

WARUNKI METEOROLOGICZNE NA STACJI ARCTOWSKIEGO (WYSPA KRÓLA JERZEGO, ANTARKTYKA) W 2012 ROKU

METEOROLOGICAL CONDITIONS AT THE ARCTOWSKI STATION (KING GEORGE ISLAND, ANTARCTIC) IN 2012

Marek Kejna¹, Andrzej Arażny¹, Ireneusz Sobota¹, Jacek Piszczek², Radosław Łabno²

¹ – Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Mikołaja Kopernika,
ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń, marek.kejna@umk.pl;

² – Instytut Biochemii i Biofizyki Polskiej Akademii Nauk, Zakład Biologii Antarktyki,
ul. Ustrzycka 10/12, 02-141 Warszawa

Zarys treści. W artykule przedstawiono przebieg warunków meteorologicznych na Stacji H. Arctowskiego (Wyspa Króla Jerzego, Szetlandy Pd., Antarktyka) w 2012 roku. Pomiary prowadzono za pomocą automatycznej stacji meteorologicznej Davis Vantage Pro+ w interwale godzinnym. Przeanalizowano zmienność ciśnienia atmosferycznego, promieniowania słonecznego, temperatury i wilgotności powietrza oraz kierunku i prędkości wiatru w cyklu rocznym i dobowym. Uzyskane wyniki porównano z dłuższym okresem pomiarowym (1977-1999) oraz z równoległymi danymi z innych stacji prowadzących pomiary meteorologiczne na Wyspie Króla Jerzego.

Słowa kluczowe: warunki meteorologiczne, Stacja H. Arctowskiego, zmiany klimatu, King George Island, Antarktyka.

1. Wstęp

Pomiary meteorologiczne na Stacji H. Arctowskiego (Wyspa Króla Jerzego, Szetlandy Południowe, Antarktyka) rozpoczęto w marcu 1977 r. (Zubek 1980). Stacja meteorologiczna została włączona do Światowej Służby Pogody pod numerem 89052. Pomiary te kontynuowano do 1989 roku, a wyniki opracowane przez Oddział Morski IMGW w Gdyni udostępniono w postaci roczników z lat 1978-1989. W latach 1990-1993 pomiary meteorologiczne prowadzili pracownicy Uniwersytetu im. A. Mickiewicza, częściowo wykorzystując automatyczną stację meteorologiczną (Zwoliński 1992). W latach 1995-2000 pomiary kontynuowali pracownicy Wyższej Szkoły Morskiej w Gdyni oraz Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu w ramach badań prowadzonych przez Zakład Biologii Antarktyki PAN. Wyniki tych pomiarów zostały częściowo udostępnione w postaci roczników i opublikowane (np. Marsz i Styszyńska 1997, Kejna i Láska 1999). Na podstawie danych z lat 1977-1998 powstała monografia opisująca główne cechy klimatu Stacji H. Arctowskiego pod redakcją Marsza i Styszyńskiej (2000).

W grudniu 2005 r., po kilku latach przerwy, zainstalowano na Stacji H. Arctowskiego automatyczną stację meteorologiczną. Stacja ta działa nadal, jednak w końcu 2011 r. został zniszczony wiatromierz, ale dalej rejestrowano ciśnienie atmosferyczne, temperaturę i wilgotność powietrza.

Równoległe prowadzono manualne pomiary opadów atmosferycznych i grubości pokrywy śnieżnej oraz obserwacje zachmurzenia (tylko w godzinach dziennych). Wyniki z tego okresu nie zostały dotąd opublikowane, za wyjątkiem 2006 r. (Angiel i in. 2010).

W styczniu 2012 r. zainstalowano na Stacji H. Arctowskiego automatyczną stację meteorologiczną firmy Davis Vantage Pro+ w ramach projektu Narodowego Centrum Nauki pt. „Interakcje klimatyczno-glaciologiczne w warunkach globalnego ocieplenia. Studium na przykładzie SSSI No 8 (Wyspa Króla Jerzego, Zachodnia Antarktyka)” (NN 306 722540). Wyniki z sezonu letniego 2012 r. zostały opublikowane wcześniej (Kejna i in. 2012), natomiast w tym artykule są zamieszczone dane z całego roku, aż do lutego 2013 r.

Celem niniejszego artykułu jest nie tylko analiza zmienności warunków meteorologicznych na Stacji H. Arctowskiego, ale także porównanie uzyskanych danych na tle wielolecia oraz z innymi stacjami działającymi w roku 2012 na Wyspie Króla Jerzego. Badania te są istotne w kontekście znacznych zmian klimatycznych jakie zachodzą w ostatnich dziesięcioleciach na Wyspie Króla Jerzego (Marsz i Rakusa-Suszczewski 1987, Kejna 1999a i b, 2003; Ferron i in. 2004, Angiel i in. 2010) oraz na całym zachodnim wybrzeżu Półwyspu Antarktycznego (Domack i in. 2003, King i in. 2003, Kejna 2008, Stastna 2010). Zmiany klimatyczne wpływają na stan środowiska przyrodniczego, w tym na postępującą szybką deglację tego obszaru (Battke i in. 2001).

2. Obszar i metody badań

Pomiary meteorologiczne prowadzono w ogródku meteorologicznym Stacji H. Arctowskiego położonej na Wyspie Króla Jerzego (Szetlandy Pd., Antarktyka). Współrzędne geograficzne miejsca pomiarów wynoszą: szerokość geograficzna 62°09'33,0"S, długość geograficzna 58°28'05,9"W, wysokość nad poziom morza 3 m. Pomiary meteorologiczne prowadzono w okresie od 19 stycznia 2012 r. do 22 lutego 2013 r. za pomocą automatycznej stacji meteorologicznej Vantage Pro+ firmy Davis (ryc. 1). Wszystkie czujniki (ciśnienie atmosferyczne, kierunek i prędkość wiatru, promieniowanie całkowite, temperatura i wilgotność powietrza) znajdowały się na wysokości ok. 2 m nad poziomem gruntu. Czujniki temperatury i wilgotności powietrza umieszczono w osłonie antyradiacyjnej.



Ryc. 1. Automatyczna stacja meteorologiczna Davis Vantage Pro+ na Stacji H. Arctowskiego, styczeń 2012 r.

Fig. 1. Automatic weather station Davis Vantage Pro+ at the Arctowski Station, January 2012.

Ciśnienie atmosferyczne zredukowano do poziomu morza. Rejestrację wszystkich parametrów pomiarowych prowadzono co godzinę według czasu strefowego. Stacja Vantage Pro+ wyposażona jest w deszczomierz, niestety brak ogrzewania czynił uzyskane wyniki niewiarygodnymi, zwłaszcza przy ujemnej temperaturze powietrza. Brakujące dane z okresu od 1 do 18 stycznia 2012 r. (temperatura i wilgotność powietrza oraz ciśnienie atmosferyczne) pochodzą ze stacji działającej równolegle w ogródku meteorologicznym.

Dane porównawcze z lat 1977-1998 zaczerpnięto z monografii pod red. Marsza i Styszyńskiej (2000), natomiast dla stacji działających na Wyspie Króla Jerzego z internetowych baz danych: READER (<http://www.antarctica.ac.uk/met/READER>) – Turner i in. (2004) i Arctic and Antarctic Research Institute z Sankt Petersburga w Rosji (<http://www.aari.aq/data>).

