

**WARUNKI METEOROLOGICZNE W REJONIE STACJI ARCTOWSKIEGO
(WYSPA KRÓLA JERZEGO, ANTARKTYKA)
W OKRESIE 19.01-19.02.2012 ROKU**

METEOROLOGICAL CONDITIONS IN THE ARCTOWSKI STATION REGION
(KING GEORGE ISLAND, ANTARCTIC) IN THE PERIOD 19.01-19.02.2012

Marek Kejna¹, Ireneusz Sobota², Andrzej Arażny¹

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

² – Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Wydział Nauk o Ziemi, Zakład Kriologii i Badań Polarnych
ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń
irso@umk.pl

Zarys treści. W artykule przedstawiono zróżnicowanie warunków meteorologicznych w rejonie Stacji H. Arctowskiego położonej na Wyspie Króla Jerzego (Szetlandy Południowe, Zachodnia Antarktyka) w okresie od 19 stycznia do 19 lutego 2012 r. Pomiary prowadzono na obszarze niezlodowaconym oraz na lodowcach Ekologii i Sphinx. Przeanalizowano różnice pomiędzy stanowiskami w zakresie temperatury i wilgotność powietrza (6 stanowisk), a ponadto promieniowania słonecznego oraz kierunku i prędkości wiatru (3 stanowiska). Stwierdzono znaczne zróżnicowanie topoklimatyczne związane z deniwelacjami terenu, ekspozycją, właściwościami podłoża oraz lokalną cyrkulacją atmosferyczną. Różnice te zmieniają się w cyklu dobowym oraz są ściśle uzależnione od czynników insolacyjno-radiacyjnych i cyrkulacyjnych.

Słowa kluczowe: warunki meteorologiczne, topoklimat, Stacja H. Arctowskiego, Antarktyka.

1. Wstęp

Na Wyspie Króla Jerzego (Szetlandy Południowe, Antarktyka) występują znaczne zmiany klimatyczne (Marsz, Rakusa-Suszczewski 1987, Marsz i Styszyńska 2000, Kejna 2003, Ferron i in. 2004, Angiel i in. 2010). Temperatura powietrza w latach 1948-2010 wzrosła w tempie 0.2°C na dekadę. Podobne zmiany temperatury występują na całym zachodnim wybrzeżu Półwyspu Antarktycznego (Domack i in. 2003, King i in. 2003, Kejna 2008a, Stastna 2010). Na Wyspie Króla Jerzego, o powierzchni ok. 1310 km², działa 8 całorocznych stacji badawczych, w których prowadzone są pomiary meteorologiczne. Pomiędzy niezbyt odległymi stacjami występują duże różnice pogodowe i topoklimatyczne (Kejna 1999b, Kejna i Lagun 2004).

Badania topoklimatyczne w rejonie Stacji H. Arctowskiego prowadzono dotychczas w ograniczonym zakresie. W lecie 1979 r. pomiary meteorologiczne na Lodowcu Sphinx prowadził Piasecki (1988). W latach 1979-1981 Moczydłowski (1986) badał warunki meteorologiczne w obrębie pobliskiej kolonii

pingwinów. W sezonie letnim 1990-1991 pomiary bilansu radiacyjnego na Lodowcu Ekologii prowadził Bintanja (1995). W 1995 r. Kruszewski (2000) badał pionowe gradienty temperatury powietrza w oparciu o stanowiska na Stacji H. Arctowskiego i Point Thomas. Natomiast w 1996 r. badania topoklimatyczne w cyklu całorocznym prowadzili Kejna i Láska (np. Kejna Láska 1997, 1999a,b, 2002; Kejna 2000). Latem 1997-1998 Braun i in. (2001) realizowali program glaciologiczny z pomiarami meteorologicznymi na Kopule Lodowcowej Arctowskiego (Arctowski Icefield). Natomiast latem 2006-2007 r. szereg punktów pomiarowych w rejonie Stacji H. Arctowskiego zainstalował Kejna (2008b) wykazując duże zróżnicowanie topoklimatyczne tego rejonu.

Postępująca deglacjacja na obszarze SSSI nr 8 (Battke i in. 2001) wpływa na warunki meteorologiczne na lodowcach oraz na ich przedpolu, stąd też nieodzowny jest stały monitoring tego procesu. W niniejszym artykule zaprezentowano pierwsze wyniki uzyskane w ramach realizacji projektu badawczego pt. "Interakcje klimatyczno-glaciologiczne w warunkach globalnego ocieplenia. Studium na przykładzie SSSI No 8 (Wyspa Króla Jerzego, Zachodnia Antarktyka)".

2. Obszar badań

Badania prowadzono w północnej części obszaru Site of Special Scientific Interest No. 8 (obecnie Antarctic Specially Managed Area No. 128). SSSI nr 8 został ustanowiony w 1979 r. na wniosek Polski ze względu na unikalną różnorodność fauny i flory charakterystyczną dla ekosystemu morskiego (Rakusa-Suszczewski 2003). Jego powierzchnia wynosi ok. 13 km² i obejmuje zachodnie wybrzeże Zatoki Admiralicji. Jest to obszar zróżnicowany fizjograficznie. Obszar lądowy jest porożciniany lodowcami uchodzącymi z Kopuły Lodowcowej Warszawy (Warszawa Icefield). Są to lodowce: Ekologii, Sphinx, Baranowskiego, Tower i Windy. Jak wykazały pomiary Battke i in. (2001) w wyniku postępującej deglacjacji obszar SSSI nr 8 w latach 1979-1999 zmniejszył się o 0.86 km². Powierzchnia zlodowacona wynosiła w 1999 r. 6.93 km², a niezlodowacona 6.08 km². Proces deglacjacji trwa nadal.

3. Metody badań

Na SSSI nr 8 wybrano 3 charakterystyczne dla tego obszaru obiekty badawcze: niezlodowaconą Oazę Arctowskiego, uchodzący do Zatoki Admiralicji Lodowiec Ekologii oraz kończący się na lądzie Lodowiec Sphinx. Pomiary topoklimatyczne prowadzono w okresie od 19 stycznia do 19 lutego 2012 r. Założono 3 profile pomiarowe: lądowy od wybrzeża (Stacja H. Arctowskiego, HA, 3 m n.p.m.) po Jardine Peak (JP, 280 m n.p.m.) oraz dwa lodowcowe: na Lodowcu Ekologii od czoła (E0) poprzez strefę ablacyjną (E2, E4) do jego strefy akumulacyjnej (E6) oraz na Lodowcu Sphinx od czoła (S0) po strefę ablacyjną (S2). Szczegółowe informacje o punktach pomiarowych zawiera tab. 1, a ich lokalizację przedstawiono na ryc. 1. Na ortofotomapie przedstawiono zasięg lodowców z sezonu letniego 1978/1979.

