednoczesnym zmniejszeniu liczby dni mroźnych (ryc. 5). W Hornsundzie przeciwne tendencje przebiegu obu tych wskaźników przypadają na nieco późniejszy okres 2004-2013. Zakres zmian liczby dni z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}\text{C}$  był największy w Hornsundzie (35 dni) od 2 dni na wiosnę roku 1979 do 37 dni w roku 2004.

Tab. 5. Trendy temperatury powietrza (°C/10lat) i wskaźników termicznych (liczba dni/10lat) wiosną w okresie 1979-2014

Table 5. Trends in air temperature (°C/10yrs) and thermal indices (number of days/10yrs) in spring in the period 1979-2014.

Stacja Station	Wskaźnik Index	Wielkość i istotność statystyczna trendów w wieloletniach Magnitude and statistical significance of trends in the long-term periods						
		1979-2008	1979-2009	1979-2010	1979-2011	1979-2012	1979-2013	1979-2014
OK	T °C	+0,9**	+0,8**	+0,9**	+1,1***	+1,1***	+1,1***	+1,2***
	LdM	-1,0*	-0,8*	-0,8*	-0,9*	-1,2**	-1,0**	-1,1**
	LdP	+1,0*	+0,8*	+0,8*	+0,9*	+1,0**	+0,8*	+0,9**
DK	T °C	+0,7	+0,7	+0,8	+1,0*	+1,1**	+1,0*	+1,1**
	LdM	-0,4	-0,5	-0,5	-1,1	-1,0	-1,0	-0,9
	LdP	+0,4	+0,4	+0,5	+1,0	+0,8	+0,8	+0,8
DH	T °C	+0,5	+0,4	+0,4	+0,4	+0,4	+0,3	+0,3
	LdM	-2,5*	-3,0**	-2,7**	-2,6**	-2,3**	-2,0*	-1,9**
	LdP	+2,4*	+2,9**	+2,6**	+2,5**	+2,2**	+1,9*	+1,8*
H	T °C	+0,8	+0,7	+0,7	+0,7	+0,8*	+0,7	+0,7*
	LdM	-3,2	-3,1	-2,9	-3,3	-3,2	-2,9	-2,9
	LdP	+2,1	+2,0	+1,8	+2,1	+2,1	+1,7	+1,7

OK – Ostrov Kotielnyj, DK – Dikson, DH – Danmarkshavn, H – Hornsund, T °C – temperatura powietrza – air temperature, LdM – liczba dni z Tmax<0°C – number of days with Tmax<0°C, LdP – liczba dni z Tmin≤0°C^Tmax>0°C, Statystyczna istotność – statistical significance: \* – α≤0,05; \*\* – α≤0,01; \*\*\* – α≤0,001

## 6. Wieloletnia zmienność i trendy wskaźników termicznych latem

Latem trendy średniej temperatury powietrza były nieco mniejsze niż na wiosnę. W Arktyce Syberyjskiej trend dodatni wynosił +0,6°C/10 lat (tab. 6). Na stacji Ostrov Kotielnyj średnia temperatura lata zmieniała się w zakresie 4,5°C, od -0,7°C w roku 1992 do 3,7°C w roku 2011 (ryc. 7). Najmniejszym trendem odznaczała się stacja w Hornsundzie (+0,3°C/10 lat), również przy najmniejszym zakresie wahań (3,1°C) od 1,9°C latem roku 1982 do 5,0°C w najcieplejszym lecie roku 2013. Wcześniejsze trendy temperatury lata w okresie 1976-2005 były mniejsze w Arktyce Syberyjskiej (+0,29°C/10 lat), natomiast większe (+0,45°C/10 lat) w Arktyce Atlantyckiej (Przybylak 2007).

Na Wyspach Nowosyberyjskich zaznaczył się znaczny trend malejący liczby dni mroźnych w lecie (-3,1 dni/10 lat), ze zmiennością rzędu 27 dni od 1 dnia w roku 2012 do 28 dni w lecie roku 1996 (ryc. 7). W Arktyce Atlantyckiej dni mroźne w lecie występowały rzadko i na przykład w Hornsundzie najwyższa ich liczba, 6 dni, została zanotowana w lecie 1983 roku (wyłącznie w czerwcu). Na 35 lat przez 22 sezony letnie dni mroźne nie występowały wcale.

