

TEMPERATURA GRUNTU NA STACJI H. ARCTOWSKIEGO (SZETLANDY PD., ANTARKTYKA) W 1996 ROKU

Marek Kejna

Zakład Klimatologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń

Kamil Láska

Department of Geography, Faculty of Sciences, Masaryk University,
Brno, Czech Republic

Wstęp

Badania temperatury gruntu na Stacji im. H. Arctowskiego (King George Island, Szetlandy Pd.) prowadzono w czasie XX Wyprawy Antarktycznej Polskiej Akademii Nauk w ramach programu naukowego koordynowanego przez Zakład Biologii Antarktyki PAN.

Warunki termiczne w przygruntowej warstwie powietrza oraz na powierzchni i w obrębie gruntu mają podstawowe znaczenie dla rozwoju roślinności oraz fauny glebowej. W warunkach klimatu subantarktycznego, jaki panuje na Szetlandach Południowych (Marsz i Rakusa-Suszczewski, 1987), termika gruntu wykazuje specyficzny przebieg będący efektem dużej zmienności warunków pogodowych, dużego zachmurzenia, małego osłonecznienia, silnych wiatrów, częstych opadów atmosferycznych, miększej i długo zalegającej pokrywy śnieżnej. Ważnym czynnikiem wpływającym na warunki termiczne powietrza i gruntu na Stacji H. Arctowskiego są adwekcyjne zmiany temperatury powietrza (Kejna, 1996) oraz zjawiska fenowe (Wielbińska i Skrzypczak, 1988; Styszyńska, 1990).

W obrębie gruntu proces rozchodzenia się ciepła zależy od właściwości fizycznych gruntu, jego składu mineralnego, wilgotności i innych czynników wpływających na przewodnictwo i pojemność cieplną gruntu (Washborn, 1979).

W czasie 20-letnich badań prowadzonych na Stacji H. Arctowskiego problem termiki gruntu był podejmowany przez różnych badaczy jednak ukazało się zaledwie kilka doniesień o temperaturze gruntu w ramach sprawozdań o warunkach pogodowych w poszczególnych latach (np. Kratke i Wielbińska, 1981; Niemiec i Rawa, 1989) lub też z sezonu letniego (Piasiecki, 1988; Prošek, 1996). Brak jest jednak kompletnej, całorocznej serii pomiarowej.

Metody i miejsce pomiarów

Badania nad termiką gruntu na Stacji H. Arctowskiego ($\varphi=62^{\circ}10'S$, $\lambda=58^{\circ}28'W$, $h=2$ m n.p.m.) prowadzono w okresie od 17 grudnia 1995 r. do 31 grudnia 1996 r. Pomiary wykonywano w ogródku meteorologicznym (patrz ryc. 1 w artykule o warunkach pogodowych, w tym tomie), który został zlokalizowany na obszarze mszarnika na nieznacznym wyniesieniu interpretowanym jako stary wał burzowy (Marsz i Rakusa-Suszczewski, 1987). Wał ten jest zbudowany z utworów piaszczysto-żwirowych z otoczkami, które zalegają na iltach. Miąższość utworów piaszczystych sięga 90 cm. Teren mszarnika jest silnie podmokły i znaczny procent jego powierzchni zajmują płytkie jeziorka. Spływające potoki z otaczających mszarnik wzgórz są zasilane opadami atmosferycznymi oraz wodami z topniejącej pokrywy śnieżnej. Przy intensywnych odwilżach, szczególnie na wiosnę, mszarnik jest zalewany przez wodę. Poziom wody w gruncie na stanowisku pomiarowym zależy od stanu wody w pobliskim (ok. 10 m) jeziorku, w momencie instalowania termometrów sięgał ok. 30 cm. Powierzchnia ogródka meteorologicznego jest bardzo rzadko porośnięta roślinnością (ok. 25%) z przewagą mchów *Politrichetum alpini* i *Drepanocladus uncinatus* i porostów, miejscami występują kępki traw *Deschampsia antarctica* oraz *Colobantus quitensis* z rodziny goździkowatych (Furmańczyk i Ochyra, 1982).

Pomiary termiki gruntu wykonywano za pomocą termometrów kolankowych na głębokościach 1, 5, 10, 20, 30 i 50 cm oraz termometrów wyciągowych na głębokościach 75 i 100 cm). Pomiary do głębokości 50 cm wykonywano cztery razy na dobę o godz. 02, 08, 14 i 20 czasu strefowego

(06, 12, 18 i 24 GMT), natomiast na głębokościach 75 i 100 cm raz na dobę o godz. 14.

Warunki pogodowe

Termika gruntu zależy od czynników kształtujących bilans radiacyjny i cieplny powierzchni gruntu oraz właściwości fizycznych i wilgotnościowych samego gruntu. Analiza danych (z lat 1968-73) z sąsiedniej, odległej o ok. 40 km, stacji Bellingshausen (Spravočnik ..., 1974) wykazała że do powierzchni gruntu na Wyspie Króla Jerzego średnio w ciągu roku dociera ok. 49.6 tys. kW/m^2 energii (na stacji H. Arctowskiego w 1981 r. zarejestrowano 58.8 tys. kW/m^2 - Marsz, Styszyńska, 1994). Najwyższe sumy promieniowania globalnego rejestruje się w grudniu i przekraczają one 10 tys. kW/m^2 (stacja H. Arctowskiego 12.4 tys. kW/m^2 w 1981 r.). W okresie zimowym sumy promieniowania globalnego są bardzo niskie i sięgają około 0.2 tys. kW/m^2 . Najwięcej energii słonecznej dociera do powierzchni gruntu w okresie letnim. Maksymalnie sumy dobowe promieniowania słonecznego na stacji H. Arctowskiego przekraczają 500 kW/m^2 (w 1981 r. 629 kW/m^2). W godzinach południowych do powierzchni gruntu na stacji H. Arctowskiego dociera nawet w 950 W/m^2 energii słonecznej w ciągu minuty (Prošek *i in.*, 1996). Wobec dużego zachmurzenia i małego usłonecznienia aż 78.1% energii słonecznej dociera do powierzchni gruntu w postaci promieniowania rozproszonego. Bilans promieniowania krótkofalowego (słonecznego) jest bardzo niski i sięga w skali roku 25.7 tys. kW/m^2 . Aż 58% promieniowania globalnego jest odbijane od powierzchni, ponieważ przez ok. 9 miesięcy w roku jest ona pod pokrywą śnieżną, której średnie albedo ocenia się na 86%. Albedo powierzchni gruntu w okresie letnim na mszarniku, na którym prowadzono pomiary, nie przekracza 20% (Prošek *i in.*, 1996). Bilans radiacyjny w skali roku wynosi średnio 12.1 tys. kW/m^2 , jest on jednak od kwietnia po wrzesień ujemny. Bilans radiacyjny zmienia się także w ciągu doby i latem, jest on dodatni w godzinach od 4 do 20 (Prošek *i in.*, 1996).