3. Wyniki

Średnie oraz sumy miesięczne i roczne poszczególnych elementów meteorologicznych na Stacji H. Arctowskiego przedstawiono w tabeli 1.

3.1. Ciśnienie atmosferyczne

Stacja H. Arctowskiego jest położona w obrębie wokółantarktycznej bruzdy cyklonalnej, charakteryzującej się bardzo niskimi wartościami ciśnienia. Ciśnienie atmosferyczne w tym rejonie kształtują ośrodki niskiego ciśnienia tworzące się nad M. Bellingshausena, niżę przemieszczające się z zachodu na wschód Cieśniną Drake'a oraz klin wysokiego ciśnienia znad M. Weddella i klin wyżu południowopacyficznego. Sytuacja baryczna w tym rejonie jest bardzo dynamiczna i zmienna w czasie.

Na Stacji H. Arctowskiego w 2012 r. średnia wartość ciśnienia zredukowana do poziomu morza wyniosła 989,0 hPa (tab. 1). W przebiegu rocznym ciśnienia atmosferycznego zaznaczyła się typowa dla tych szerokości geograficznych półroczna oscylacja (van den Broeke 1998) z dwoma minimami: latem (styczeń 985,3 hPa) i zimą (czerwiec 979,4 hPa) oraz dwoma maksimami: na jesieni (kwiecień 996,7 hPa) i na wiosnę (wrzesień 994,9 hPa).

W przebiegu rocznym charakterystyczne są kilkunastodniowe fale baryczne związane z przechodzącymi na przemian niżami i klinami wysokiego ciśnienia (Marsz, Styszyńska 2000). W 2012 roku najwyższe ciśnienie wystąpiło w dniu 21 kwietnia (1020,7 hPa), a najniższe w dniu 25 lipca (946,8 hPa) – ryc. 2. Średnie dobowe wartości ciśnienia atmosferycznego najczęściej mieściły się między 980 a 990 hPa (115 dni) oraz między 990 a 1000 hPa (102 dni). Zdarzały się jednak dni z bardzo niskim ciśnieniem (2 dni poniżej 960 hPa, i 13 dni pomiędzy 960 a 970 hPa), lub też ciśnienie przekraczało 1010 hPa (13 dni).

3.2. Kierunek i prędkość wiatru

Kierunek i prędkość wiatru na Stacji H. Arctowskiego są kształtowane przez czynniki makrosynoptyczne (położenie ośrodków barycznych i poziomy gradient ciśnienia) oraz lokalne, związane z modyfikacją przepływu powietrza przez orografię Wyspy Króla Jerzego.

W 2012 r. na Stacji H. Arctowskiego najczęściej występował wiatr z kierunku SW (19,7%) i WSW (13,0%) oraz E (9,5%) i NW 8,7% (ryc. 3A). Są to kierunki nawiązujące do dominującego w tym rejonie zachodniego przepływu mas powietrza oraz lokalnej orografii rejonu Zatoki Admiralicji. Częstość cisz stanowiła zaledwie 0,2%.

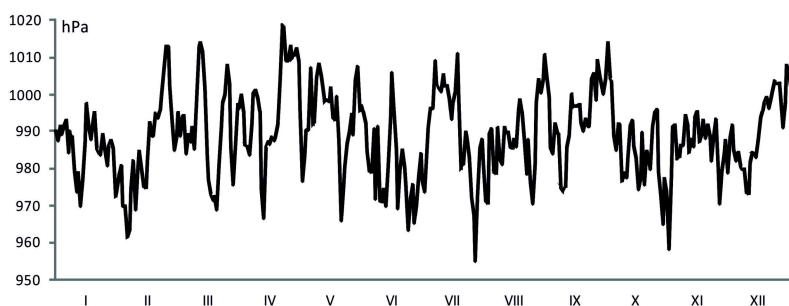
Tabela 1. Średnie i sumy miesięczne elementów meteorologicznych na Stacji H. Arctowskiego w okresie od 1 stycznia 2012 r. do 22 lutego 2013 roku

Table 1. Monthly mean values and sums of meteorological elements at Arctowski Station in the period 1 January 2012 to 22 February 2013.

Miesiąc Month	AP (hPa)	SR (MJ·m ⁻²)	Ti (°C)	Tmax (°C)	Tmax abs (°C)	Tmin (°C)	Tmin abs (°C)	f (%)	Δe (hPa)	V (m·s ⁻¹)	Vmax (m·s ⁻¹)
I 12	985,3	476,7*	2,4	4,2	6,4	1,0	-1,0	78,0	-0,6**	3,9**	23,2**
II 12	985,5	415,2	2,0	3,8	7,1	0,3	-5,0	78,7	-1,4	4,5	29,1
III 12	990,8	257,7	2,1	4,3	9,6	0,4	-3,9	82,6	-0,6	4,5	27,3
IV 12	996,7	89,0	-2,9	-0,8	5,7	-5,0	-12,6	86,4	-4,9	5,5	28,6
V 12	993,6	25,1	-1,6	0,6	5,3	-4,0	-13,1	86,9	-3,5	4,2	29,5
VI 12	979,4	10,4	-5,6	-2,7	2,6	-8,6	-17,2	84,8	-7,8	6,1	33,5
VII 12	989,7	22,2	-4,9	-1,7	3,9	-8,3	-17,0	87,4	-6,7	4,1	31,3
VIII 12	989,8	75,3	-3,2	-0,3	6,3	-6,2	-14,9	86,7	-5,1	5,7	35,8
IX 12	994,9	234,1	-4,1	-1,4	7,3	-6,8	-15,6	85,4	-6,2	5,9	40,2
X 12	982,5	343,5	-2,2	0,4	7,7	-4,5	-12,1	82,5	-4,8	5,6	30,4
XI 12	986,5	468,4	-0,3	2,3	6,3	-2,3	-6,2	82,1	-3,0	4,6	40,2
XII 12	993,5	567,8	0,2	1,7	3,8	-1,5	-4,3	78,9	-3,1	3,1	17,9
2012	989,0	2985,3**	-1,5	0,9	9,6	-3,8	-17,2	83,4	-4,0	4,8	40,2
I 13	988,1	401,0	1,9	3,6	8,0	0,6	-1,3	85,9	-0,2	4,5	39,3
II 13***	985,1		2,3	4,3	6,9	0,5	-4,1	85,3	0,0	4,2	23,2

Objaśnienia: AP – ciśnienie atmosferyczne, SR – promieniowanie całkowite, T – temperatura powietrza (Ti – średnia, Tmax – średnia z maksimumów dobowych, Tmax abs – maksymalna, Tmin – średnia z minimumów dobowych, Tmin abs – minimalna), f – wilgotność względna powietrza, Δe – niedosyt wilgotności powietrza, V – prędkość wiatru, * – 19-31 stycznia, ** – w okresie 19.01-31.12, *** – 1-22 lutego

Explanations: AP – air pressure, SR – global solar radiation, T – air temperature (Ti – mean, Tmax – average of daily maximum, Tmax abs – maximum, Tmin – average of daily minimum, Tmin abs – minimum), f – relative air humidity, Δe – saturation deficit, V – wind velocity * – 19-31 January, ** – in the period January 19 – December 31, *** – 1-22 February