W Arktyce Syberyjskiej w lecie stwierdzono bardzo silny trend spadkowy liczby dni z przejściem temperatury przez 0°C przekraczający -6 dni/10 lat (tab. 6). W ostatnich latach stwierdzono nasilenie tego trendu od -3,6 dni/10 lat w okresie 1979-2008 do -7,0 dni/10 lat w okresie 1979-2014. Duże fluktuacje tego wskaźnika (52 dni) obserwowano na Wyspach Nowosyberyjskich, od 15 dni w roku 2010 do 67 dni w roku 1998. W Arktyce Atlantyckiej duże różnice były widoczne między wschodnim wybrzeżem Grenlandii i Spitsbergenem (tab. 6, ryc. 7). W Danmarkshavn zaznaczył się niewielki trend wzrostowy liczby tych dni (+0,5 dni/10 lat), ale z bardzo znacznym zakresem wahań (55 dni) od 22 dni w roku 2003 do 77 dni w roku 2009. Natomiast w Hornsundzie trend był ujemny, ale prawie

dwukrotnie mniejszy niż w Arktyce Syberyjskiej (-3,3 dni/10 lat) i bardzo stabilny. Zakres wahań (32 dni) należał natomiast do najmniejszych wśród czterech rozpatrywanych stacji, od 1 dnia w lecie roku 2002 do 33 dni w roku 1982.

Tab. 6. Trendy temperatury powietrza (°C/10lat) i wskaźników termicznych (liczba dni/10lat) latem w okresie 1979-2014

Table 6. Trends in air temperature (°C/10yrs) and thermal indices (number of days/10yrs) in summer in the period 1979-2014.

Stacja Station	Wskaźnik Index	Wielkość i istotność statystyczna trendów w wieloletnich Magnitude and statistical significance of trends in the long-term periods						
		1979-2008	1979-2009	1979-2010	1979-2011	1979-2012	1979-2013	1979-2014
OK	T °C	+0,5	+0,4	<b>+0,5*</b>	<b>+0,6**</b>	<b>+0,6**</b>	<b>+0,6**</b>	<b>+0,6**</b>
	LdM	-2,4	-2,5	<b>-2,7*</b>	<b>-2,9*</b>	<b>-3,2**</b>	<b>-3,1**</b>	<b>-2,9**</b>
	LdP	-3,6	-3,8	-5,1	<b>-6,0*</b>	<b>-5,9*</b>	<b>-6,1**</b>	<b>-7,0**</b>
DK	T °C	<b>+0,6*</b>	<b>+0,6**</b>	<b>+0,6**</b>	<b>+0,6**</b>	<b>+0,7***</b>	<b>+0,6***</b>	<b>+0,5**</b>
	LdM	-0,1	-0,2	-0,4	-0,8	-1,0	-1,0	-0,9
	LdP	<b>-7,2**</b>	<b>-6,6**</b>	<b>-6,9***</b>	<b>-7,1***</b>	<b>-7,0***</b>	<b>-6,5***</b>	<b>-5,7***</b>
DH	T °C	<b>+0,5*</b>	+0,4	<b>+0,4*</b>	<b>+0,3*</b>	<b>+0,4*</b>	<b>+0,4**</b>	<b>+0,4**</b>
	LdM	<b>-1,7*</b>	-1,6	-1,4	-1,4	<b>-1,5*</b>	<b>-1,5*</b>	<b>-1,4*</b>
	LdP	-0,4	+1,9	+1,5	+2,3	+1,1	+0,4	-0,4
H	T °C	<b>+0,3**</b>	<b>+0,3**</b>	<b>+0,3**</b>	<b>+0,3**</b>	<b>+0,3**</b>	<b>+0,3**</b>	<b>+0,3***</b>
	LdM	<b>-0,7*</b>	<b>-0,7*</b>	<b>-0,7*</b>	<b>-0,7**</b>	<b>-0,7**</b>	<b>-0,7**</b>	<b>-0,7**</b>
	LdP	-3,9	<b>-3,7*</b>	-3,0	<b>-3,1*</b>	<b>-3,1*</b>	<b>-3,3*</b>	<b>-3,5**</b>