Na stanowiskach HA, E0 i S0 zainstalowano automatyczne stacje meteorologiczne Vantage Pro+ firmy Davis, natomiast na pozostałych stanowiskach rejestratory temperatury i wilgotności powietrza RHTemp101A firmy MadgeTech w osłonach antyradiacyjnych. Czujniki wszystkich przyrządów umieszczono na wysokości 2 m nad poziomem gruntu. Dodatkowo na HA zainstalowano czujniki HOBO do pomiarów temperatury gruntu na głębokościach 5, 20, 50 i 70 cm. Natomiast w punktach E2, E4 i S1 umieszczono czujniki do pomiarów temperatury lodu na głębokościach 1, 2, 4 i 10 m. Rejestrację wszystkich parametrów pomiarowych prowadzono w interwale codziennym według czasu strefowego.

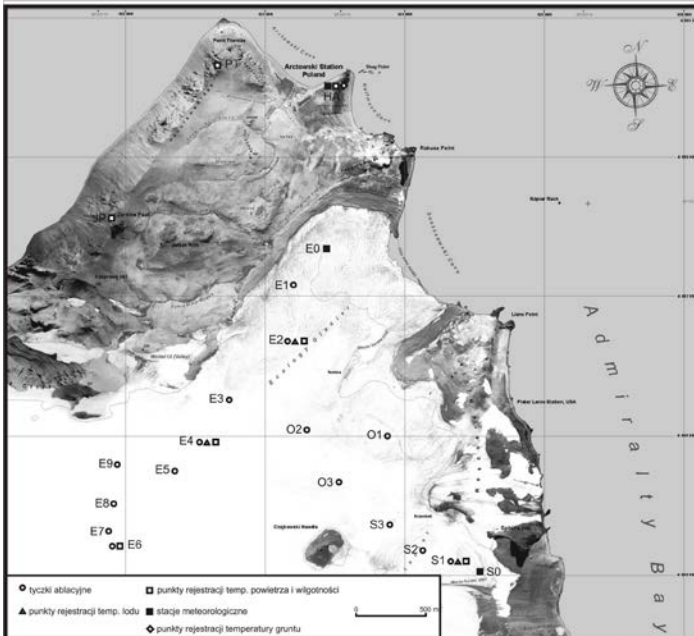
Tabela 1. Stanowiska pomiarowe i zakres pomiarów w rejonie Stacji H. Arctowskiego w sezonie letnim 2012

Table 1. Stands and range of measurements in the Arctowski Station region in the summer season 2012

Stanowiska Stands	Symbol na mapie Symbol on the map	Szerokość geogr. (S) Latitude (S)	Długość geogr. (W) Longitude (W)	Wysokość [m n.p.m.] Elevation [m a.s.l.]	Zakres pomiarów Measurements range
Oaza Arctowskiego - Arctowski Oasis					
Stacja Arctowskiego	HA	62°09'33.0"	58°28'05.9"	3	Vantage Pro+, RHTemp101A, HOBO
Uplaz	UP	62°09'45.2"	58°28'28.7"	61	RHTemp101A
Point Thomas	PT	62°09'27.3"	58°29'02.1"	173	RHTemp101A
Jardine Peak	JP	62°10'02.7"	58°29'54.2"	270	RHTemp101A
Lodowiec Ekologii - Ecology Glacier					
Czoło	E0	62°10'12.6"	58°28'16.6"	29	Vantage Pro+ RHTemp101A
Strefa ablacji	E2	62°10'15.5"	58°28'27.9"	101	RHTemp101A, HOBO
Linia równowagi	E4	62°10'53.9"	58°29'14.6"	200	RHTemp101A, HOBO
Strefa akumulacji	E6	62°11'16.8"	58°30'03.6"	320	RHTemp101A
Lodowiec Sphinx - Sphinx Glacier					
Czoło	S0	62°11'23.9"	58°27'05.3"	15	Vantage Pro+ RHTemp101A
Strefa ablacji	S2	62°11'22.8"	58°27'11.0"	51	RHTemp101A, HOBO

Objaśnienia: Vantage Pro+ – ciśnienie atmosferyczne, kierunek i prędkość wiatru, temperatura i wilgotność powietrza, opady atmosferyczne, promieniowanie słoneczne, UV; RHTemp101A – temperatura i wilgotność powietrza; HOBO – temperatura gruntu (HA) i lodu (E2, E4, S1).

Explanations: Vantage Pro+ – air pressure, wind direction and velocity, air temperature and humidity, precipitation, solar radiation, UV; RHTemp101A – air temperature and humidity; HOBO – ground temperature (HA) and ice temperature (E2, E4, S1).



Ryc. 1. Stanowiska pomiarowe w rejonie Stacji H. Arctowskiego w sezonie letnim 2012. Fragment ortofotomapy (Pudelko 2007)

Fig. 1. Measurements stands in the Arctowski Station region in the summer season 2012. Part of orthophotomap (Pudelko 2007).

4. Wyniki

Warunki pogodowe w sezonie letnim na Stacji H. Arctowskiego charakteryzują się znaczną zmiennością z dnia na dzień ze względu na dynamiczną sytuację synoptyczną (Marsz i Styszyńska 2000). W okresie od 19 stycznia do 19 lutego 2012 r. średni dopływ całkowitego promieniowania słonecznego do powierzchni ziemi wyniósł na Stacji H. Arctowskiego 14.3 MJ·m²·dzień, podczas gdy przed czołami lodowców Ekologii i Sphinx odpowiednio E0 – 12.8 MJ·m²·dzień i S0 – 12.0 MJ·m²·dzień (tab. 2). Najwyższe sumy dzienne promieniowania słonecznego wystąpiły na HA w dniach 26 stycznia (24.6 MJ·m²) i 7 lutego (24.1 MJ·m²), a najniższe w dniu 18 lutego 2012 r. (1.7 MJ·m²) – ryc. 2.