Z czynników pośrednio wpływających na termikę gruntu na Stacji H. Arctowskiego przeanalizowano: wielkość zachmurzenia, usłonecznienie, temperaturę powietrza oraz miąższość pokrywy śnieżnej (tab. 1, ryc.1).

W 1996 r. na Stacji H. Arctowskiego wystąpiło duże zachmurzenie (8.3 w skali 0-10). W przebiegu rocznym największe zachmurzenie zaobserwowano we wrześniu (8.9) oraz w styczniu (8.7) i czerwcu (8.7), mniejszym zachmurzeniem charakteryzowały się kwiecień (7.5) i październik

(7.8) - tab. 1. W ciągu roku wystąpiły zaledwie 3 dni pogodne (średnie dobowe zachmurzenie ≤ 2), 137 dni chmurnych ($2 < Z \leq 8$) i aż 226 dni pochmurnych ($z > 8$), w tym 49 dni z całkowitym zachmurzeniem nieba (Kejna i Las-ka, 1997).

Tabela 1 - Table 1

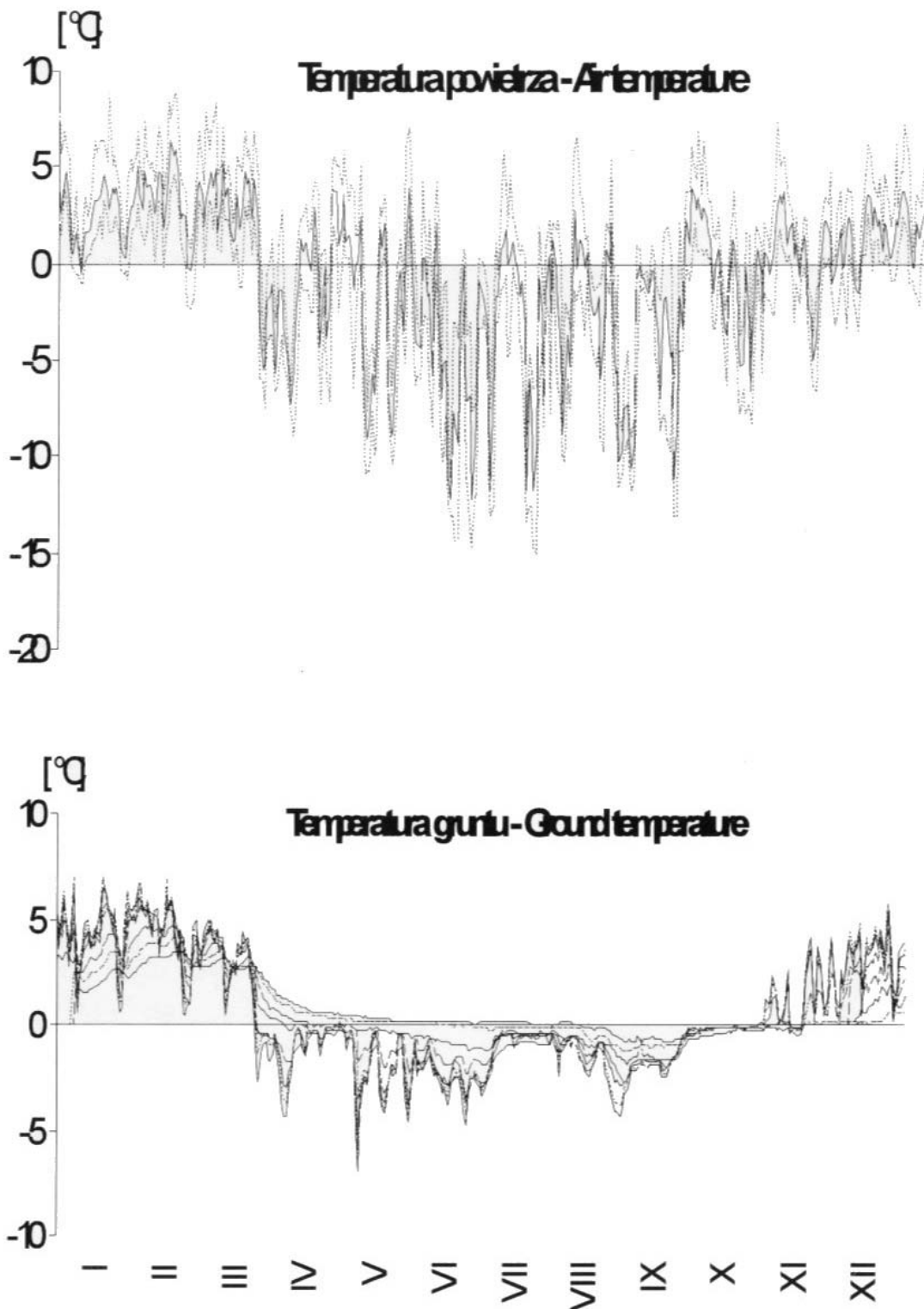
Średnie wartości zachmurzenia (C, 0-10), usłonecznienia (Sd, h), temperatury powietrza (Ts, °C) i maksymalne miąższości pokrywy śnieżnej (Rs, cm) na Stacji H. Arctowskiego w 1996 r.