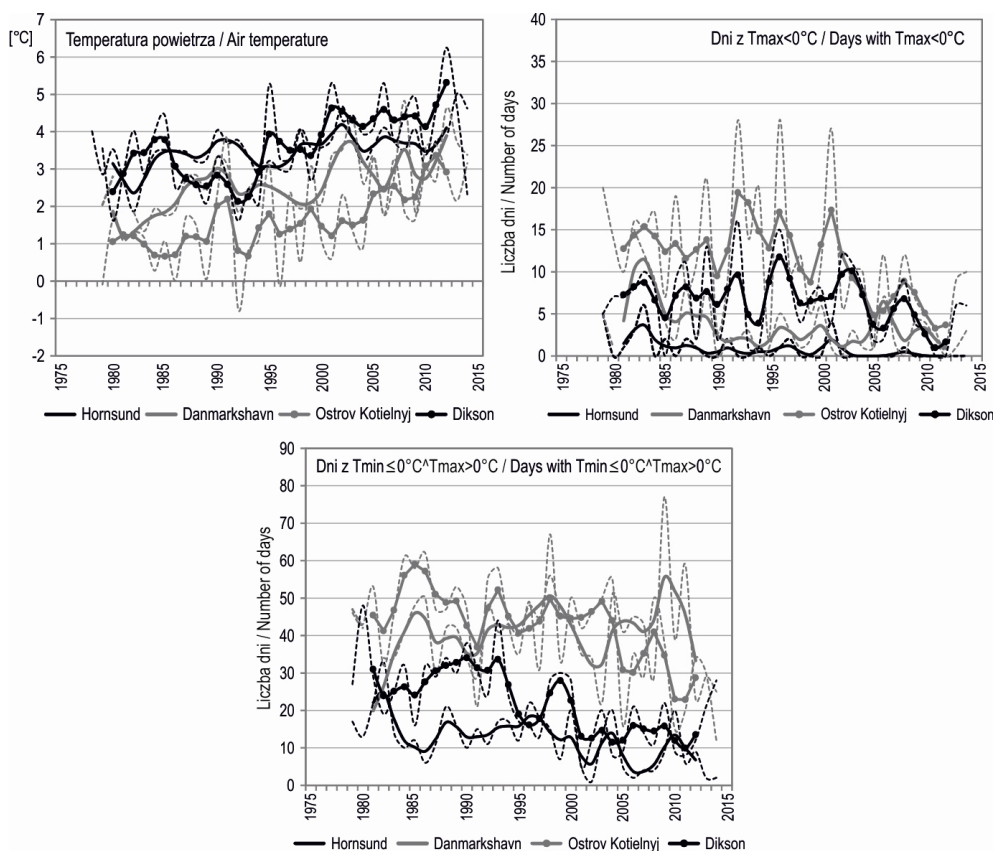
OK – Ostrov Kotielynij, DK – Dikson, DH – Danmarkshavn, H – Hornsund,

T [°C] – temperatura powietrza – air temperature, LdM – liczba dni z Tmax<0°C – number of days with Tmax<0°C, LdP – liczba dni z Tmin≤0°C^Tmax>0°C – number of days with Tmin≤0°C^Tmax>0°C, statystyczna istotność – statistical significance: \* – α≤0,05; \*\* – α≤0,01; \*\*\* – α≤0,001

## 7. Wieloletnia zmienność i trendy wskaźników termicznych jesienią

W jesieni obserwowano także znaczący wzrost temperatury powietrza. Na trzech stacjach był on większy niż na wiosnę i latem (tab. 7). Tylko na stacji Dikson wynosił on +0,8°C/10 lat, a więc był mniejszy niż na wiosnę (+1,0°C/10 lat). Ale zakres zmian średniej temperatury jesieni na tej stacji był największy (9,7°C), od -13,8°C w roku 1998 do -4,1°C w roku 2011 (ryc. 8). Natomiast maksymalny trend dodatni (+1,6°C/10 lat) stwierdzono na Wyspach Nowosyberyjskich, gdzie jesienią średnia temperatura zmieniała się od -16,9°C w roku 1979 do -7,0°C w roku 2012. W Arktyce Atlantyckiej w Hornsundzie, przy trendzie wynoszącym +0,9°C/10 lat, średnia temperatura jesieni wahała się od -7,9°C w roku 1988 do wartości dodatnich +0,8°C w jesieni 2000 roku. W jesieni w latach 1976-2005 (Przybylak 2007) trendy były znacznie mniejsze, od +0,53°C/10 lat w Atlantyckiej części Arktyki do +0,59°C/10 lat w regionie syberyjskim.

Liczba dni mroźnych w jesieni wszędzie wykazywała duży trend ujemny, od -2,4 dni/10 lat na wschodnim wybrzeżu Grenlandii do -4,2 dni/10 lat na Wyspach Nowosyberyjskich (ryc. 8). Zakres zmian liczby dni mroźnych był na trzech stacjach podobny (od 31 dni w Danmarkshavn do 34 dni na stacji Ostrov Kotielynij). Jedyne w Hornsundzie był większy (47 dni), od 21 dni w roku 2009 do 68 dni w roku 1988.



Ryc. 7. Wieloletnia zmienność średniej temperatury powietrza, liczby dni mroźnych ( $T_{max} < 0^{\circ}$ ) oraz dni z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}$ C ( $T_{min} \leq 0^{\circ}$ C  $\wedge$   $T_{max} > 0^{\circ}$ C) latem, pogrubione linie – przebieg wygładzony filtrem Gaussa (5 pkt)

Fig. 7. Long-term variability of average air temperature, number of ice days ( $T_{max} < 0^{\circ}$ C) and number of days with freeze-thaw events in summer, thick lines – course of the thermal indices smoothed with Gauss filter of 5 pt.

Liczba dni z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}$ C wykazywała trend dodatni  $+1,9$  dni/10 lat jedynie na Wyspach Nowosyberyjskich (tab. 7). Na stacji tej nie stwierdzono takich dni jesienią 2001 roku, a najwyższą ich liczbę 24 dni zanotowano w roku 2008. W Hornsundzie liczba tych dni wykazywała duże fluktuacje od 13 dni w roku 2010 do 43 dni w roku 1979 i 2009, ale bez żadnego trendu.