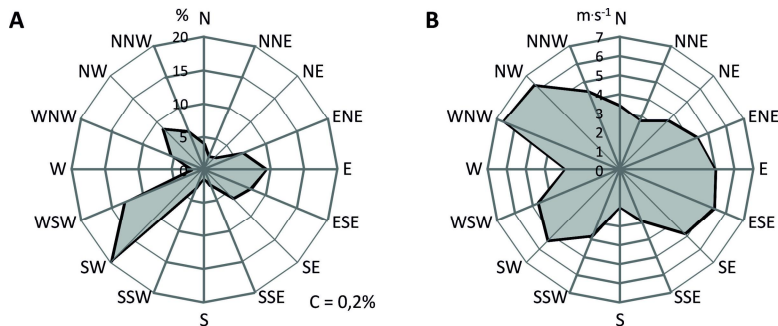


Ryc. 2. Przebieg ciśnienia atmosferycznego na Stacji H. Arctowskiego w 2012 roku

Fig. 2. Course of air pressure at the Arctowski Station in 2012

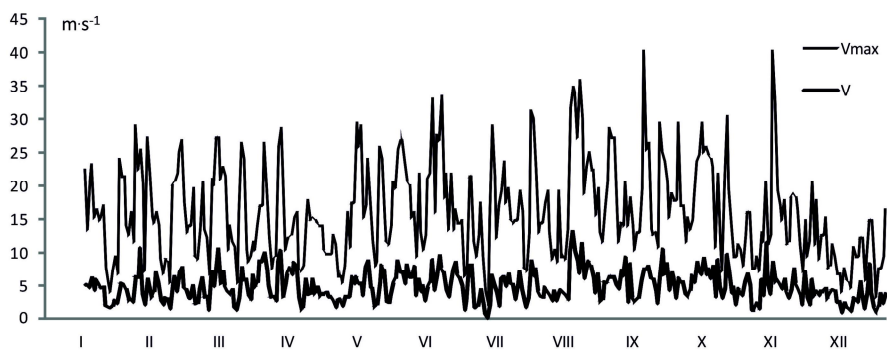
Średnia roczna prędkość wiatru na Stacji H. Arctowskiego na wysokości 2 m n.p.g. w 2012 roku wyniosła 4,8 m·s⁻¹, największe średnie miesięczne prędkości wiatru wystąpiły w czerwcu (6,1 m·s⁻¹), wrześniu (5,9 m·s⁻¹) i sierpniu (5,7 m·s⁻¹), a najmniejsze w grudniu (3,1 m·s⁻¹) oraz styczniu 3,9 m·s⁻¹ i lipcu (4,1 m·s⁻¹) – tab. 1. Średnie dobowe prędkości wiatru dochodziły do 13,1 m·s⁻¹ (17 sierpnia), a maksymalne prędkości przekraczały 40 m·s⁻¹ we wrześniu i listopadzie 2012 r. (ryc. 4).

Największa średnia prędkość wiatru była charakterystyczna dla kierunków: WNW (6,6 m·s⁻¹), NW (6,3 m·s⁻¹), SW i ESE (po 5,4 m·s⁻¹), a najmniejsza przy kierunkach: S (2,0 m·s⁻¹), NNE (2,8 m·s⁻¹) i W (2,9 m·s⁻¹) – ryc. 3B.



Ryc. 3. Częstość kierunków wiatru i ciszy (A) oraz średnia prędkość wiatru według kierunków (B) na Stacji H. Arctowskiego w 2012 roku

Fig. 3. Frequency of wind directions and calm (A) and mean velocity according to wind directions (B) at the Arctowski Station in 2012.



Ryc. 4. Przebieg średniej dobowej (V) i maksymalnej (Vmax) prędkości wiatru na Stacji H. Arctowskiego w 2012 roku

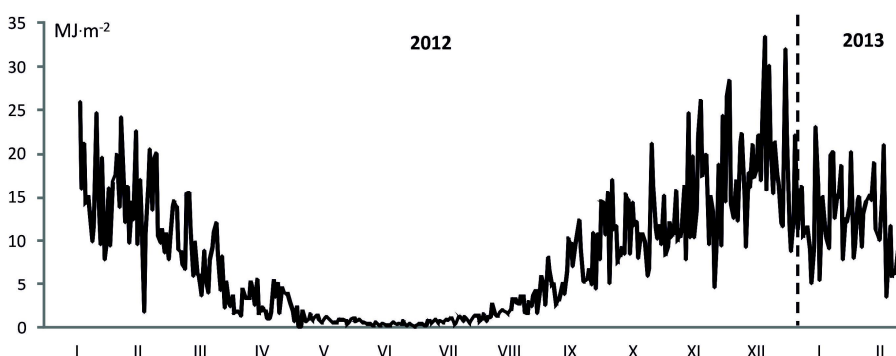
Fig. 4. Course of daily mean (V) and maximum (Vmax) wind velocity at Arctowski Station in 2012.

3.3. Promieniowanie słoneczne

Dopływ promieniowania słonecznego na Stacji H. Arctowskiego jest uwarunkowany astronomicznie (wysokość Słońca nad horyzontem i długość dnia) oraz modyfikowany przez czynniki atmosferyczne ograniczające dopływ promieni słonecznych (zachmurzenie, zjawiska atmosferyczne zwiększające masę optyczną atmosfery i ekstynkcję promieniowania). Na Stacji H. Arctowskiego (62°10'S) długość dnia zmienia się od 4 godz. i 57 minut (22 czerwca) do 19 godz. i 42 minut (22 grudnia). Wysokość Słońca w momencie górowania zmienia się od 4° w czasie przesilenia zimowego do 51° w czasie przesilenia letniego. Horyzont miejsca pomiarów jest urozmaicony, otwarty ku wschodowi i południu, od strony zachodniej wysokość przeszkód terenowych dochodzi do 12,7°, co jest istotne zwłaszcza w chłodnej połowie roku przy niskich położeniach słońca (Marsz i Styszyńska 2000).

W okresie od 19 stycznia do 31 grudnia 2012 r. suma roczna promieniowania całkowitego obejmującego promieniowanie bezpośrednie i rozproszone wyniosła $2985,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ($8,60 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dzień}^{-1}$) – tab. 1. Przy uwzględnieniu pełnego roku od 1 lutego 2012 r. do 31 stycznia 2013 r. suma ta wyniosła $2909,6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ($7,95 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dzień}^{-1}$). Najwyższe sumy miesięczne wystąpiły w grudniu 2012 roku $567,8 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ($18,32 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dzień}^{-1}$), a najniższe w czerwcu $10,4 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ($0,35 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dzień}^{-1}$).

Sumy dobowe całkowitego promieniowania słonecznego wykazują zależność od długości dnia i wysokości Słońca nad horyzontem oraz zachmurzenia. Najwyższe sumy dzienne promieniowania w listopadzie, grudniu i styczniu przekraczają $25\text{-}30 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, np. 15 grudnia 2012 r. $33,4 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$. Natomiast w czerwcu i lipcu wartości te nie przekraczają $1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$. Z dnia na dzień występują znaczne różnice związane ze wzrostem zachmurzenia, powstawaniem mgieł, zamieci śnieżnych, które ograniczają dopływ promieniowania słonecznego (ryc. 5).