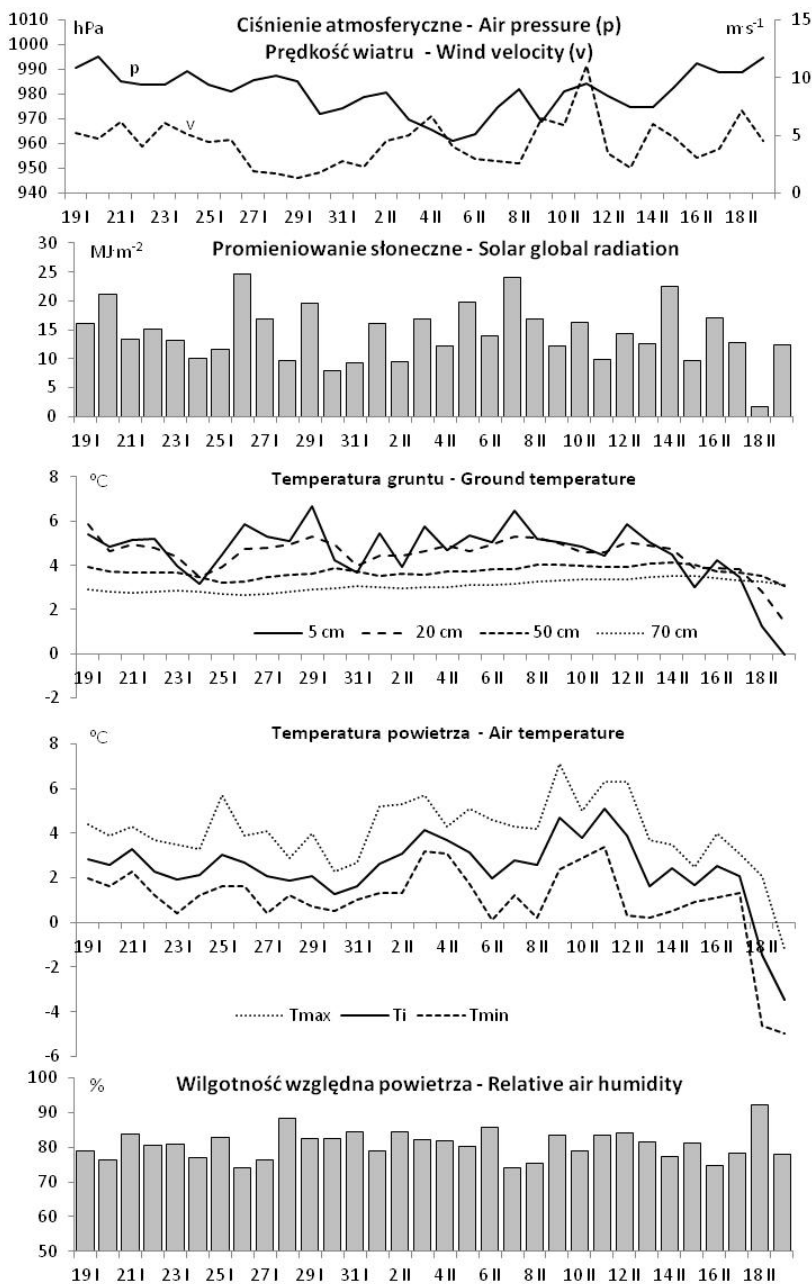
Tabela 2. Średnie wartości wybranych elementów meteorologicznych w rejonie Stacji H. Arctowskiego w okresie 19.01-19.02.2012 r.

Table 2. Mean values of selected meteorological elements in the Arctowski Station region in the period 19.01-19.02.2012

Element	Stacja Station	21-31 I	1-10 II	11-19 II	19 I-19 II
Całkowite promieniowanie słoneczne Global solar radiation [MJ·m ⁻²]	HA	13.8	15.8	12.5	14.3
	E0	13.3	12.7	11.4	12.8
	S0	13.2	11.6	11.1	12.0
Temperatura powietrza Air temperature [°C]	HA	2.2	3.3	1.6	2.4
	PT	1.0	1.8	-0.1	1.0
	JP	-0.7	0.4	-1.4	-0.6
	E0	1.4	2.6	0.8	1.6
	S0	1.7	2.6	1.1	1.8
	S2	.	1.4	0.0	.
Temperatura gruntu Ground temperature [°C]	HA 5 cm	4.8	5.2	3.5	4.6
	HA 20 cm	4.6	4.8	3.9	4.5
	HA 50 cm	3.6	3.8	3.8	3.7
	HA 70 cm	2.8	3.1	3.4	3.1
Wilgotność względna powietrza Relative air humidity [%]	HA	81.2	80.6	81.7	80.9
	PT	89.4	89.3	91.3	89.2
	JP	91.6	90.7	91.3	90.6
	E0	83.2	82.0	83.4	82.7
	S0	82.8	82.8	83.7	83.1
	S2	90.3	86.7	85.7	87.1
Opady atmosferyczne Precipitation [mm]	HA	2.4	21.6	41.6	66.6
	E0	7.6	13.8	23.0	44.4
	S0	3.4	12.0	10.4	25.8
Ciśnienie atmosferyczne Air pressure [hPa]	HA	982.9	972.7	984.5	980.8
Prędkość wiatru Wind velocity [m·s ⁻¹]	HA	3.6	4.3	5.1	4.3
	E0	3.1	3.2	4.2	3.5
	S0	3.6	3.6	5.1	4.1

Promieniowanie słoneczne wpływa na temperaturę gruntu, która na HA na głębokości 5 cm wyniosła 4.6°C i obniżała się wraz z głębokością do 3.1°C na 70 cm. Przypowierzchniowe warstwy gruntu (5 i 20 cm) osiągały najwyższą temperaturę w dniach o największym dopływie promieniowania słonecznego, np. na 5 cm w dniu 29 stycznia średnia dobowa wyniosła 6.7°C, a 7 lutego 6.5°C. W gruncie utrzymywał się normalny układ temperatury, dopiero adwekcyjne ochłodzenie pod koniec

analizowanego okresu doprowadziło do obniżenia temperatury gruntu i wystąpienia inwersji (na 5 cm w dniu 19 lutego 2012 r. temperatura spadła do -0.1°C).



Ryc. 2. Przebieg wybranych elementów meteorologicznych na Stacji H. Arctowskiego w okresie 19.01-19.02.2012 r.

Fig. 2. Course of of selected meteorological elements at the Arctowski Station in the period 19.01-19.02.2012.

Temperatura powietrza na Stacji H. Arctowskiego utrzymywała się powyżej 0°C, dopiero ochłodzenie w dniach 18-19 lutego 2012 r. przyniosło całodobowy mróz ze spadkiem temperatury do -5.0°C (ryc. 2). Średnia dobową temperaturą powietrza w analizowanym okresie na HA wyniosła 2.4°C. Najwyższa temperatura (7.1°C) została zarejestrowana w dniu 9 lutego. Pomiędzy HA a pozostałymi stacjami występują znaczne różnice w termice powietrza. Na terenie niezlodowaconym temperatura powietrza obniża się z wysokością nad poziom morza, na Pt. Thomas (173 m n.p.m.) wyniosła 1.0°C, a na Jardine Peak (280 m n.p.m.) -0.6°C. W stosunku do HA różnica temperatury w stosunku do PT osiągnęła 0.81°C/100 m wysokości, a dla JP 1.18°C/100 m. Przed czołami lodowców Ekologii (E0 1.6°C) i Sphinx (S0 1.8°C) temperatura była niższa w porównaniu do HA ze względu na częstszy napływ chłodnych, ukształtowanych nad podłożem lodowcowym, mas powietrza. Wpływ podłoża lodowcowego powoduje znaczne obniżenie temperatury powietrza, np. na stanowisku S1 na Lodowcu Sphinx średnia temperatura w poszczególnych dekadach była niższa o 1.6-1.9°C względem HA.