## 8. Wieloletnia zmienność i trendy wskaźników termicznych w zimie

Średnia temperatura zimy wykazywała największy trend wzrostowy ( $+2,0^{\circ}$ C/10 lat) w Hornsundzie (tab. 8). Zakres zmian wynosił  $12,6^{\circ}$ C, przy fluktuacjach średniej temperatury od  $-15,9^{\circ}$ C w zimie 1988/1989 do  $-3,4^{\circ}$ C zimą 2011/2012 (ryc. 9). Najbardziej ustabilizowana była bardzo niska temperatura zimy na Wyspach Nowosyberyjskich, przy niewielkim trendzie dodatnim wynoszącym  $+0,5^{\circ}$ C na 10 lat. Ostatnio trend ten nieco się powiększył od  $+0,3^{\circ}$ C/10 lat w okresie 1979-2008 do  $+0,6^{\circ}$ C na 10 lat w okresie 1979-2014. Zakres zmian średniej temperatury tej pory roku na stacji Ostrov

Kotielnyj wynosił tylko 6,5°C, od -32,4°C zimą 1978/1979 do -25,9°C w zimie 2005/2006. Skrajnie ciepła zima w Dikson wystąpiła w latach 2011/2012 (-14,4°C), a najchłodniejsza w 1978/1979 (-32,8°C). W tej sytuacji na tej stacji odnotowano największy zakres zmian średniej temperatury zimy sięgający aż 18,4°C, a więc trzy razy większy niż na Wyspach Nowosyberyjskich. Na wschodnim wybrzeżu Grenlandii trend dodatni średniej temperatury zimy wynosił +0,8°C/10 lat, z wahaniami rzędu 7,6°C, od -25,2°C w zimie 1988/1989 do -17,6°C w czasie zimy 2004/2005. W latach 1976-2005 również zaznaczyła się duża różnica w trendach średniej temperatury zimy (Przybylak 2007) między Arktyką Atlantycką (+0,70°C/10 lat) i Syberyjską (+0,08°C/10 lat).

Tab. 7. Trendy temperatury powietrza (°C/10lat) wskaźników termicznych (liczba dni/10 lat) jesienią w okresie 1979-2014

Table 7. Trends in air temperature (°C/10yrs) and thermal indices (number of days/10yrs) in autumn in the period 1979-2014.

Stacja Station	Wskaźnik Index	Wielkość i istotność statystyczna trendów w wieloleciach Magnitude and statistical significance of trends in the long-term periods					
		1979-2008	1979-2009	1979-2010	1979-2011	1979-2012	1979-2013
OK	T °C	<b>+1,3**</b>	<b>+1,4***</b>	<b>+1,5***</b>	<b>+1,5***</b>	<b>+1,6***</b>	<b>+1,6***</b>
	LdM	<b>-4,1*</b>	<b>-3,9*</b>	<b>-4,3*</b>	<b>-4,5**</b>	<b>-4,6**</b>	<b>-4,2**</b>
	LdP	+2,0	+2,0	+2,0	+2,2	+2,1	+1,9
DK	T °C	+0,5	+0,6	+0,6	<b>+0,8*</b>	<b>+0,8*</b>	<b>+0,8*</b>
	LdM	-1,8	-2,5	<b>-2,7*</b>	<b>-3,1*</b>	<b>-3,3**</b>	<b>-3,1**</b>
	LdP	+0,0	-0,5	-0,1	-0,2	-0,1	0,0
DH	T °C	<b>+1,0***</b>	<b>+0,9***</b>	<b>+0,8**</b>	<b>+0,7**</b>	<b>+0,7***</b>	<b>+0,7***</b>
	LdM	<b>-2,5*</b>	-1,9	-1,7	-1,8	<b>-2,1*</b>	<b>-2,3*</b>
	LdP	+2,0	+1,5	+1,3	+1,5	+1,6	+1,4
H	T °C	<b>0,9**</b>	<b>0,9**</b>	<b>0,9**</b>	<b>0,9***</b>	<b>1,0***</b>	<b>0,9***</b>
	LdM	-2,9	<b>-4,0*</b>	-3,5	<b>-4,0*</b>	<b>-4,0*</b>	<b>-3,7*</b>
	LdP	+1,5	+2,2	+1,0	+0,8	+0,4	+0,0