Ryc. 5. Przebieg sum dobowych całkowitego promieniowania słonecznego na Stacji H. Arctowskiego w okresie 19.01.2012 -22.02.2013 r.

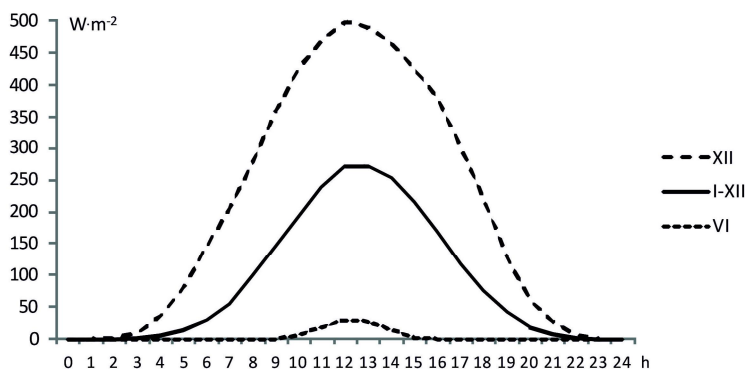
Fig. 5. Course of global solar radiation daily sums at the Arctowski Station in the period 19.01.2012 -22.02.2013

W przebiegu dobowym występuje symetryczny względem południa słonecznego dopływ promieniowania słonecznego (Prošek i in. 1996) uzależniony od wysokości Słońca nad horyzontem. Maksymalne natężenie promieniowania słonecznego występuje w południe (ryc. 6), w grudniu sięgając średnio $500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, natomiast w czerwcu zaledwie $30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, przy średniej dla roku wynoszącej $270 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Najwyższe chwilowe wartości natężenia promieniowania słonecznego w okresie od listopada do lutego przekraczają $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

3.4. Temperatura powietrza

Rejon Sztetlandów Południowych charakteryzuje się najłagodniejszymi warunkami termicznymi w Antarktyce (Kejna 2008), wynika to ze znacznej oceanizacji klimatu tego obszaru (Styszyńska 1995). Przebieg temperatury powietrza odznacza się tu dużą zmiennością z dnia na dzień i z roku na rok w zależności od cyrkulacji atmosferycznej, rodzaju napływających mas powietrza.

Na Stacji H. Arctowskiego w 2012 r. średnia temperatura powietrza wyniosła $-1,5^{\circ}\text{C}$ (tab. 1). Najwyższa średnia miesięczna temperatura wystąpiła w styczniu ($2,4^{\circ}\text{C}$), a najniższa w czerwcu ($-5,6^{\circ}\text{C}$). Amplituda roczna temperatury wyniosła zaledwie $8,0^{\circ}\text{C}$. Dodatkowo średnie miesięczne temperatury

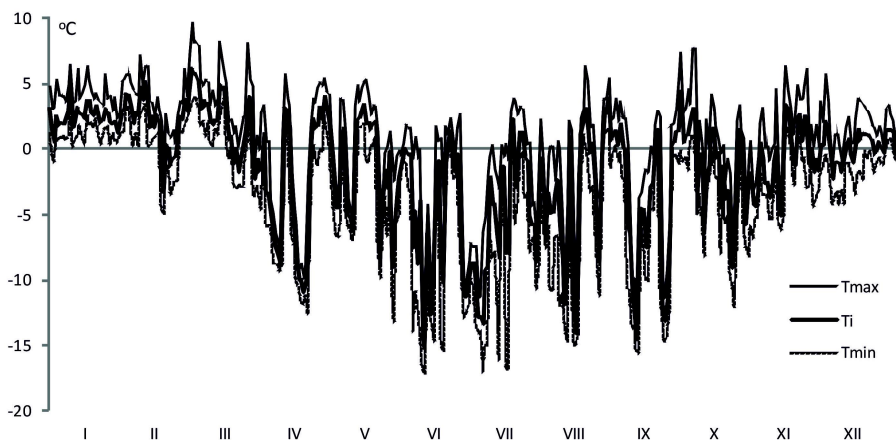


Ryc. 6. Uśrednione przebiegi dobowe całkowitego promieniowania słonecznego w czerwcu (VI), grudniu (XII) i roku (I-XII) na Stacji H. Arctowskiego w 2012 roku

Fig. 6. Mean daily courses of global solar radiation in June (VI), December (XII) and whole year (I-XII) at the Arctowski Station in 2012.

wystąpiły w okresie od stycznia do marca (odpowiednio 2,4; 2,0 i 2,1°C) oraz w grudniu 0,2°C. Przebieg roczny temperatury wykazał liczne zaburzenia i anomalie, znacznie cieplejszy okazał się maj (-1,6°C), a chłodniejszy wrzesień (-4,1°C). Zaznaczyły się przy tym fale ochłodzeń, zarówno w lecie – z ujemną temperaturą powietrza (Kejna i in. 2012), jak i zimą – kiedy to średnia temperatura dobowa spadała poniżej -10°C oraz okresy cieplejsze, z charakterystycznymi śródzimowymi ociepleniemi z temperaturą powyżej 0°C (ryc. 7).

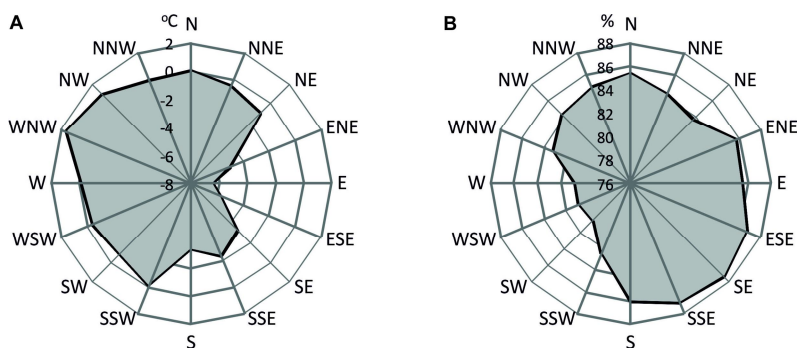
Okres letni charakteryzował się stabilniejszą pogodą, natomiast w okresie zimowym występowały gwałtowne wzrosty i spadki temperatury przekraczające 10°C na dobę. Najwyższa średnia dobowa temperatura wystąpiła w dniu 2 marca (6,2°C), a najniższa 10 czerwca (-15,2°C). Również w tych dniach zarejestrowano najwyższą (9,6°C) i najniższą (-17,2°C) temperaturę powietrza w 2012 roku.



Ryc. 7. Przebieg temperatury powietrza: średnia dobowa (Ti), maksymalna (Tmax) i minimalna (Tmin) na Stacji H. Arctowskiego w 2012 roku

Fig. 7. Course of air temperature: daily mean (Ti), maximum (Tmax), minimum (Tmin) at Arctowski Station in 2012.