Wilgotność względna powietrza w rejonie Stacji H. Arctowskiego jest wysoka i w analizowanym okresie wyniosła 81%. Wraz z wysokością nad poziom morza następuje jej wzrost, np. Pt. Thomas (89%), Jardine Peak (91%). Przed czołem Lodowca Ekologii i Sphinx sięgała ona 83%, w górę lodowców wzrastała i na S1 wyniosła 87%. W przebiegu wilgotności względnej wystąpiły spadki do poniżej 60% oraz okresy z wilgotnością dochodzącą do 100% (ryc. 2).

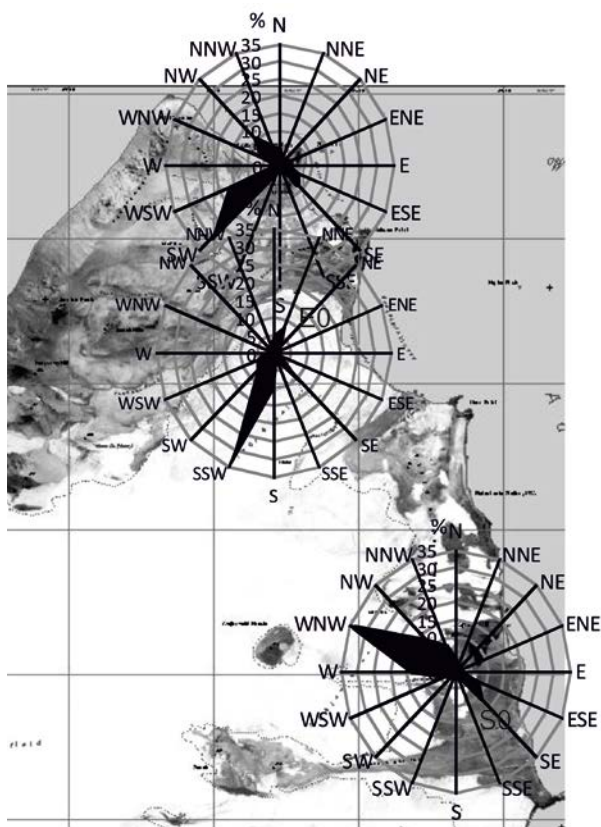
Opady atmosferyczne w analizowanym okresie były zróżnicowane, ich suma na HA wyniosła 66.6 mm, podczas gdy przed czołem Lodowca Ekologii (E0) sięgnęła 44.4 mm, a przed czołem Lodowca Sphinx (S0) - 25.8 mm (tab. 2). Większa suma opadów na HA wynika z dodatkowego nawiewania wody morskiej z Zatoki Admiralicji w czasie huraganowych wiatrów. Na przykład w dniu 11 lutego spadło na HA aż 39.8 mm wody (w tym znaczny udział wody morskiej), podczas gdy na E0 spadło 17.8 mm, a na S0 tylko 8.4 mm.

Ciśnienie atmosferyczne w rejonie Stacji H. Arctowskiego było bardzo niskie, w analizowanym okresie po redukcji do poziomu morza wyniosło 980,8 hPa. Wyspa Króla Jerzego jest położona w obrębie wokółantarktycznej bruzdy niskiego ciśnienia, często docierają tu niże przemieszczające się z zachodu na wschód poprzez Cieśninę Drake'a, lub też na pogodę oddziałuje niż znad Morza Bellingshausena. Najniższa wartość ciśnienia wystąpiła 6 lutego (957.9 hPa), a najwyższa 20 stycznia 2012 r. (996.3 hPa).

W północnej części SSSI nr 8 kierunki wiatru są uzależnione od układu rzeźby oraz lokalnej cyrkulacji jaka funkcjonuje na kontakcie obszarów zlodowaconych, oaz i Zatoki Admiralicji. Na HA przeważały wiatry z kierunku SW (28.6%) – zgodnego z przebiegiem Ezcurra Inlet oraz z NW (10.9%) i SE (7.9%). Natomiast na stanowiskach zlokalizowanych przed czołami lodowców przeważały wiatry z kierunków zgodnych z nachyleniem jeziorów lodowcowych: na E0 są to wiatry SSW (33.1%), a na S0 z WNW (33.9%). Zaznacza się też niewielki wzrost udziału wiatrów przeciwnych, np. na E0 z kierunku NNE (8.5%) oraz na S0 z kierunku SE (11.1%) – ryc. 3. Ciszę występują bardzo rzadko, na HA stanowią one 0.5%, na E0 nie wystąpiły, a na S0 wystąpiły z częstością 0.1%.

Średnia prędkość wiatru na Stacji H. Arctowskiego na 2 m n.p.g. wyniosła 4.3 m s⁻¹, maksymalne prędkości wiatru dochodziły do 29.1 m s⁻¹. Przed czołami lodowców Ekologii i Sphinx wystąpiła mniejsza średnia prędkość wiatru, odpowiednio E0 3.5 m s⁻¹ i S0 4.1 m s⁻¹ (tab. 2). Większa dynamika atmosfery na HA jest związana z częstymi huraganowymi wiatrami, które po przekroczeniu Kopyty Lodowcowej Arctowskiego spadają z wysokości ponad 600 m do obniżenia jakim jest Ezcurra Inlet i po wydostaniu

się z tego wąskiego fiordu, w postaci wirów docierają do Stacji H. Arctowskiego. Natomiast u czoł lodowców występuje katabatyczny spływ powietrza o umiarkowanej prędkości.