Mean values of cloudiness (C, 0-10), sunshine duration (Sd, h), air temperature (Ts, °C) and maximum of snow cover (Rs, cm) at the Arctowski Station in 1996

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII
C	8.7	8.1	8.4	7.5	8.5	8.7	8.2	8.1	8.9	7.8	8.4	8.3	8.3
Sd	126.6	122.0	78.2	51.7	6.8	7.9	13.8	26.2	21.5	95.0	95.3	115.3	760.3
Ts	2.4	3.4	2.0	-1.1	-2.3	-4.9	-3.1	-3.4	-1.0	-0.9	0.3	1.7	-0.6
Rs	2	2	2	5	8	23	27	68	73	38	9	15	73

Potencjalna ilość godzin ze Słońcem jest uzależniona od długości dnia, który na Stacji H. Arctowskiego trwa od 4^h 31^m w czerwcu do 19^h 22^m w grudniu. Przy dużym zachmurzeniu w 1996 r. na Stacji H. Arctowskiego zarejestrowano zaledwie 760.3 godz., co stanowi 19,8% usłonecznienia możliwego. W przebiegu rocznym najwięcej godzin ze Słońcem wystąpiło latem (styczeń - 126.6, luty - 122.0 i grudzień - 115.3 godz.), natomiast zimą notowano poniżej 10 godzin ze Słońcem na miesiąc: maj - 6.8 i czerwiec - 7.9. Niekorzystne warunki oświetleniowe potwierdza liczba dni bez Słońca, których na Stacji H. Arctowskiego było aż 124 co stanowi 33,9% roku. Występują jednak dni z dużym usłonecznieniem, np. 27 grudnia usłonecznienie wyniosło 15.5 godz. (79.7% usłonecznienia możliwego), 21 stycznia 13.1(72.5%) czy 27 października 12.6 godz. (81.1%). Przy takich warunkach insolacyjnych następuje intensywne nagrzewanie powierzchni gruntu.

W 1996 roku średnia roczna temperatura powietrza na Stacji H. Arctowskiego wyniosła -0.6°C (tab. 1). We wszystkich miesiącach wystąpiły dodatnie anomalie temperatury powietrza. Wyjątkowo ciepły był luty (3.4°C), a najniższe temperatury wystąpiły w czerwcu (- 4.9°C). W okresie zimowym średnie miesięczne temperatury były wyższe o kilka stopni od średnich wie-



Ryc. 1. Przebieg temperatury powietrza i gruntu na Stacji H. Arctowskiego w 1996 r.

Fig. 1. Course of the air and ground temperature at the Arctowski Station in 1996

loletnich (w lipcu aż o 3.2 deg). Najwyższa temperatura powietrza wyniosła 8.9°C (22 stycznia i 19 lutego), a najniższa -15.1°C (20 lipca). W przebiegu rocznym notowano bardzo dużą zmienność temperatury z dnia na dzień (ryc. 1). Latem zdarzały się przymrozki do -2.3°C (25 luty), a zimą wystąpiło kilka dość gwałtownych ociepleń, w czasie których temperatura powietrza przekraczała 5°C (w lipcu 5.9°C i w sierpniu 6.6°C).

Istotnym czynnikiem izolującym grunt przed oddziaływaniem czynników atmosferycznych oraz ograniczającym straty ciepła z gruntu jest pokrywa śnieżna (tab. 1). Opady śniegu na Stacji H. Arctowskiego występują we wszystkich miesiącach roku. Latem 1996 r. pokrywa śnieżna miała charakter efemeryczny. W okresie od kwietnia do czerwca, mimo ujemnych temperatur powietrza, miąższość pokrywy śnieżnej nie przekraczała kilku centymetrów, panowały więc korzystne warunki do wychłodzenia i zamarzania gruntu. W pierwszej dekadzie czerwca utworzyła się stała pokrywa śnieżna, która utrzymywała się do końca października. Największą miąższość pokrywy śnieżnej osiągnęła we wrześniu (73 cm), jednak w czasie zimy następowały odwilże, prowadzące do zatopienia mszarnika i stopnienia pokrywy śnieżnej. Woda roztopowa wsiąkając w grunt, powodowała jego rozmarzanie nawet do głębokości 20 cm. Po zamrożeniu rozlewiska tworzyła się na warstwie lodu nowa pokrywa śnieżna. Śnieg na mszarniku stopił się bardzo szybko pod koniec października w wyniku dwóch znacznych ociepleń, przy których temperatura powietrza dochodziła do 7.3°C. Dopiero po ustąpieniu śniegu grunt zaczął się stopniowo nagrzewać i rozmarzać.

Przebieg roczny temperatury gruntu

Przebieg roczny temperatury gruntu nawiązuje do przebiegu usłonecznienia, które jest uwarunkowane wielkością zachmurzenia, związek ten jest widoczny jedynie dla powierzchniowej warstwy gruntu i zaznacza się szczególnie latem. Głębsze warstwy gruntu słabiej i z opóźnieniem reagują na oddziaływanie czynników zewnętrznych. W 1996 r. średnia roczna temperatura gruntu na Stacji H. Arctowskiego wyniosła około 0.5°C i była wyrównana w całej badanej, 100 cm, warstwie gruntu (tab. 2).

Powierzchniowa warstwa gruntu (1 cm) nagrzewa się silnie w okresie letnim (w lutym średnia temperatura 4.4°C), a w poszczególnych dniach temperatura często przekracza 10°C (21 stycznia 13.8°C). W okresie zimo-

wym następuje wychłodzenie powierzchni gruntu. Najniższe temperatury zanotowano na początku zimy, w czerwcu (średnio -2.6°C) ze względu na brak miększej pokrywy śnieżnej. W czasie bezchmurnych nocy oraz przy adwekcji mroźnych mas powietrza temperatura na powierzchni gruntu spadała do -8.5°C (9 maja). Obecność pokrywy śnieżnej utrudniała wychładzanie gruntu, stąd też w pełni zimy temperatura w powierzchniowej warstwie gruntu utrzymywała się na poziomie -2°C . Nieco wyższa temperatura w lipcu wynika z gwałtownej odwilży, w czasie której grunt rozmarzł do głębokości 20 cm.