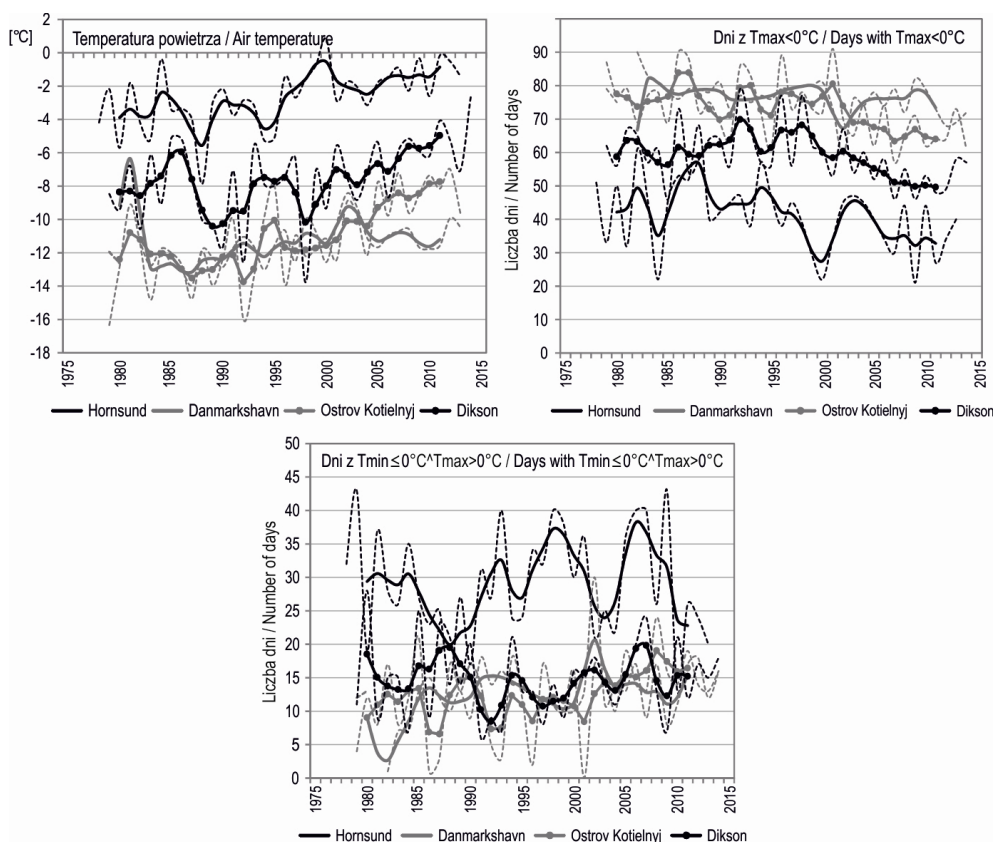
OK – Ostrov Kotielnyj, DK – Dikson, DH – Danmarkshavn, H – Hornsund,  
T °C – temperatura powietrza – air temperature, LdM – liczba dni z Tmax<0°C – number of days with Tmax<0°C, LdP – liczba dni z Tmin≤ 0°C^Tmax>0°C – number of days with Tmin≤ 0°C^Tmax>0°C, statystyczna istotność – statistical significance: \* – α≤0,05; \*\* – α≤0,01; \*\*\* – α≤0,001

Tab. 8. Trendy temperatury powietrza (°C/10lat) w zimie w okresie 1978/1979-2013/2014

Table 8. Trends in air temperature (°C/10yrs) in winter in the period 1978/1979-2013/2014.

Stacja Station	Wielkość i istotność statystyczna trendów w wieloleciach Magnitude and statistical significance of trends in the long-term periods						
	1979-2008	1979-2009	1979-2010	1979-2011	1979-2012	1979-2013	1979-2014
Ostrov Kotielnyj	+0,3	+0,3	+0,4	+0,5	<b>+0,6*</b>	<b>+0,5*</b>	<b>+0,6*</b>
Dikson	+0,5	+0,6	+0,5	+0,5	+1,0	+1,0	+0,8
Danmarkshavn	<b>+0,8*</b>	<b>+0,8*</b>	<b>+0,7*</b>	<b>+0,8**</b>	<b>+0,9**</b>	<b>+0,8**</b>	<b>+0,9**</b>
Hornsund	<b>1,8**</b>	<b>1,8**</b>	<b>1,9**</b>	<b>1,7**</b>	<b>1,9***</b>	<b>2,0***</b>	<b>2,1***</b>

Statystyczna istotność – statistical significance: \* – α≤0,05; \*\* – α≤0,01; \*\*\* – α≤0,001



Ryc. 8. Wieloletnia zmienność średniej temperatury powietrza, liczby dni mroźnych ( $T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$ ) oraz dni z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}\text{C}$  ( $T_{min} \leq 0^{\circ}\text{C} \wedge T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ ) jesienią, pogrubione linie – przebieg wygładzony filtrem Gaussa (5-pkt)