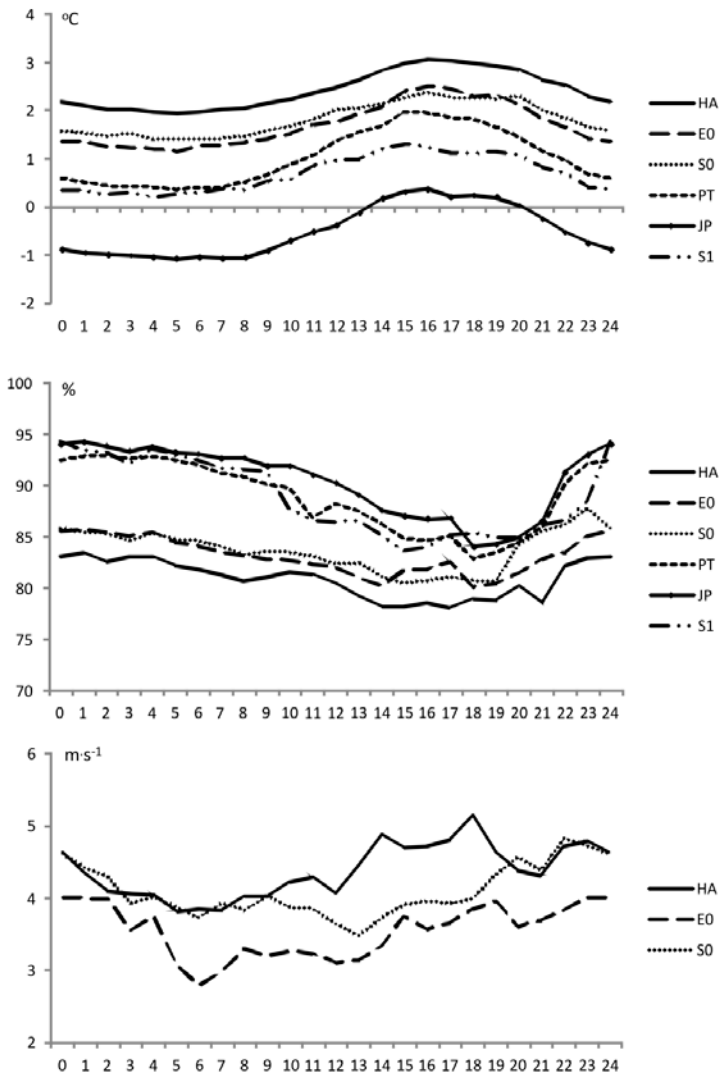


Ryc. 3. Częstość kierunków wiatru w północnej części SSSI nr 8 w okresie 19.01-19.02.2012 r.

Fig. 3. Frequency of wind directions in the north part of SSSI No 8 in the period 19.01-19.02.2012.

Zróżnicowanie topoklimatyczne zaznacza się również w przebiegu dobowym poszczególnych elementów meteorologicznych (ryc. 4). Temperatura powietrza na wszystkich stanowiskach osiąga najwyższe wartości w godzinach popołudniowych (15-16), natomiast najniższe w godzinach 4-5, czyli o wschodzie słońca o tej porze roku. Na stanowiskach położonych przed czołami lodowców (E0, S0) oraz na lodowcach (S2) w godzinach popołudniowych zaznacza się nieznaczne obniżenie temperatury związane z nasileniem wiatrów lodowcowych i napływem chłodniejszych mas powietrza. Na stacjach położonych na szczytach górskich (PT, JP) zmiany temperatury w ciągu doby są większe, w godzinach dopołudniowych temperatura szybko wzrasta, by następnie równie szybko obniżyć się w godzinach wieczornych i nocnych. Wilgotność względna powietrza osiąga na wszystkich stanowiskach najniższe wartości o godzinie 18-19, a najwyższe w godzinach nocnych. Przebieg ten, a zwłaszcza minimum popołudniowe, nawiązuje do zmian temperatury w ciągu doby, jest jego odwrotnością. Uśrednione przebiegi dobowe prędkości wiatru dla tak krótkiego okresu pomiarowego nie są jednoznaczne. Na stanowiskach HA i E0 zaznaczyło się dzienne maksimum prędkości wiatru uwarunkowane rosnącymi

gradientami termiczno-barycznymi między obszarami morskimi, lądowymi i lodowcowymi. Na stanowisku E0 maksimum prędkości wiatru przesunięte jest aż na godziny 22-24, w ciągu dnia prędkość wiatru u czoła Lodowca Ekologii była mniejsza.

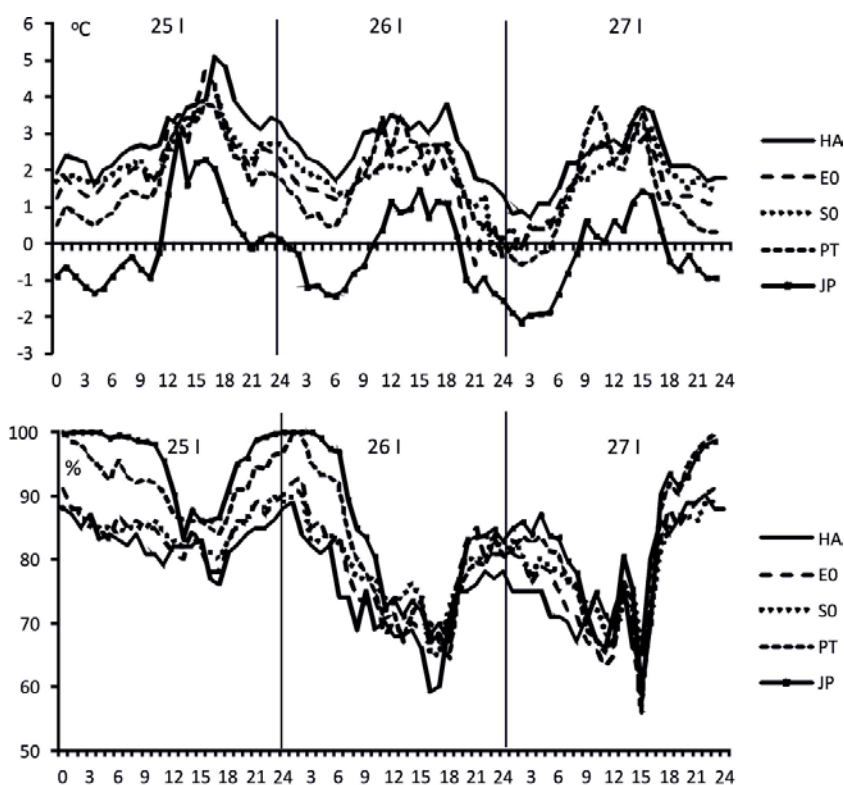


Ryc. 4. Przebieg dobowy temperatury powietrza, wilgotności względnej i prędkości wiatru w rejonie Stacji H. Arctowskiego w okresie 19.01-19.02.2012 r.

Fig. 4. Daily course of air temperature, air relative humidity and wind velocity in the Arctowski Station region in the period 19.01-19.02.2012.

W poszczególnych dniach występują bardziej złożone relacje pomiędzy stanowiskami. W okresie od 25 do 27 stycznia 2012 r. wystąpił insolacyjno-radiacyjny charakter pogody (ryc. 5). Dopływ promieniowania słonecznego sięgał w kolejnych dniach 11.7 MJ·m⁻², 24.6 MJ·m⁻² i 16.9 MJ·m⁻². Temperatura powietrza wykazywała typowy przebieg z maksimum w godzinach popołudniowych i minimum nocą.