Tabela 2 - Table 2

Średnie wartości temperatury gruntu [$^{\circ}\text{C}$] na Stacji H. Arctowskiego w 1996 roku

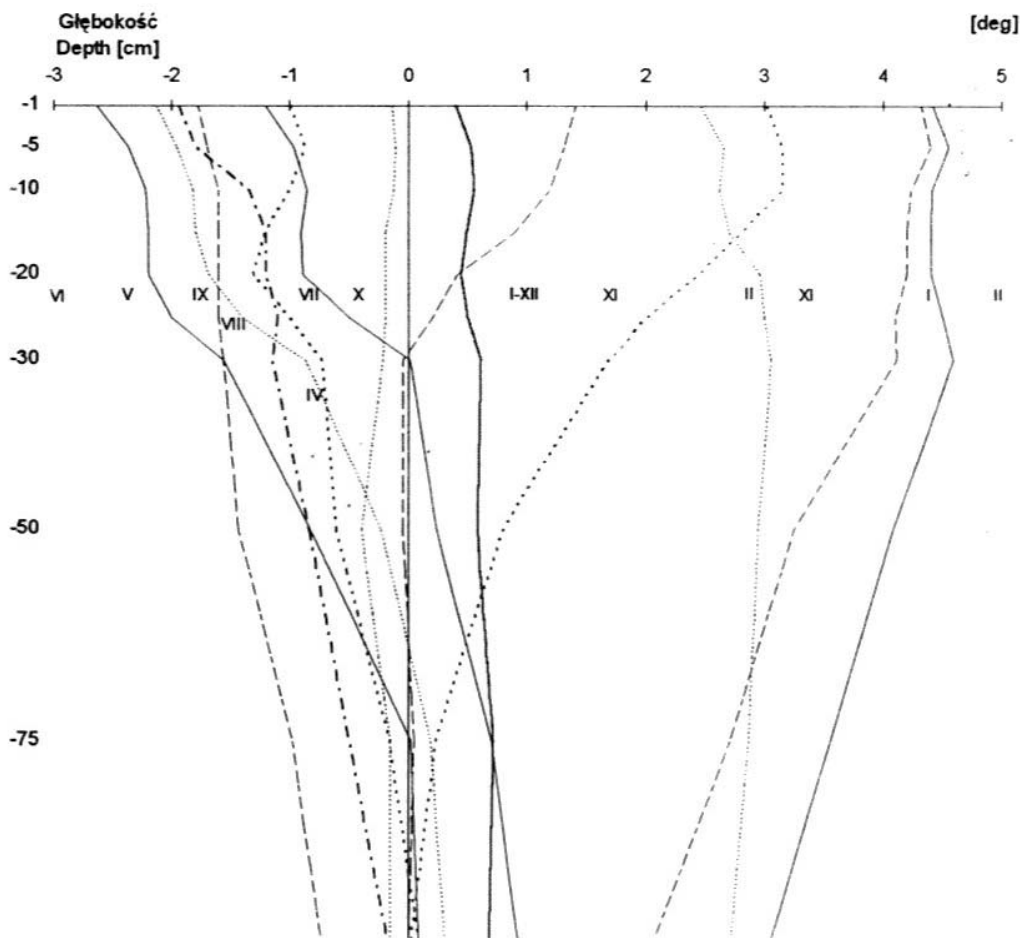
Mean values of ground temperature in [$^{\circ}\text{C}$] at the Arctowski Station in 1996

D	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII
1	4.3	4.4	2.5	-1.2	-2.1	-2.6	-1.0	-1.9	-1.8	-0.1	1.4	3.0	0.4
5	4.4	4.5	2.7	-1.0	-2.0	-2.4	-0.9	-1.8	-1.7	-0.1	1.3	3.1	0.5
10	4.2	4.4	2.6	-0.9	-1.8	-2.2	-1.0	-1.3	-1.6	-0.1	1.2	3.1	0.5
20	4.3	4.6	3.0	-0.9	-1.7	-2.4	-1.3	-	-	-	0.4	2.4	-
30	4.1	4.6	3.1	0.0	-0.9	-1.6	-0.7	-1.1	-1.6	-0.2	-0.1	1.7	0.6
50	3.3	4.1	3.0	0.2	-0.2	-0.8	-0.6	-0.8	-1.4	-0.4	0.0	0.8	0.6
75	2.7	3.6	2.9	0.7	0.2	0.0	-0.2	-0.5	-1.0	-0.2	0.0	0.2	0.7
100	2.0	3.0	2.7	0.9	0.3	0.1	-0.1	-0.2	-0.7	-0.2	0.0	0.0	0.6

D - głębokość - Depth [cm]

Warstwy głębiej położone także charakteryzują się wysokimi temperaturami w okresie letnim, np. w lutym na głębokości 50 cm temperatura wynosiła 4.1°C , a na 100 cm 3.0°C . Świadczy to o dobrym przewodnictwie cieplnym gruntu na obszarze mszarnika, co jest związane z dużą zawartością wody w gruncie. W okresie zimowym warstwy głębiej położone długo utrzymują ciepło (duża pojemność cieplna gruntu) i dopiero na przełomie czerwca i lipca na głębokości 1 m temperatura się obniżyła poniżej 0°C - nastąpiło zamrożenie całej badanej warstwy. Na wiosnę rozmarzanie gruntu rozpoczyna się dopiero po ustąpieniu pokrywy śnieżnej, temperatura gruntu szybko się podnosi i pod koniec grudnia 1996 r. grunt rozmarzł do głębokości około 90 cm (J. Rudka, informacja ustna).

W miarę wzrostu głębokości maleją amplitudy roczne temperatury gruntu z 7.0°C na 1 cm do 3.7 cm na głębokości 100 cm. Zaznacza się także charakterystyczne opóźnienie występowania najniższych temperatur wraz z głębokością, o ile na powierzchni najniższe temperatury wystąpiły w czerwcu to w głębszych warstwach (50-100 cm) minimum to przesunęło się na wrzesień.



Ryc. 2. Pionowe profile temperatury gruntu na Stacji H. Arctowskiego w 1996 r.