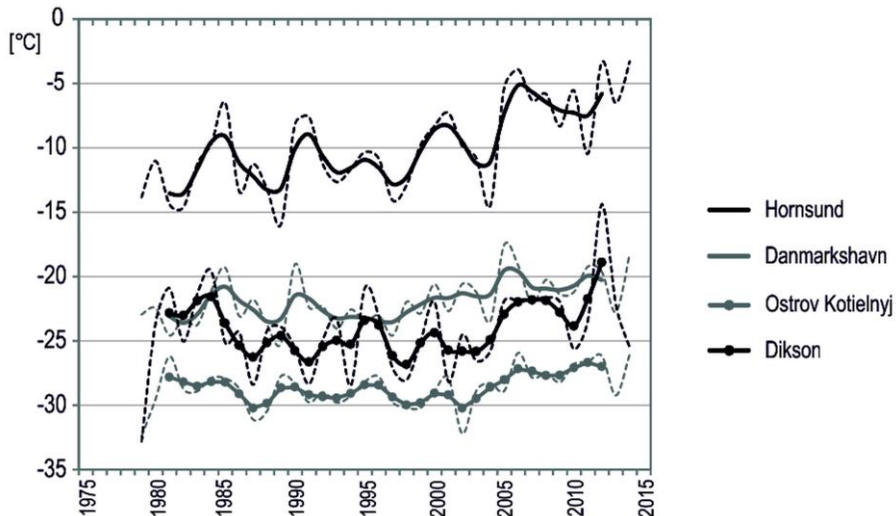
Fig. 8. Long-term variability of average air temperature, number of ice days ( $T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$ ) and number of days with freeze-thaw events in autumn, thick lines – course of the thermal indices smoothed with Gauss filter of 5 pt.

W czasie zimy w Arktyce Syberyjskiej w sposób trwały utrzymywała się mroźna pogoda. Podobnie było na wschodnim wybrzeżu Grenlandii, gdzie jednokrotne przejścia temperatury przez  $0^{\circ}\text{C}$  zdarzyły się podczas czterech zim, a dwukrotne pięciu. Jedynie w Hornsundzie warunki termiczne w zimie były bardzo niestabilne. Liczba dni mroźnych na tej stacji zmieniała się w zakresie 42 dni, od 46 dni w czasie dwóch zim 2005/2006 i 2013/2014 do 88 dni w zimie 2003/2004. Ujemny trend liczby dni mroźnych wynosił  $-4,5$  dnia/10 lat. Natomiast trend dodatni ( $+3,7$  dni/10 lat) stwierdzono dla liczby dni z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}\text{C}$ . Ich zakres wahań wynosił 34 dni, od 3 dni w zimie 2003/2004 do 37 dni dwa lata później w zimie 2005/2006.

## 9. Podsumowanie i wnioski

Największy zakres zmian miesięcznej temperatury powietrza charakteryzuje stację Dikson ( $46^{\circ}\text{C}$ ), a najmniejszy w Hornsundzie (ok.  $23^{\circ}\text{C}$ ). Największe różnice termiczne pomiędzy uwzględnionymi stacjami (do około  $20^{\circ}\text{C}$ ) występują w miesiącach zimowych, a najmniejsze latem ( $< 5^{\circ}\text{C}$ ).





Ryc. 9. Wieloletnia zmienność średniej temperatury powietrza zimą, pogrubione linie – przebieg wygładzony filtrem Gaussa (5-pkt)

Fig. 9. Long-term variability of average air temperature in winter, thick lines – course of the thermal indices smoothed with Gauss filter of 5 pt.

W Arktyce Syberyjskiej oraz w Danmarkshavn na wschodnim wybrzeżu Grenlandii w miesiącach od października do kwietnia niemal wszystkie dni w miesiącu są mroźne. Roczna liczba tych dni zmienia się od 181 dni w Hornsundzie do 265 dni na Wyspach Nowosyberyjskich, gdzie dni takie występują także w lecie. Natomiast w Hornsundzie dni takich nie notowano wcale w lipcu i sierpniu.

Średnia roczna liczba dni z przejściem przez  $0^{\circ}\text{C}$  zmieniała się od 42 dni na stacji Dikson do 80 dni w Hornsundzie. Na Wyspach Nowosyberyjskich dni takie występowały tylko od maja do października (w pozostałych miesiącach temperatura nie podnosiła się powyżej  $0^{\circ}\text{C}$ ). Natomiast w Hornsundzie przejścia temperatury przez  $0^{\circ}\text{C}$  występowały przez cały rok z maksymalną częstością w maju (45%) i we wrześniu (37%).

W przebiegu wieloletnim (1979-2013) średniej rocznej temperatury powietrza w obu regionach Arktyki po roku 1990 zaznacza się znaczne ocieplenie dochodzące do  $+1,0^{\circ}\text{C}/10$  lat. Tempo wzrostu temperatury jest więc większe niż w rozpatrywanym przez R. Przybylaka (2007) wcześniejszym okresie 1976-2005. Najsilniejszy wzrost temperatury ( $+2,0^{\circ}\text{C}/10$  lat) stwierdzono w zimie w Arktyce Atlantyckiej w Hornsundzie. W lecie trendy były najsłabsze w tej części Arktyki (Hornsund  $+0,3^{\circ}\text{C}$  na 10 lat) i nieco większe ( $+0,6^{\circ}\text{C}$  na 10 lat) w Arktyce Syberyjskiej.