Najwyższe wartości osiągnęła na HA (25 stycznia 5.7°C). Charakterystyczne jest szybsze nagrzewanie szczytów górskich (PT i JP) w stosunku do wybrzeża (HA). W godzinach dopołudniowych zaznacza się nawet inwersja temperatury pomiędzy wybrzeżem, a Point Thomas. W analizowanych dniach wystąpił, zwłaszcza w godzinach popołudniowych, znaczny spadek wilgotności względnej (do poniżej 60%). Jest on związany z rosnącą temperaturą powietrza oraz napływem sfenizowanych mas powietrza z południowo-zachodu (25 i 26 stycznia) i północnego-zachodu (27 stycznia). Napływające powietrze musiało przekroczyć wysokie na 500-700 m n.p.m. kopuły lodowcowe, co w konsekwencji mogło doprowadzić do spadku jego wilgotności względnej w wyniku procesów adiabatycznych.

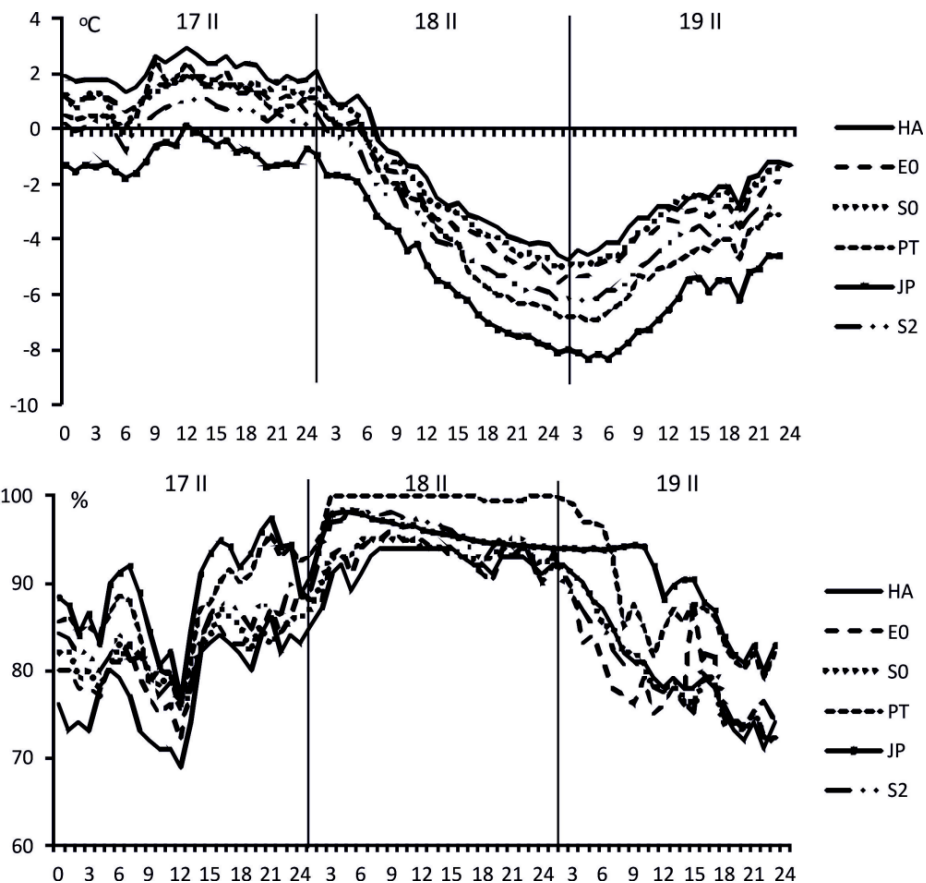


Rys. 5. Przebieg temperatury powietrza i wilgotności względnej w rejonie Stacji H. Arctowskiego w dniach 25-27 stycznia 2012 r.

Fig. 5. Course of air temperature and relative air humidity in the Arctowski Station region during the days 25-27 January 2012.

W dniach 17-19 lutego 2012 r. wystąpiło w rejonie Stacji H. Arctowskiego znaczne ochłodzenie (ryc. 6). Temperatura powietrza obniżyła się z 3.1°C w dniu 17 lutego do -4.6°C (18 lutego) i -4.8°C (19 lutego). Związane to było z napływem mas powietrza z południowo-wschodu. W dniu 18 lutego 2012 r. temperatura powietrza na wszystkich stanowiskach obniżała się, do poniżej -8.0°C na JP. Wystąpiło całkowite zachmurzenie, silne opady śniegu połączone z zamiecią, a ilość energii słonecznej sięgnęła zaledwie 1.7 MJ·m⁻². Ochłodzenie to zaznaczyło się jednocześnie na wszystkich punktach

pomiarowych. Wilgotność względna powietrza 17 lutego wykazała normalny przebieg, natomiast 18 lutego utrzymywała się przez cały dzień na wysokim poziomie 90-100%, by w kolejnym dniu zdecydowanie się obniżyć. Spadek wilgotności względnej świadczy o antarktycznym pochodzeniu tych mas powietrza.



Rys. 6. Przebieg temperatury powietrza i wilgotności względnej w rejonie Stacji H. Arctowskiego w dniach 17-19 lutego 2012 r.

Fig. 6. Course of air temperature and relative air humidity in the Arctowski Station region during the days 17-19 February 2012.

5. Podsumowanie i dyskusja wyników

Przeprowadzone badania wykazały zróżnicowanie przestrzenne warunków meteorologicznych w rejonie Stacji H. Arctowskiego. Pogoda w tym rejonie charakteryzuje się znaczną zmiennością z dnia na dzień uzależnioną od transformacji pola ciśnienia, przechodzących frontów atmosferycznych i rodzaju napływających mas powietrza (Kejna 1999a). Zróżnicowanie lokalne temperatury powietrza było związane z właściwościami podłoża, wysokością nad poziom morza, ekspozycją terenu, jego zacienieniem oraz lokalną cyrkulacją mas powietrza.