Na przebieg temperatury wpływa kierunek adwekcji i związany z nim rodzaj napływających mas powietrza (Kejna 1999a). Dodatkowo przy wiatrach z północy i z zachodu, przepływające ponad okolicznymi kopułami lodowymi masy powietrza podlegają procesom fenizacyjnym (Styszyńska 1990), co dodatkowo podwyższa ich temperaturę (ryc. 8A). W 2012 roku najwyższa średnia temperatura powietrza wystąpiła przy wiatrach z kierunków: WNW (1,6°C), NW (1,0°C) oraz N (0,1°C), natomiast najniższa przy wiatrach ze wschodu: E (-6,4°C), ESE (-5,7°C), ENE (-5,0°C).



Ryc. 8. Średnia temperatura (A) i wilgotność powietrza (B) według kierunków wiatru na Stacji H. Arctowskiego w 2012 roku

Fig. 8. Mean air temperature (A) and relative air humidity (B) according to wind directions at the Arctowski Station in 2012.

W 2012 roku wystąpiło 105 dni z bez mrozu ($T_{min} \geq 0^{\circ}C$), z maksimum w styczniu – 29 dni (tab. 2). Nawet zimą wystąpiły dni bez mrozu, np. w sierpniu 6 dni. Śródzimowe ocieplenia są charakterystyczne dla tego rejonu (Rachlewicz 1997). Dni z $T_{min} < 0^{\circ}C$ najczęściej wystąpiło w lipcu (30 dni) oraz czerwcu i wrześniu (po 29 dni). Również latem, w każdym miesiącu możliwe są przymrozki: styczeń 2 dni, luty 8 dni i grudzień aż 27 dni. Dni mroźne ($T_{max} < 0^{\circ}C$) wystąpiły 108 razy. Najwięcej dni tej kategorii wystąpiło w lipcu (18 dni), nie stwierdzono ich w styczniu, a w lutym był 1 dzień, w grudniu i marcu po 2 dni. Dni bardzo mroźne ($T_{min} < -10^{\circ}C$) wystąpiły w okresie od kwietnia do października, w sumie było ich 60, w tym 15 dni w czerwcu. Dni z $T_{max} < -10^{\circ}C$ stwierdzono 10 i wystąpiły od czerwca do września – po 2-3 dni w miesiącu.

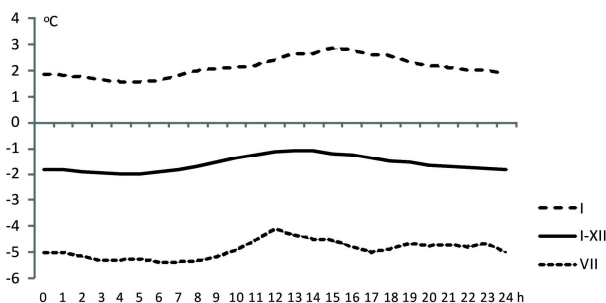
Tab. 2. Liczba dni charakterystycznych na Stacji H. Arctowskiego w 2012 roku

Table 2. Number of characteristics days at the Arctowski Station in 2012.

Temperatura Temperature	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII
$T_{min} \geq 0^{\circ}C$	29	21	20	6	7	1	1	6	1	4	5	4	105
$T_{min} < 0^{\circ}C$	2	8	11	24	24	29	30	25	29	27	25	27	261
$T_{max} < 0^{\circ}C$	.	1	2	13	13	16	18	12	14	13	4	2	108
$T_{min} < -10^{\circ}C$	.	.	.	6	2	15	12	11	12	2	.	.	60
$T_{max} < -10^{\circ}C$	.	.	.	.	.	3	2	2	3	.	.	.	10

Uśrednione przebiegi dobowe temperatury powietrza charakteryzują się niewielką amplitudą (ryc. 9). W styczniu 2012 r. najwyższa temperatura wystąpiła o godzinie 15, a najniższa o godzinie 5.

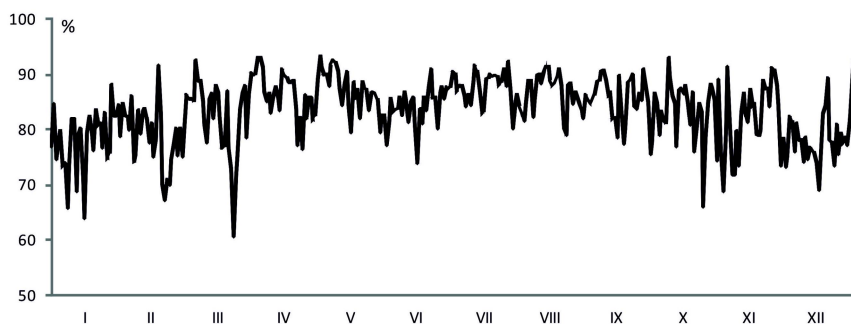
Zimą, kiedy czynnik solarny nie odgrywa tak istotnej roli, przebieg jest nieregularny. W uśrednionym dla roku przebiegu najwyższe wartości temperatury wystąpiły o godzinie 13, a najniższe o godzinie 5. W poszczególnych dniach przebiegi dobowe są jednak bardzo zróżnicowane, w wyniku adwekcji różnych mas powietrza maksima i minima dobowe mogą wystąpić o różnych porach doby.



Ryc. 9. Uśrednione przebiegi dobowe temperatury powietrza w styczniu (I), lipcu (VII) i roku (I-XII) na Stacji H. Arctowskiego w 2012 roku
 Fig. 9. Mean daily courses of air temperature in January (I), July (VII) and whole year (I-XII) at the Arctowski Station in 2012.

3.5. Wilgotność powietrza

Wilgotność względna powietrza w rejonie Stacji H. Arctowskiego jest wysoka ze względu na dominację morskich mas powietrza. W 2012 roku średnia wilgotność względna wyniosła 83% (tab. 1). W przebiegu rocznym mniejsza wilgotność wystąpiła w miesiącach letnich (styczeń – 78,0%, luty – 78,7%, grudzień – 78,9%), niż w chłodnej połowie roku (lipiec – 87,4%, maj – 86,9%, sierpień – 86,7%). Przebieg wilgotności względnej jest odwrotnością przebiegu temperatury, od której zależy maksymalne ciśnienie pary wodnej w powietrzu. Przy zbliżonych zasobach pary wodnej w powietrzu wzrost temperatury powoduje zmniejszenie wilgotności względnej.

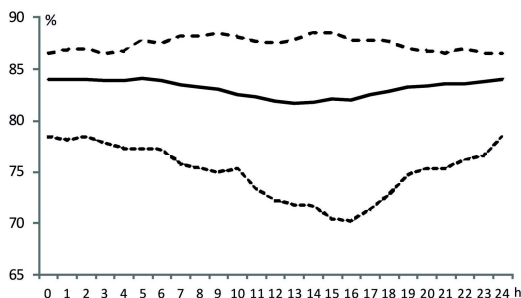


Ryc. 10. Przebieg wilgotności względnej powietrza na Stacji H. Arctowskiego w 2012 roku
 Fig. 10. Course of relative air humidity at Arctowski Station in 2012.

W przebiegu wilgotności względnej występują dni ze znacznymi jej spadkami, poniżej 70, a nawet 60%, związane z procesami fenzacyjnymi (ryc. 10). Najmniej nasycone parą wodną masy powietrza napływają z kierunków: SW (80,6%), WSW (80,8%), W (80,9%) – ryc. 8B, masy te muszą pokonać wysoką na ok. 700 m Kopułę Lodową Arctowskiego ogrzewając się według gradientu suchoadiabatyicznego i zmniejszając relatywnie swą wilgotność. Powietrze napływające od strony otwartej na SE

Zatoki Admiralicji jest bardziej nasycone parą wodną, a jego średnia wilgotność względna wyniosła przy wiatrach z: SE – 87,4%, SSE – 87,1%, ESE – 86,8%.