Fig. 2. Vertical distribution of ground temperature at the Arctowski Station in 1996

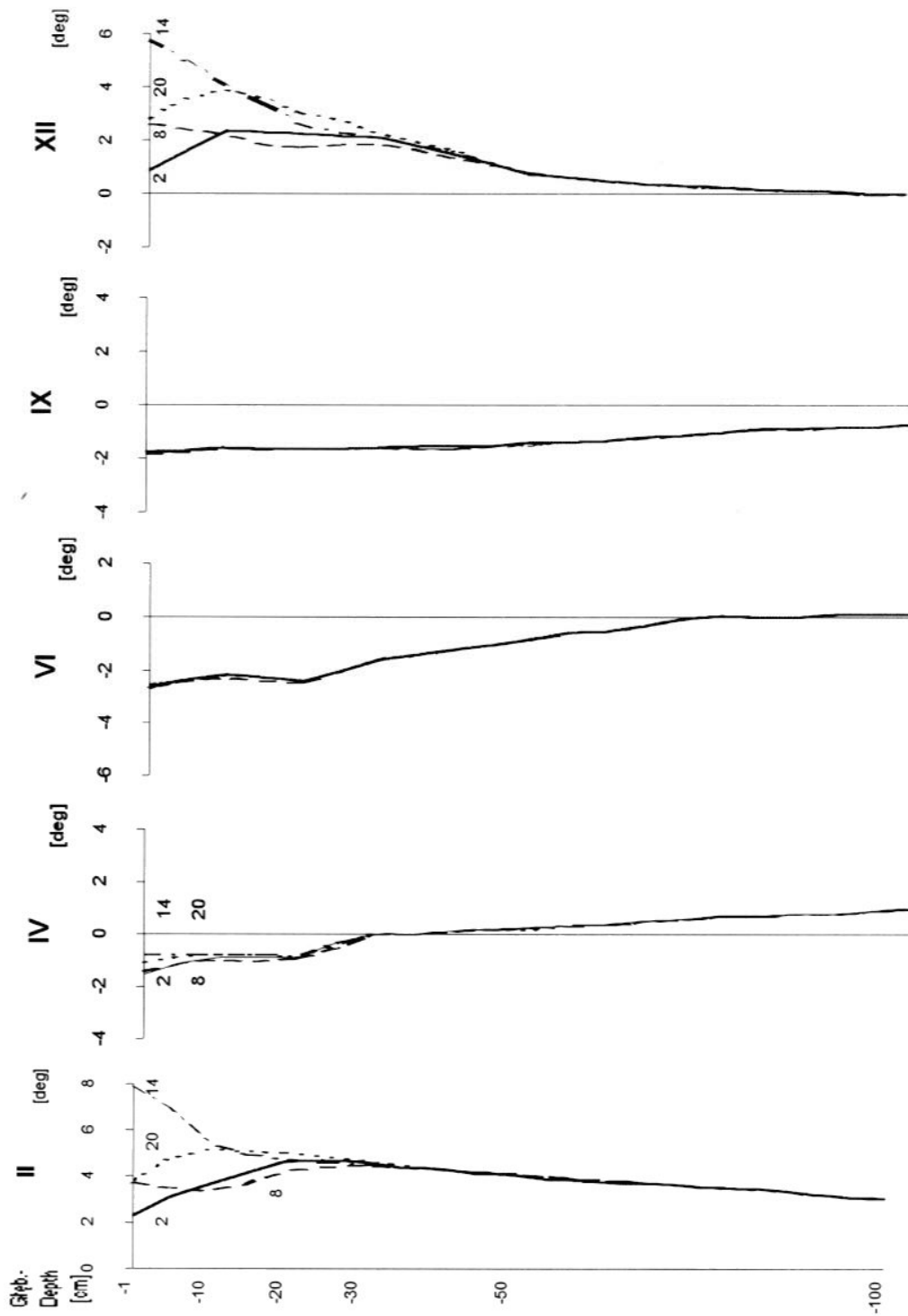
Pionowe profile temperatury dla 100 cm warstwy gruntu (ryc. 2) wykazują różny jej rozkład w poszczególnych miesiącach. W okresie od listopada do lutego występuje normalny układ temperatury, która jest najwyższa na powierzchni i maleje wraz z głębokością. Największe pionowe gradienty temperatury występują na wiosnę i na początku lata, dochodzą

średnio do $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{ cm}$ głębokości (grudzień). W pełni lata warstwa do ok. 30 cm jest równomiernie nagrzana (jest to warstwa, w której zaznaczają się zmiany dobowe temperatury gruntu), poniżej następuje spadek temperatury o $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{ cm}$. W marcu temperatura wyrównuje się w całej badanej warstwie (homotermia jesienna) z tendencją do obniżania temperatury od powierzchni gruntu. Zimą (od kwietnia do września) tworzy się układ inwersyjny, temperatura rośnie wraz z głębokością nawet o 0.27°C na każde 10 cm (czerwiec). Pod koniec zimy (wrzesień) cała 100 cm warstwa jest silnie wychłodzona, a gradient temperatury zmniejsza się do $0.11^{\circ}\text{C}/10\text{ cm}$. W październiku ustala się homotermia wiosenna, z temperaturą ok. -0.2°C , a od listopada w powierzchniowej warstwie gruntu ponownie tworzy się układ normalny z gradientem $0.5^{\circ}\text{C}/10\text{ cm}$ głębokości.