Średnia suma dobowa całkowitego promieniowania słonecznego wyniosła na HA 14.3 MJ·m²·dzień i była zbliżona do wcześniej uzyskanych wyników, np. Prošek i in. (1996) zarejestrowali w lecie 1995 r. w styczniu 16,81 MJ·m²·dzień i w lutym 13,10 MJ·m²·dzień. Potwierdziło się termiczne uprzywilejowanie Stacji H. Arctowskiego, gdzie występuje większy dopływ promieniowania słonecznego ze względu na tworzenie się nad stacją „okna fenowego” w pokrywie chmur (Marsz, Styszyńska, 2000, Kejna 2008b). Średnia temperatura na HA była wyższa niż przed czołami lodowców Ekologii i Sphinx, gdzie często dociera chłodne powietrze spływające po powierzchni lodowców. W porównaniu do lata 1996 r. dla przedpola Lodowca Ekologii różnica ta wynosiła w lecie 1995-1996 r. 0.2°C (Kejna 2000), w lecie 2006-2007 r. – 0.4°C (Kejna 2008b) i w 2012 r. – 0.8°C, jednak lokalizacja stanowisk pomiarowych różniła się w wyżej wymienionych sezonach. Na terenie Oazy Arctowskiego temperatura powietrza obniża się z wysokością. Uzyskane średnie pionowe zmiany temperatury na 100 m wysokości wyniosły 0.81°C (pomiędzy PT i HA). Są one większe w porównaniu do sezonu letniego 2006 r. (0.66°C), czy też w lata 1994-1995 r., kiedy to wyniosły 0.53°C (Kruszewski 2000). Wyżej (pomiędzy JP i PT) zmiany temperatury powietrza były jeszcze większe i wyniosły 1.4°C na 100 m, podczas gdy latem 2006/2007 sięgały one 0.78°C. Te ponadadiabatyczne zmiany temperatury świadczą o częstych procesach fenzacyjnych, jakie zachodzą po zawiętrznej stronie Wyspy Króla Jerzego (Styszyńska 1990). W poszczególnych sytuacjach pogodowych układ temperatury w pionie może wykazywać jeszcze większe zmiany. Zdarzają się jednak sytuacje inwersyjne (Kruszewski 2000). W porze letniej nad chłodnym oceanem w powietrzu tworzy się stratyfikacja o równowadze stałej, a nawet inwersyjnej. Dodatkowo występuje większy dopływ promieniowania słonecznego do dłużej oświetlonych szczytów górskich w porównaniu do niższej położonej Stacji H. Arctowskiego.

Pomiędzy obszarami niezlodowaconymi a lodowcami pionowy i poziomy gradient temperatury jest również podwyższony, np. u czoła Lodowca Sphinx w lecie 2012 r. różnica między stanowiskami S0 i S1 wyniosła 1.2°C/100 m na dystansie 200 m i różnicy wysokości ok. 40 m. W rejonie tym latem 1979 r. Piasecki (1988) stwierdził gradient sięgający 0.92°C/100 m wysokości. Różnice te zwiększają się zwłaszcza przy intensywnej insolacji, która prowadzi do silnego nagrzania powierzchni morenowej, podczas gdy topniejąca powierzchnia lodowca ma temperaturę 0°C. Wpływ promieniowania słonecznego ogranicza na lodowcach również wysokie albedo ich powierzchni, które na Kopule Lodowej Arctowskiego sięga 81,1-86,5% (Braun i in. 2001). W wyższych partiach Lodowca Ekologii i na Kopule Warszawy spadek temperatury powietrza sięgał latem 2006/2007 od 0.66°C do 0.72°C/100 m (Kejna 2008) i 0.71°C/100 m według Brauna i in. (2001).

W przebiegu dobowym występuje symetryczny względem południa słonecznego dopływ promieniowania słonecznego (Prošek i in. 2000). Natomiast temperatura powietrza osiąga maksimum późnym popołudniem (Kejna 1999, 2008b, Marsz i Styszyńska 2000). W przebiegu dobowym temperatury przed czołem lodowców w godzinach popołudniowych występuje nieznaczne ochłodzenie związane ze zwiększoną intensywnością wiatrów lodowcowych. Podobne zjawisko wystąpiło w lecie 1979 r. (Piasecki 1988). Na szczytach górskich następuje szybszy wzrost temperatury w godzinach przedpołudniowych, ale i szybsze ochładzanie po południu.

Kierunek wiatru jest uzależniony od makrogradientu ciśnienia oraz lokalnego układu rzeźby. Na stacji H. Arctowskiego przeważały wiatry z kierunków: SW, NW i SE. Natomiast na lodowcach dominują wiatry wiejące wzdłuż ich jezorów (cyrkulacja katabatyczna), u czoła Ekologii z SSW (33.1%) i u czoła Sphinx z WNW (33.9%). Również w lecie 1979 r. na Lodowcu Sphinx dominowały wiatry NW), które jak wykazały badania Piaseckiego (1988) miały charakter spływu pseudofenowego. Ten

typ cyrkulacji jest charakterystyczny także dla innych lodowców w tym rejonie (Zubek 1980). W lecie 2012 r. najsilniejsze wiatry ($4.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) występowały na Stacji H. Arctowskiego, do której docierają wiatry tunelowe, wydostające się z fiordu Ezcurra w postaci wirów, co opisywano we wcześniejszych pracach (np. Styszyńska 1990, Marsz i Styszyńska 2000). Silne wiatry wieją również wzdłuż jeziorów lodowcowych, np. na lodowcach Ekologii $3.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i Sphinx $4.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. W lecie 2006/2007 r. średnia prędkość wiatru w części ablacyjnej Lodowca Ekologii wyniosła $4.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Kejna 2008b), a na Lodowcu Sphinx w 1979 r. $4.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Piasecki 1988). W przebiegu dobowym na wszystkich stanowiskach największe prędkości wiatru występują w godzinach okołopołudniowych, kiedy to narastają gradienty termiczno-baryczne nad zróżnicowanym podłożem (lądowym, morskim i lodowcowym).

Wilgotność względna powietrza w rejonie Stacji H. Arctowskiego jest wysoka ze względu na duży udział morskich mas powietrza (Marsz i Styszyńska 2000). Średnia wilgotność względna w lecie 2012 r. na wybrzeżu wyniosła: HA 81%, E0 i S0 83%, podobne wartości wystąpiły w lecie 2006/2007 r. (Kejna 2008b). Wilgotność względna wzrastała wraz z wysokością nad poziom morza do 89% na PT i 91% na JP. W lecie 2006/2007 na Kopule Warszawy wyniosła nawet średnio 97% (Kejna 2008), a na Kopule Arctowskiego 98% (Braun i in. 2001). Na przebieg wilgotności względnej istotny wpływ wywierają wiatry fenowe z sektora północnego i z zachodniego. Zmniejszenie wilgotności względnej następuje również przy napływie suchszych mas powietrza kontynentalnego z sektora od E przez S do SW (Marsz i Styszyńska 2000), co potwierdziło ochłodzenie w dniach 17-19 lutego 2012 r. Przebieg dobowy wilgotności względnej jest odwrotny względem temperatury powietrza.