W uśrednionym dla roku przebiegu dobowym wilgotności względnej powietrza wystąpiło minimum w godzinach okołopołudniowych i maksimum w nocy (ryc. 11). Na taki przebieg wpływ wywarły głównie miesiące letnie, charakteryzujące się wyraźnymi zmianami wilgotności względnej powietrza w ciągu doby, z minimum w godzinach okołopołudniowych, w czasie występowania najwyższej temperatury powietrza. Natomiast w miesiącach zimowych przebieg dobowy był wyrównany, bez wyraźnego minimum i maksimum.



Ryc. 11. Uśrednione przebiegi dobowe wilgotności względnej powietrza w styczniu (I), lipcu (VII) i roku (I-XII) na Stacji H. Arctowskiego w 2012 roku

Fig. 11. Mean daily courses of relative air humidity in January (I), July (VII) and whole year (I-XII) at the Arctowski Station in 2012.

4. Podsumowanie i dyskusja wyników

Uzyskane na Stacji H. Arctowskiego w 2012 roku wyniki porównano z innymi stacjami prowadzącymi całoroczne pomiary meteorologiczne na Wyspie Króla Jerzego. Stwierdzono dużą zgodność w przebiegu temperatury i ciśnienia atmosferycznego (tab. 3).

Tabela 3. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza i ciśnienia atmosferycznego na Wyspie Króla Jerzego w 2012 roku*

Table 3. Mean monthly values of air temperature and air pressure on the King George Island in 2012*.

Stacja – Station	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII
Temperatura powietrza – Air temperature (°C)													
Arctowski	2,4	2,0	2,1	-2,9	-1,6	-5,6	-4,9	-3,2	-4,1	-2,2	-0,3	0,2	-1,5
Bellingshausen	1,5	0,8	0,9	-4,2	-2,8	-6,7	-5,3	-4,6	-5,7	-3,8	-2,0	-1,2	-2,8
Great Wall	1,7	1,2	1,1	-4,1	-3,0	-7,1	-5,6	-4,9	-5,5	-3,1	-1,5	-0,4	-2,6
Jubany (Carlini)	2,1	1,3	1,6	-4,1	-2,2	-7,3	-5,1	-4,2	-5,2	-2,6	-1,2	-0,3	-2,3
King Sejong	1,7	0,7	1,2	-4,2	-2,3	-7,0	-5,0	-4,2	-5,5	-3,2	-1,6	-0,7	-2,5
Marsh/Frei	1,3	0,7	0,7	-4,3	-2,8	-7,0	-5,4	-4,7	-5,7	-3,8	-2,2	-1,2	-2,9
Ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza – Air pressure at sea level (hPa)													
Arctowski	985,3	985,5	990,8	996,7	993,6	979,4	989,7	989,8	994,9	982,5	986,5	993,5	989,0
Bellingshausen	986,2	985,6	990,8	996,2	993,6	978,4	989,3	989,8	994,3	982,6	986,5	993,9	988,9
Great Wall	985,6	985,6	990,7	997,2	994,1	978,8	989,7	990,2	994,9	982,6	986,5	993,8	989,1
Jubany (Carlini)	986,3	986,5	990,2	997,4	995,0	980,2	990,4	991,0	995,8	982,9	987,2	993,2	989,7
King Sejong	984,7	984,6	989,5	995,8	992,1	977,2	988,1	988,4	993,2	981,0	985,1	991,7	987,6
Marsh/Frei	985,7	985,2	990,6	996,4	993,4	977,6	989,2	989,6	994,3	982,3	986,1	993,7	988,7

* – na podstawie bazy danych projektu READER SCAR – according to the READER project of the SCAR (<http://www.antarctica.ac.uk/met/READER/data.html>)

Potwierdziło się termiczne uprzywilejowanie rejonu Stacji H. Arctowskiego (Kejna i Lagun 2004) ze względu na częste występowanie zjawisk fenowych oraz tworzenie się nad stacją „okna fenowego” w pokrywie chmur (Marsz i Styszyńska 2000), sprzyja to zwiększonemu dopływowi promieniowania słonecznego (Kejna 2008). Średnia roczna temperatura powietrza była najwyższa na Stacji H. Arctowskiego ($-1,5^{\circ}\text{C}$) spośród wszystkich stacji na Wyspie Króla Jerzego, gdzie wahała się od $-2,3^{\circ}\text{C}$ na stacji Jubany (Carlini) do $-2,9^{\circ}\text{C}$ na stacji Marsh/Frei. Uprzywilejowanie termiczne Stacji H. Arctowskiego zaznaczyło się we wszystkich miesiącach, latem sięgało około 1°C (np. w styczniu: Arctowski $2,4^{\circ}\text{C}$, Marsh $1,3^{\circ}\text{C}$), a zimą nawet $1,5^{\circ}\text{C}$ (np. w czerwcu: Arctowski $-5,6^{\circ}\text{C}$, Jubany $-7,3^{\circ}\text{C}$).

Ciśnienie atmosferyczne na Wyspie Króla Jerzego wykazuje niewielkie zróżnicowanie, na Stacji H. Arctowskiego średnia roczna wartość wyniosła 989,0 hPa i jest zbliżona do rezultatów uzyskanych na sąsiednich stacjach, np. Bellingshausen – 988,9 hPa, Great Wall – 989,1 hPa, Jubany – 989,7 hPa). Większe różnice na pozostałych stacjach mogą wynikać ze sposobu redukcji ciśnienia (lub jej braku) do poziomu morza.

Na tle wielolecia rok 2012 na Stacji H. Arctowskiego okazał się przeciętny pod względem termicznym. Różnica w stosunku do średniej z lat 1977-1998 (Marsz, Styszyńska 2000) wyniosła $0,1^{\circ}\text{C}$. Wystąpiły przy tym znaczne anomalie, cieplej było w sierpniu o $2,4^{\circ}\text{C}$, maju i lipcu o $1,7^{\circ}\text{C}$ oraz marcu (o $0,9^{\circ}\text{C}$). Chłodniej zaś było w kwietniu o $-1,8^{\circ}\text{C}$, grudniu (o $-1,3^{\circ}\text{C}$) i czerwcu (o $-0,6^{\circ}\text{C}$). Również styczeń i luty były nieznacznie chłodniejsze.