Przebieg dobowy temperatury gruntu

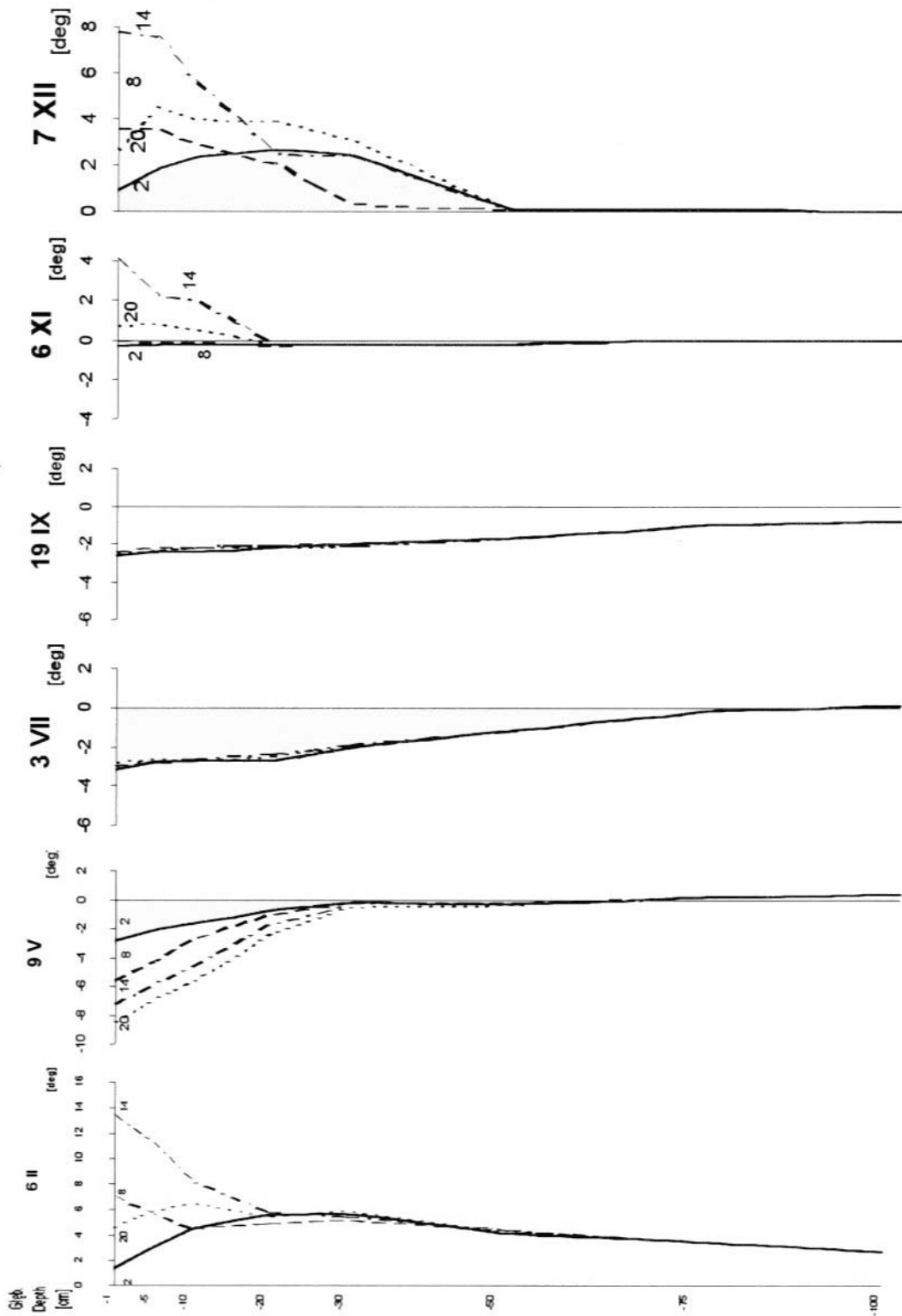
Przebieg dobowy temperatury gruntu przeanalizowano na podstawie codziennie wykonywanych pomiarów o godz. 02, 08, 14 i 20 czasu strefowego (wg 60°W). Analizując średnie miesięczne wartości dla poszczególnych terminów stwierdzamy znaczne zróżnicowanie temperatury powietrza w przebiegu dobowym. W najcieplejszym miesiącu - w lutym - średnie wartości temperatury na powierzchni gruntu (1 cm) o godz. 14 wynosiły 7.9°C , a w nocy, o godz. 02, temperatura obniżała się do 2.3°C , co daje średnią amplitudę dobową 5.6°C . W miesiącach jesiennych (kwiecień) średnia wielkość wahań temperatury w ciągu doby w powierzchniowej warstwie gruntu maleje do zaledwie 0.7°C , by zimą zupełnie zaniknąć (amplitudy rzędu $0.1-0.2^{\circ}\text{C}$) - ryc. 3. Wynika to nie tylko z bardzo niewielkiego dopływu energii słonecznej ale także z izolującej roli pokrywy śnieżnej. Zimą zaznaczają się tylko nieznaczne wahania związane z adwekcyjnymi zmianami temperatury powietrza. Dopiero na wiosnę gdy grunt jest uwolniony od pokrywy śnieżnej (listopad-grudzień) znowu występują wyraźnie zaznaczone przebiegi dobowe temperatury gruntu.

W miarę wzrostu głębokości maleją amplitudy dobowe temperatury gruntu a terminy występowania maksimów i minimów temperatury wyraźnie się opóźniają. Dobowe zmiany temperatury w okresie letnim występują w przypowierzchniowej 30 cm warstwie gruntu (luty), w grudniu przy najintensywniejszym nasłonecznieniu średnio sięgają 40-50 cm. Zimą, pod pokrywą śnieżno-lodową nie obserwuje się zmian temperatury w ciągu doby.



Ryc. 3. Pionowe profile temperatury gruntu dla godz. 02, 08, 14 i 20 na Stacji H. Arctowskiego w wybranych miesiącach 1996 r.

Fig. 3. Vertical distribution of ground temperature at 02, 08, 14 and 20 LMT in selected months at the Arctowski Station in 1996



Ryc. 4. Pionowe profile temperatury gruntu w wybranych dniach na Stacji H. Arctowskiego w 1996 r.