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 Wyprawy Antarktycznej PAN za pomoc logistyczną w przeprowadzeniu badań w rejonie Stacji H. Arctowskiego.

Literatura

- Angiel P.J., Potocki M., Biszczyk-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: 5-11.
- 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 Południowe. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 11: 121-135.
- Bintanja R., 1995. The local energy balance of the Ecology Glacier, King George Island Antarctica: Measurements and modelling. *Antarctic Science*, 7 (3): 315-325.
- Braun M., Saurer H., Vogt S., Simoes J.C., Grossmann H., 2001. The influence of large-scale atmospheric circulation on the surface energy balance of the King George Island ice cap. *International Journal of Climatology*, 21: 21-36.
- 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 Antártica 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 Mikołaja 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., 2000. Warunki meteorologiczne na obszarze SSSI nr 8 (Wyspa Króla Jerzego, Antarktyka) w 1996 r. *Acta Universitatis Nicolai Copernici, Geografia*, 31: 157-181.
- Kejna M., 2003. Trends of air temperature of the Antarctic during the period 1958-2000, *Polish Polar Research*, 24 (2): 99-126.
- Kejna M., 2008a. Rozkład przestrzenny i zmiany temperatury powietrza na Antarktydzie w drugiej połowie XX wieku. *Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu*: 272 s.
- Kejna M., 2008b. Topoclimatic conditions in the vicinity of the H. Arctowski Station (King George Island, Antarctica) during the summer season of 2006/2007. *Polish Polar Research*, 29 (2): 95-116.
- 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*, Gdynia: 149-166.
- Kejna M., Láska K., 1997. Dependence of weather conditions on wind direction at the Arctowski Station (South Shetland Islands, Antarctica) in 1996. [w:] P. Głowacki (red.) *Polish Polar Studies. 24th Polar Symposium*, Warszawa: 153-157.
- Kejna M., Láska K., 1999a. Influence of Adelie penguin colony on the temperature of the air layer near the surface (King George Island, Antarctica) in spring 1996. [w:] Repelewska-Pękałowa J. (red.), *Polish Polar Studies, 26th International Polar Symposium*, Lublin: 113-119.
- Kejna M., Láska K., 1999b. Spatial differentiation of ground temperature in the region of H. Arctowski Station (King George Island, Antarctica) in 1996. *Polish Polar Research*, 20 (3): 221-241.
- Kejna M., Láska K., 2002. Pokrywa śnieżna w rejonie Stacji H. Arctowskiego (Sztetlandy Pd. Antarktyka) w latach 1978-1996. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 8: 79-94.
- King J.C., Turner J., Marshall G.J., Connolley 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.
- Kruszewski G., 2000. Inwersje temperatury powietrza. [w:] Marsz A.A., Styszyńska A. [red.], 2000, Główne cechy klimatu rejonu Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego, Wyższa Szkoła Morska, Gdynia: 105-113.
- Marsz, A.A., 2000. Charakterystyka fizyczno-geograficzna obszarów lądowych w otoczeniu Zatoki Admiralicji (Antarktyka Zachodnia, Sztetlandy Południowe, Wyspa Króla Jerzego). *WSM*, Gdynia: 125 s.
- 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.A., Styszyńska A. (red.), 2000. Główne cechy klimatu rejonu Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego. *Wyższa Szkoła Morska*, Gdynia: 264 s.
- Moczydłowski E., 1986. Microclimate of the nest-sites of pygmy penguins (Admiralty Bay, South Shetland Island). *Polish Polar Research*, 7 (4): 377-394.
- Piasecki J., 1988. Wybrane problemy przebiegu elementów meteorologicznych w rejonie lodowca Sphinx podczas lata antarktycznego 1978/79 r. (Zatoka Admiralicji, Wyspa Króla Jerzego). *Acta Universitatis Wratislavis, 738*: 173-192.
- 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 Polarnej*, 6: 107-138.
- Pudełko R., 2007. Orthophotomap. Western Shore of Admiralty Bay. 1:10000, Department of Antarctic Biology Polish Academy of Science.
- Rakusa-Suszczewski S., 2003. Functioning of the geocosystem for the west side of Admiralty Bay (King George Island, Antarctica): Outline of research at Arctowski Station. *Ocean and Polar Research*, 25 (4): 653-662.

- Stasna 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.
- 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: 29 czerwca 2012 r., poprawiono: 24 października 2012 r.

Summary

The topoclimatic research carried out in the summer 2012 (January 19 - February 19) showed diversity of meteorological conditions in the H. Arctowski Station surroundings. The analysed period had changeable weather conditions. An average level of solar radiation at the Arctowski Station was $14.3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ a day, while its daily sums ranged from 1.7 to $24.6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$. Atmospheric pressure oscillated considerably from day to day. Its mean value was 980.8 hPa. The highest temperatures were recorded on the coastal lowland where the H. Arctowski Station was built (2.4°C). Air temperature at the front of the Ecology (1.6°C) and Sphinx (1.8°C) Glaciers is lower due to frequent influx of cool air masses from the glacial interior of the island. On the non-glaciated area air temperatures lower with the altitude. Between the Point Thomas and Arctowski Station the temperature difference was $0.81^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ and between Jardine Peak and Arctowski Station was $1.18^\circ\text{C}/100 \text{ m}$. These higher lapse-rates inform about frequent föhn processes which take place on the leeward side of the King George Island. The largest temperature lapse-rate over the glaciated areas is recorded at the contact zone between the glacier and its marginal zone. These differences grow when insolation is intensive, as it results in significant heating of the morainic ground, while the temperatures above the glacial surface remain low (ablation takes place at 0°C). Relative air humidity in the H. Arctowski Station region is high due to a large share of maritime air masses. Mean relative humidity on the seacoast ranged from 81% at the Arctowski Station and grew with the altitude to 91 on the Jardine Peak. The course of the relative humidity is significantly influenced by föhn winds, during which humidity drops to 60%. Lower relative air humidity is also recorded when dry continental air masses inflow from the sector between E through S to SW. Wind direction at the three analysed stations corresponds with the local relief layout. The prevailing winds at the H. Arctowski Station include the winds from the sectors SW (28,6%), NW (10,9%), and SE (7,9%). The most frequent winds at the front of the Ecology and Sphinx Glaciers are katabatic ones blowing along the tongue of glaciers from the Warszawa Icefield. Considering the diurnal course, the highest wind velocities at all the stations are recorded around noon as this is the time thermal and pressure lapse-rates increase above varied ground (land, maritime and glacial). Topoclimatic diversity in the H. Arctowski Station area depends on weather conditions. It grows when the weather shows insolation and radiation character, and it lowers at high cloudiness.

Key Words: meteorological conditions, topoclimate, Arctowski Station, Antarctica.