Tab. 4. Średnie wartości elementów meteorologicznych na Stacji H. Arctowskiego w 2012 r. i w okresie 1977-1998*

Table 4. Mean values of meteorological elements at the Arctowski Station in 2012 and in the period 1977-1998*

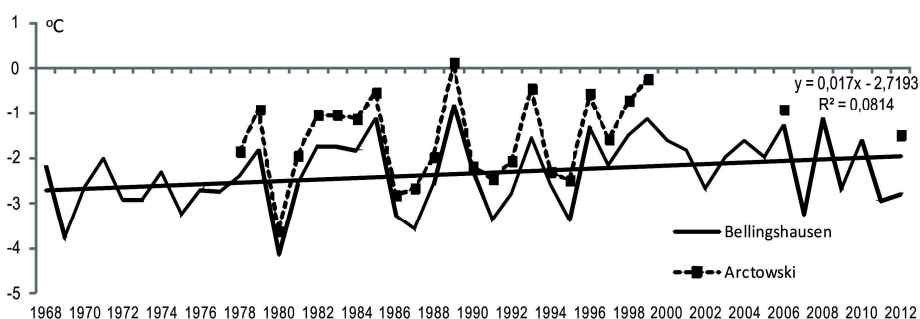
Lata - Years	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII
Ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza – Air pressure at sea level (hPa)													
2012	985,3	985,5	990,8	996,7	993,6	979,4	989,7	989,8	994,9	982,5	986,5	993,5	989,0
1977-1998	991,5	990,5	990,6	992,2	995,7	994,1	993,7	991,6	991,8	988,5	986,7	990,9	991,5
Prędkość wiatru – Wind velocity ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)													
2012 (2 m)	3,9#	4,5	4,5	5,5	4,2	6,1	4,1	5,7	5,9	5,6	4,6	3,1	4,8
977-1998 (10 m)	5,7	6,2	6,9	6,8	6,5	6,6	6,7	6,7	7,4	7,3	6,7	5,5	6,6
Promieniowanie słoneczne – Solar radiation ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$)													
2012	476,7#	415,2	257,7	89,0	25,1	10,4	22,2	75,3	234,1	343,5	468,4	567,8	2985,3
1980**	488,1	303,0	263,3	106,5	33,3	15,8	35,7	115,3	290,8	554,6	582,8	740,4	3529,6
1995***	536,2	420,3	230,2	84,7	32,9	13,4	28,7	110,6	260,8	421,3	524,7	548,0	3211,8
1996****	499,1	415,6	240,5	95,6	27,9	10,9	20,6	75,6	177,2	374,7	472,8	566,9	2977,4
Temperatura powietrza – Air temperature ($^{\circ}\text{C}$)													
2012	2,4	2,0	2,1	-2,9	-1,6	-5,6	-4,9	-3,2	-4,1	-2,2	-0,3	0,2	-1,5
1977-1998	2,5	2,3	1,2	-1,1	-3,3	-5,0	-6,6	-5,6	-3,7	-2,0	-0,2	1,5	-1,6
Wilgotność względna powietrza – Relative air humidity (%)													
2012	78,0	78,7	82,6	86,4	86,9	84,8	87,4	86,7	85,4	82,5	82,1	78,9	83,4
1977-1998	82,9	82,8	82,3	83,1	82,8	82,6	83,0	81,9	82,4	81,8	82,6	83,3	82,3

* – według Marsz, Styszyńska (red.), 2000, ** – według Marsz, Styszyńska 1994, *** – według Prošek i in., 1996, **** – według Kejna, Láska (red.), 1999, # – 18-31.01

* – according to Marsz, Styszyńska (eds.), 2000, ** – according Marsz, Styszyńska, 1994, *** – according to Prošek et al. (1996), **** – according to Kejna Láska (eds.), 1999, # – 18-31.01.

Wilgotność względna powietrza była zbliżona do normy, jednak latem powietrze było o 4-5% suchsze niż zazwyczaj, zimą zaś nieznacznie wilgotniejsze. Prędkość wiatru jest nieporównywalna, ze względu na różne poziomy pomiarowe, bliżej ziemi (na 2 m) tarcie o podłoże powoduje zmniejszenie prędkości wiatru.

Średnia roczna wartość ciśnienia atmosferycznego była o 2,5 hPa niższa niż w wieloleciu 1977-1998, szczególnie duże różnice wystąpiły w czerwcu (o -14,7 hPa) oraz styczniu (o -6,2 hPa), lutym (o -5,0 hPa) i lipcu (o -4,0 hPa). Wyższe wartości ciśnienia wystąpiły w kwietniu (o 4,5 hPa), wrześniu (o 3,1 hPa) i grudniu (o 2,6 hPa). Miesięczne sumy całkowitego promieniowania słonecznego były zbliżone do wartości uzyskanych przez innych badaczy (np. Marsz, Styszyńska 1994, Prošek i in. 1996, Kejna, Láska 1999), jednak suma dla całego roku (1.02. 2012 – 31.01.2013) wyniosła 2909,6 MJ·m⁻² i była niższa niż w 1980 i 1995 roku, i nieznacznie wyższa niż w 1996 roku (tab. 4).



Ryc. 12. Przebieg temperatury powietrza na stacjach: Bellingshausen (1968-2012) i Arctowski (1978-1999, 2006, 2012)

Fig. 12. Course of air temperature at the stations: Bellingshausen (1968-2012) and Arctowski (1978-1999, 2006, 2012)

W rejonie Półwyspu Antarktycznego występuje znaczny wzrost temperatury powietrza (Marsz i Rakusa-Suszczewski 1987, Marsz i Styszyńska 2000; Domack i in. 2003, King i in. 2003, Kejna 2003, 2008; Ferron i in. 2004, Angiel i in. 2010, Stastna 2010, Kejna i in. 2013). Niestety brak ciągłości pomiarów uniemożliwia przeanalizowanie tego procesu dla Stacji H. Arctowskiego. Na podstawie silnej korelacji w przebiegu temperatury powietrza z sąsiednią stacją Bellingshausen (Kejna i Lagun 2004) można jednak stwierdzić, iż również na Stacji H. Arctowskiego występuje wzrost temperatury. Na stacji Bellingshausen temperatura powietrza wzrasta o 0,17°C/10 lat (trend istotnie statystyczny $p < 0,05$) w latach 1968-2012 (ryc. 12). W ostatnich latach (po 1999 r.) nastąpiło załamanie dotychczasowego trendu i temperatura powietrza wyraźnie się obniża.

Podziękowania

Badania przeprowadzono w ramach projektu "Interakcje klimatyczno-glaciologiczne w warunkach globalnego ocieplenia. Studium na przykładzie SSSI No 8 (Wyspa Króla Jerzego, Zachodnia Antarktyka)" finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (NN 306 722540). Autorzy składają serdeczne podziękowania Uczestnikom XXXVI i XXXVII Wyprawy Antarktycznej PAN za pomoc logistyczną w przeprowadzeniu badań w rejonie Stacji H. Arctowskiego.