W okresie ostatnich 35 lat na wszystkich stacjach wystąpił trend spadkowy liczby dni mroźnych (od  $-5$  dni/10 lat na stacji Dikson do  $-12$  dni/10 lat w Hornsundzie).

Zmienność wieloletnia liczby dni z przejściem temperatury przez  $0^{\circ}\text{C}$  jest bardzo nieregularna, a w ostatnim dwudziestoleciu w Arktyce Atlantyckiej obserwuje się wzrost (od  $+2$  do  $+4$  dni/10 lat), zaś w Arktyce Syberyjskiej spadek częstości ich występowania (od  $-3$  do  $-6$  dni/10 lat).

Ustalenie przyczyn zachodzących zmian, w dużej mierze prawdopodobnie naturalnych, wymaga dalszych badań uwzględniających cyrkulację atmosfery.

## Literatura

- Atlas Arktyki, 1985. Glavnoye Upravlenye Geodeziji i Kartografii, Moskva, p. 204.
- Bednorz E., 2011. Occurrence of winter air temperature extremes in Central Spitsbergen. *Theoretical and Applied Climatology*, 106(3-4): 547-556.
- CliWare, 2014. Danyje sutočnogo razrešenija po temperature vozducha i osadkam. Wserossijskij Naučno-Issledowatelskij Institut Gidrometeorologičeskoj Informacii – Mirovoj Centr Danych (VNIIGMI-MCD), Obninsk (<http://cliware.meteo.ru/inter/data.html>) ostatni dostęp 10 września 2014 r.
- Dobrowolska J., 2013. Typy pogody na wyspie Kotielnyj (Wyspy Nowosyberyjskie), (Types of weather in Ostrov Kotielnyj (New Siberian Islands)). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 23: 77-92.
- Ferdynus J., 2013. States of the weather and weather seasonality [w:] Marsz A.A., Styszyńska A. (red.), *Climate and climate change at Hornsund, Svalbard*. Maritime University, Gdynia: 221-251.
- Førland E.J., Hanssen-Bauer I., 2003. Past and future climate variations in the Norwegian Arctic: overview and novel analyses. *Polar Research*, 22 (2): 113-124.
- Institute of Geophysics Polish Academy of Science, 2001. Meteorological conditions Hornsund, Spitsbergen 2000/2001. Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Science, D-57(341).
- Institute of Geophysics Polish Academy of Science, 2003. Meteorological conditions Hornsund, Spitsbergen 2001/2002. Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Science, D-60(351).
- Instytut Geofizyki PAN, 2009-2014. Biuletyn meteorologiczny – Spitsbergen – Hornsund 2009.10-2014.10 (dostępne na stronie: [www.glacio-topoclim.org/index.php/reports](http://www.glacio-topoclim.org/index.php/reports); ostatni dostęp 8 listopada 2014 r.).
- IPCC, 2013. *Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, s. 1535.
- Klein Tank A.M.G. i in., 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology*, 22, 1441-1453. Data and metadata available at <http://www.ecad.eu>; last access 5 November 2014.
- Łupikasza E., Małarzewski Ł., Niedźwiedz T., 2012. Wpływ cyrkulacji atmosfery na występowanie dni z przejściem temperatury przez 0°C w Hornsundzie (Spitsbergen). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 22: 5-16.
- Łupikasza E., Niedźwiedz T., 2013. Frequency of ice days at selected meteorological stations in Svalbard. *Bulletin of Geography – Physical Geography Series*, No 6: 80–97.
- Łupikasza E., Niedźwiedz T., Małarzewski Ł., 2013. Występowanie dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C na wybranych stacjach w atlantyckim sektorze Arktyki. *Problemy Klimatologii Polarnej* 23: 121-135.
- Marsz A.A., Styszyńska A. (red.), 2007. *Klimat Rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie – stan, zmiany i ich przyczyny*. Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni: 376 s.
- Marsz A.A., Styszyńska A. (red.), 2013. *Climate and climate change at Hornsund, Svalbard*. Maritime University, Gdynia: 402 s.
- Miętus M. (red.) 2000-2001. *Roczniki Meteorologiczne Hornsund (1978/79-1980/81, 1982/83-1999/2000)*. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Oddział Morski, Gdynia.
- Niedźwiedz T., Łupikasza E., Małarzewski Ł., 2012. Wpływ cyrkulacji atmosfery na występowanie dni mroźnych w Hornsundzie (Spitsbergen). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 22: 17-26.
- Nordli P.Ø., 2005. Long-term temperature trends and variability at Svalbard (1911-2004). *Geophysical Research Abstracts*, 7(06939), SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU05-A-06939.
- Nordli Ø., Przybylak R., Ogilvie A.E.J., Isaksen K., 2014. Long-term temperature trends and variability on Spitsbergen: the extended Svalbard Airport temperature series, 1898-2012. *Polar Research* 33, 21349, <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v33.21349>.