Fig. 4. Vertical distribution of ground temperature in selected days at the Arctowski Station in 1996

Charakter przebiegów dobowych przeanalizowano dla wybranych dni - ryc. 4. W dniu 6 lutego 1996 r. przy umiarkowanym zachmurzeniu (6/10) i usłonecznieniu 4.7 godz. na powierzchni gruntu wystąpiły bardzo duże zmiany temperatury w ciągu doby. Przy bezchmurnej pogodzie temperatura na powierzchni gruntu spadła do 1.4°C (godz. 02 LMT), a do głębokości ok. 30 cm utworzyła się silna inwersja ($1.43^{\circ}\text{C}/10\text{ cm}$). Po wschodzie Słońca układ inwersyjny został przełamany i nastąpiło silne nagrzewanie powierzchni gruntu, która o godz. 14 LMT osiągnęła 13.4°C . Tuż przed zachodem Słońca (o godz. 20:12) w powierzchniowej warstwie gruntu zaczęła się tworzyć inwersja nocna. Amplituda dobową osiągnęła aż 12.0°C . Sposób rozchodzenia się ciepła w gruncie w I dekadzie lutego, w okresie jego najintensywniejszego nagrzewania, prezentuje ryc. 5. Wyraźnie zaznaczają się impulsy ciepła po południowym nagrzewaniu gruntu oraz nocne wychłodzenia sięgające głębokości ok. 30 cm. Wobec intensywnego nagrzewania gruntu w dzień obserwujemy w tym okresie systematyczny wzrost temperatury na większych głębokościach (przebieg izoplei 3 i 4°C).

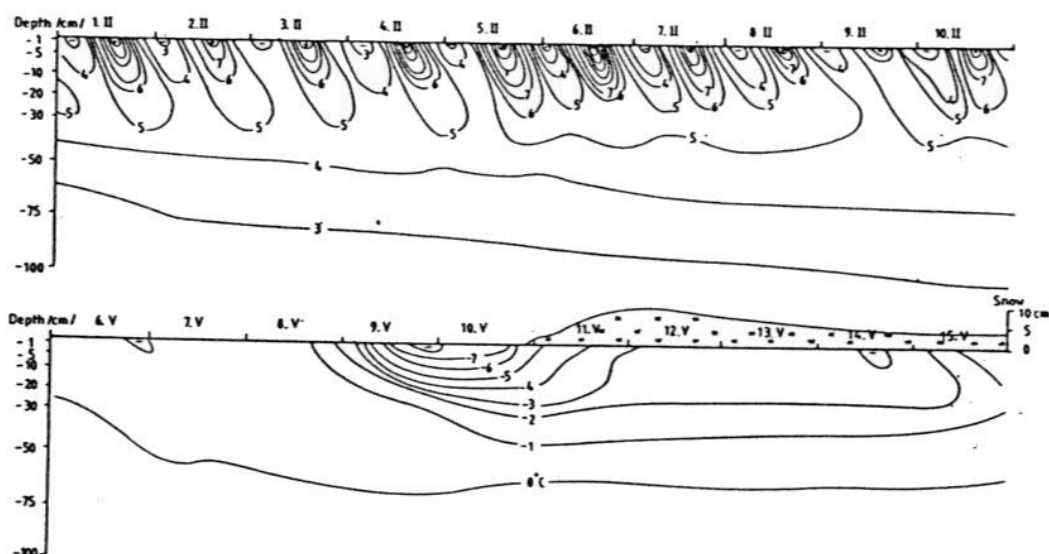
Proces wychładzania i zamarzania gruntu można przeanalizować na ryc. 4 i 5. W dniu 9 maja 1996 r. wystąpiła najniższa temperatura gruntu na Stacji H. Arctowskiego w 1996 r. W dniu tym został zaburzony przebieg dobowy temperatury gruntu ponieważ najwyższa temperatura wystąpiła o godz. 02 w nocy, a następnie obserwujemy jej sukcesywny spadek, o godz. 20 zmierzono na głębokości 1 cm -8.5°C . Tak znaczny spadek temperatury wynika z adwekcji mroźnych mas powietrza z południowo-wschodu, temperatura powietrza w tym okresie obniżyła się z -3.3°C do -10.9°C (grunt był więc cieplejszy i wychładzał się na kontakcie z powietrzem). Tak duże wychłodzenie gruntu było możliwe wobec braku pokrywy śnieżnej. Wykres termoisoplei z tego okresu umożliwia stwierdzenie że to znaczne wychłodzenie objęło warstwę gruntu do 50 cm. Opady śniegu 11 maja ograniczyły dalsze wychładzanie gruntu i mimo zbliżonych temperatur powietrza w kolejnych dniach nie zaznaczały się większe zmiany dobowe w rozkładzie temperatury gruntu.

W okresie zimowym na stanowisku pomiarowym utworzyła się pokrywa śnieżna, której miąższość w dniu 3 lipca sięgała 15 cm, a pod koniec zimy (19 września) już 73 cm. Pod pokrywą śnieżną nie występowały większe zmiany dobowe temperatury gruntu. Dopiero po ustąpieniu pokrywy śnieżnej (stało się to na początku listopada) nastąpiło intensywne nagrzewanie i odmarzanie gruntu. W dniu 6 listopada grunt w dzień rozmarzył do ok. 20 cm, a temperatury na powierzchni o godz. 14 dochodziły do 4.1°C , w

nocy jednak temperatura spadała do 0°C. Na stacji H. Arctowskiego grunt szybko rozmarza i np. 7 grudnia rozmarzała 50 cm warstwa gruntu. W dniu tym przy usłonecznieniu sięgającym 9.7 godz. powierzchnia gruntu o godz. 14 nagrzała się do 7.8°C, a pionowe gradienty powierzchniowej warstwy gruntu sięgały 1.7°C/10 cm głębokości. Zaznaczyły się jednak w tym okresie duże amplitudy dobowe temperatury gruntu sięgające na głębokości 1 cm 6.9°C.