Literatura

- Angiel P.J., Potocki M., Biszczuk-Jakubowska J., 2010. Weather condition characteristics at the H. Arctowski Station (South Shetlands, Antarctica) for 2006, in comparison with multi-year research result. *Miscellanea Geographica*, 14: 79-89.
- Battke Z., Marsz A.A., Pudelko R., 2001. Procesy deglacji na obszarze SSSI No. 8 i ich uwarunkowania klimatyczne oraz hydrologiczne (Zatoka Admiralicji, Wyspa Króla Jerzego, Sztetlandy Poludniowe. *Problemy Klimatologii Polarej*, 11: 121-135.
- Domack E., Leventer A., Burnett A., Bindschadler R., Convey P., Kirby M., (red.), 2003. *Antarctic Peninsula Climate Variability*. Antarctic Research Series, 79, American Geophys. Union, Washington: 260 s.
- Ferron F.A., Simões J.C., Aquino F.E., Setzer A.W., 2004. Air temperature time series for King George Island, Antarctica. *Pesquisa Antartica Brasileira*, 4: 155-169.
- Kejna M., 1999a. Air temperature in the Admiralty Bay region (King George Island, Antarctica), in the period 1977-1996 according to meteorological data from the Arctowski Station. *Wydawnictwo Uniwersytetu Mikolaja Kopernika w Toruniu*: 128 s.
- Kejna M., 1999b. Air temperature on King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Polish Polar Research*, 20, 3: 183-201.
- Kejna M., 2003. Trends of air temperature of the Antarctic during the period 1958-2000, *Polish Polar Research*, 24, 2: 99-126.
- Kejna M., 2008. Rozklad przestrzenny i zmiany temperatury powietrza na Antarktydzie w drugiej polowie XX wieku. *Wydawnictwo Uniwersytetu Mikolaja Kopernika w Toruniu*: 272 s.
- Kejna M., Araźny A., Sobota I., 2013. The climatic change on King George Island (South Shetland Islands, Antarctica) in the years of 1948-2011, *Polish Polar Research*, 2: 213-235.
- Kejna M., Lagun V. 2004. Porównanie warunków klimatycznych na stacjach H. Arctowskiego i Bellingshausen (Wyspa Króla Jerzego, Sztetlandy Pd.) w latach 1977-1999. *Polish Polar Studies*, 30, Gdynia: 149-166.
- Kejna M., Láska K. (red.), 1999. *Arctowski 1996. Rocznik Meteorologiczny*, Toruń: 42 s.
- Kejna M., Sobota I., Araźny A., 2012. Warunki meteorologiczne w rejonie Stacji Arctowskiego (Wyspa Króla Jerzego, Antarktyka) w okresie 19.01-19.02.2012 roku, *Problemy Klimatologii Polarej*, 22: 103-116.
- King J.C., Turner J., Marshall G.J., Conolley W.M., Lachan-Cope T.A., 2003. Antarctic Peninsula climate variability and its causes as revealed by analysis of instrumental records. [w:] *Antarctic Peninsula Climate Variability*, Antarctic Research Series, 79: 17-30.
- Marsz A.A., Rakusa-Suszczewski S., 1987. Charakterystyka ekologiczna rejonu Zatoki Admiralicji (King George Island, South Shetland Islands). 1. Klimat i obszary wolne od lodu. *Kosmos*, 36, 1: 103-127.
- Marsz A., Styszyńska A., 1994. Pomiar promieniowania całkowitego na Stacji Arctowskiego z roku 1980. *Problemy Klimatologii Polarej*, 4: 59-64.
- Marsz A.A., Styszyńska A. (red.), 1997. *Rocznik Meteorologiczny Arctowski 1995*. Wyższa Szkoła Morska, Gdynia: 37 s.
- Marsz A.A., Styszyńska A. (red.), 2000. Główne cechy klimatu rejonu Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego. *Wyższa Szkoła Morska*, Gdynia: 264 s.
- Prošek P., Janouch M., Kruszewski G., 1996. Components of radiation balance and their regime in the summer of 1994/1995 at H. Arctowski Station (the South Shetlands). *Problemy Klimatologii Polarej*, 6: 107-138.
- Rachlewicz G., 1997. Mid-winter thawing in the vicinity of Arctowski Station, King George Island. *Polish Polar Research*, 18, 1: 15-24.
- Stastna V., 2010. Spatio-temporal changes in surface air temperature in the region of the northern Antarctic Peninsula and South Shetland Islands during 1950-2003. *Polar Science*, 4: 18-33.

- Styszyńska A., 1990. The effect of wind direction and orography on air temperature at the "Arctowski" Station, Polish Polar Research, 11, 1-2: 69-93.
- Styszyńska A., 1995. Kształtowanie się wskaźnika oceanizmu w rejonie Półwyspu Antarktycznego i Morza Weddella. XXII Sympozjum Polarne, Zamek Książ: 85-98.
- Turner J., Colwell S.R., Marshall G.J., Lachlan-Cope T.A., Jones P.D., Lagun V., Iagovkina S.. 2004. The SCAR READER Project: Toward a High-Quality Database of Mean Antarctic Meteorological Observations. Journal of Climate 17 (14): 2890-2898.
- van den Broeke M.R., 1998. The semi-annual oscillation and Antarctic climate. Part 1: Influence on near surface temperatures (1957-79), Antarctic Science, 10, 2: 175-183.
- Zwoliński Z., 1992. Pierwsza automatyczna rejestracja wybranych elementów meteorologicznych na Stacji Arctowskiego zimą 1990 roku. Problemy Klimatologii Polarnej, 2: 50-60.
- Zubek K., 1980. Climatic conditions at the H. Arctowski Station (King George Island, South Shetland Islands) in 1977. Polskie Archiwum Hydrobiologii. 27, 2: 235-244.

Wpłynęło: 9 lipca 2013 r., poprawiono: 26 września 2013 r., zaakceptowano: 13 października 2013 r.

Summary

This paper presents the meteorological conditions at the Arctowski Station (King George Island, South Shetland Islands, Antarctica) in 2012. Measurements were carried out using an automatic weather station Davis Vantage Pro+. At the Arctowski Station the global solar radiation in the period from January 19 to December 31, 2012 amounted to 2985.3 MJ·m⁻² (8.60 MJ·m⁻²·day⁻¹). Taking into account the full year from 1 February 2012 to 31 January 2013, this totaled to 2909.6 MJ·m⁻² (7.97 MJ·m⁻²·day⁻¹). The highest monthly value of solar radiation occurred in December, 567.8 MJ·m⁻² (18.32 MJ·m⁻²·day⁻¹) and the lowest in June, 10.4 MJ·m⁻² (0.35 MJ·m⁻²·day⁻¹). The average annual air temperature was -1.5°C, with the highest monthly average in January (2.4°C) and lowest in June (-5.6°C). The maximum of air temperature was 9.6°C, and the minimum -17.2°C. In 2012 the average atmospheric pressure at sea level was 989.0 hPa, with a characteristic semi-annual oscillation of pressure with two minima: in summer (January 985.3 hPa) and winter (June 979.4 hPa) and two maxima: in autumn (April 996.7 hPa) and spring (September 994.9 hPa). The lowest pressure was 946.8 hPa and the highest 1020.7 hPa. At the Arctowski Station SW, NE, E and SE winds dominate in accordance with gradient of air pressure and the local orography. The average wind speed at 2 m above the ground was 4.8 ms⁻¹, with maximum in winter (June 6.1 ms⁻¹) and minimum in summer (December 3.1 ms⁻¹). The maximum wind speed exceeded 40 ms⁻¹. Relative air humidity was 83%. There is less humidity in summer (January 78%) than in winter (July, 87%). In the course of humidity indicate the day with low humidity during foehn winds. Arctowski Station area is warmer to other regions of King George Island (about 1°C in summer and 1.5°C in winter). On the King George Island and Antarctic Peninsula area occurred increase of air temperature. At the neighboring station Bellingshausen in the years 1968-2012 air temperature rise by 0.17°C/10 years.

Key Words: meteorological conditions, Arctowski Station, climate change, King George Island, Antarctica.