Przybylak R., 2003. The climate of the Arctic. Atmospheric and Oceanographic Science Library v. 26, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht Boston London: 288 pp.

Przybylak R., 2007. Recent air-temperature changes in the Arctic. *Annals of Glaciology* 46: 316-324.

Styszyńska A., 2005. Przyczyny i mechanizmy współczesnego (1982-2002) ocieplenia atlantyckiej Arktyki (Causes and mechanisms of present (1982-2002) warming of the Atlantic part of Arctic). Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni: 109 s.

Valor G.B., López J.M.G., 2014. OGIMET – Professional information about meteorological conditions in the world (SYNOP messages available on-line on the web site: <http://www.ogimet.com>). Last access 17 August 2014.

Wpłynęło: 21 listopada 2014 r., poprawiono: 27 grudnia 2014 r., zaakceptowano: 30 grudnia 2014 r.

## Summary

An increase in the air temperature is an evident manifestation of contemporary climate change. In the Arctic this trend began to be significant in the middle of the nineties and has been accompanied by significant changes in the frequency of thermally characteristic days. This paper discusses the directions and the rate of changes in the average annual and seasonal air temperatures, the number of ice days ( $T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$ ) and the number of days with freeze-thaw events ( $T_{min} \leq 0^{\circ}\text{C} \wedge T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ ) in both the Atlantic Arctic and The Siberian Arctic in the period 1979-2013. Four meteorological stations were considered: Danmarkshavn, Hornsund, Dikson, Ostrov Kotielnyj.

In this paper annual courses of the above mentioned characteristics of air temperature are recognized and their trends are calculated from annual and seasonal perspectives. Trend magnitude was assessed with least square method and its significance was tested with Mann-Kendall test. Trends were calculated for several long-term periods starting with the 30-year period of 1979-2008 followed by further periods of which each was lengthened by a year in relation to preceding period, e.g. 1979-2009, 1979-2010 etc. Such an approach enables the trends stability assessment.

At the stations considered average monthly air temperature was varying in the range from about  $-30^{\circ}\text{C}$  in February at Ostrov Kotielnyj station to slightly more than  $+5^{\circ}\text{C}$  in July and August at Dikson station. The mildest thermal conditions characterize Hornsund station where average monthly temperature in winter months reaches about  $-10^{\circ}\text{C}$  and during four months (June-September) it is above  $0^{\circ}\text{C}$ . Statistically significant increase in the average annual air temperature of magnitude of  $+1.0^{\circ}\text{C}$  or  $+0.8^{\circ}\text{C}$  per 10 years was found at all the stations. Trends in the seasonal air temperature were also positive however not always significant. The strongest increase of the rate of more than  $+2.0^{\circ}\text{C}$  per 10 yrs was found at Hornsund in winter for the period of 1979-2013. Spring air temperature showed significant increasing trends for all of the long-term periods at the station in Siberian Arctic (Ostrov Kotielnyj) and Dikson. At both Ostrov Kotielnyj and Danmarkshavn stations significant increase of temperature in this season started from the period of 1979-2010. Trends in autumn temperature were significant and stable at most of the stations. At Dikson station exclusively an increase in temperature reached statistical significance slightly later - in the period of 1979-2011.

Significant changes in average air temperature caused changes in the frequency of thermally characteristic days. Trends in the frequency of both ice days and days with freeze-thaw events were less significant. The frequency of ice days has been diminishing at all of the stations but significant

were mostly annual trends. Significant decrease of the ice days was found at Ostrov Kotielnyj and Danmarkshavn stations in spring and at Hornsund station in summer. In summer significant were also trends for the longest of the multiyear periods analysed at Ostrov Kotielnyj and Danmarkshavn stations. In autumn downward trends were stable at Ostrov Kotielnyj station. At other stations trends in this index were significant only for the period of 1979-2013.

A direction of trends in the frequency of days with freeze-thaw event is less stable. In the case of annual index values trends were negative at Ostrov Kotielnyj and Dikson stations whereas at other stations they were positive. Trend directions in the frequency of days with  $T_{min} \leq 0^{\circ}C \wedge T_{max} > 0^{\circ}C$  varied depending on season. In spring and autumn trends were positive at majority of the stations. However, they were significant only in spring at Ostrov Kotielnyj and Danmarkshavn stations. In summer trends in this index were negative. This decrease was the strongest and the most pronounced at Dikson station.

**Key words:** temperature trends, ice days, freeze-thaw days, Atlantic Arctic, Siberian Arctic.