Podsumowanie i wnioski

Na stacji H. Arctowskiego w 1996 r., mimo niekorzystnych warunków insolacyjnych (zaledwie 760 godzin ze Słońcem) występują wysokie temperatury na powierzchni gruntu (latem do 13.8°C). Temperatura gruntu jest wyższa o około 1 deg od temperatury powietrza, wynika to z silnego nagrzewania gruntu latem oraz z dużej miąższości pokrywy śnieżnej zimą, która izoluje grunt przed znacznymi stratami ciepła (zimą temperatura na głębokości 1 cm wynosiła ok. -2°C). Najsilniejsze wychłodzenie gruntu występuje na początku zimy, przy braku pokrywy śnieżnej (do -8.5°C). W czasie licznych zimowych odwilży woda roztopowa rozmraża grunt nawet do głębokości 20 cm. Po zamarznięciu rozlewiska przez długi okres (2-3 tygodnie) powierzchniowa warstwa gruntu jest ciągle rozmarznięta i dobrze naświetlona (promienie słoneczne przechodzą przez warstwę lodu jaki utworzył się na gruncie). Rozpoczęcie rozmarzania gruntu jest możliwe jedynie po stopnieniu zalegającej na nim pokrywy śnieżnej. W tym okresie ważną rolę w odmarzaniu gruntu odgrywa nie tylko intensywna insolacja ale także nagrzane od promieni słonecznych wody roztopowe pokrywające obszar mszarnika. Dzięki dużemu uwilgoceniu gruntu charakteryzuje się on dobrą przewodnością cieplną, dlatego też grunt szybko odmarza na wiosnę a latem warstwy głębiej położone mają wysoką temperaturę (na głębokości 100 cm powyżej 3°C). Duża pojemność cieplna gruntu powoduje że grunt zamarza stopniowo i na głębokości 1 m nastąpiło to wystąpiło na przełomie czerwca i lipca. W miejscu pomiarów nie stwierdzono wieloletniej zmarzliny, występuje tutaj jedynie sezonowe (zimowe) zamarzanie gruntu. Pionowy rozkład temperatury w gruncie zmienia się w ciągu roku, latem dominuje układ normalny z dużymi pionowymi gradientami temperatury zwłaszcza na początku lata, na jesieni (kwiecień) i na wiosnę (październik) w gruncie formuje się homotermia, a zimą dominuje układ inwersyjny.



Ryc. 5. Termoizoplety gruntu na Stacji H. Arctowskiego w dniach 1-10 lutego oraz 6-15 maja 1996 r.

Fig. 5. Thermoisoplethes of ground temperature at the Arctowski Station in the periods 1-10 February and 6-15 May 1996

Temperatura gruntu wykazuje wyraźną cykliczność dobową, która zaznacza się szczególnie latem (duże amplitudy dobowe), natomiast zimą, pod pokrywą śnieżną, nie występują dobowe zmiany temperatury gruntu. Przebieg dobowy i roczny temperatury gruntu jest silnie zaburzany przez czynniki adwekcyjne. Stąd też występuje znaczna zmienność temperatury gruntu z dnia na dzień.

W 1996 r. na obszarze mszarnika wystąpiły korzystne dla rozwoju roślinności i fauny glebowej warunki termiczne. W okresie letnim uległy silnemu nagrzeniu powierzchniowe i głębiej położone warstwy gruntu, zimą natomiast grunt jest chroniony przed znacznym wychłodzeniem miększą pokrywą śnieżną. Rozwojowi roślinności sprzyjało także dobre uwilgocenie gruntu. W latach chłodniejszych występują w gruncie znacznie niższe temperatury. Na przykład w 1978 r. (Kratke i Wielbińska, 1981) przy średniej rocznej temperaturze powietrza -1.9°C (wartość zbliżona do norm wieloletnich) wystąpiło ciepłe lato oraz mroźna zima. Latem 1978 r. przy silnej insolekacji na głębokości 5 cm temperatura dochodziła do 17.6°C . Zimą (średnia lipca -11.6°C), wystąpiły spadki temperatury powietrza do -25.3°C . Jedno-

wcześnie miąższość pokrywy śnieżnej była mała (maksymalnie do 30 cm). W takich warunkach nastąpiło znaczne wychłodzenie gruntu. Na głębokości 5 cm temperatura gruntu w lipcu spadła do -13.0°C , a na głębokości 1 m do -5.3°C . Porównując wyniki pomiarów z lat 1996 i 1978 stwierdzamy, że warunki termiczne gruntu w rejonie stacji H. Arctowskiego podlegają, podobnie jak warunki pogodowe, silnej zmienności z roku na rok.

Podziękowania

Autorzy składają serdeczne podziękowania Jarosławowi Rudce za udostępnienie danych meteorologicznych i wyników pomiarów temperatury gruntu na Stacji H. Arctowskiego w okresie od 14 do 31 grudnia 1996 r.

Literatura

Furmańczyk K., Ochyra R., 1982, Plant communities of the Admiralty Bay region (King George Island, South Shetland Islands, Antarctic). I. Jasnorzewski Gardens, Pol. Polar Res. 10, 2.

Kejna M., 1996, Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na warunki termiczne na Stacji H. Arctowskiego (King George Island, Antarktyka, w latach 1986-1989, Problemy Klimatologii Polarnej 5, Toruń.

Kejna M. Lska K., 1997, Warunki pogodowe na Stacji H. Arctowskiego (Szetlandy Pd., Antarktyka) w 1996 roku, Problemy Klimatologii Polarnej 7, Gdynia.

Kratke J., Wielbińska D., 1981, Co-occurrence of particular meteorological elements in the region Arctowski Station in 1978, Pol. Polar Res. v. 2-3.

Marsz 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.

Niemiec J., Rawa Z., 1989, Meteorological data from Polish Antarctic Station "H. Arctowski" for 1987, Pol. Polar Res. , vol. 10, No 2.

Piasecki J., 1988, Wybrane problemy przebiegu elementów meteorologicznych w regionie lodowca Sphinx, Acta Univ. Wratisl. No 738, Wrocław.

Prošek P., Janouch M., Kruszewski G., 1996, Components of Radiation Balance and their Regime in the Summer of 1994/95 at H. Arctowski Station (the South Shetlands). Problemy Klimatologii Polarnej 6, Gdynia.

Spravočnik po klimatu Antarktity, 1974, t. 1, [red.] Maršunova M.S., AANNII, Leningrad.

Styszyńska A., 1990, The effect of wind direction and orography on air temperature at the "Arctowski" Station, Pol. Polar Res., v. 11, No 1-2.

Washborn A.L., 1979, A survey of periglacial processes and environments, Edward Arnold, London.

Wielbińska D., Skrzypczak E., 1988, Mean air temperatures of definite wind directions at Arctowski Station (King George Island), West Antarctica, Pol. Polar Res., z. 1.

GROUND TEMPERATURE AT THE ARCTOWSKI STATION (SOUTH SHETLAND ISLANDS, ANTARCTICA) IN 1996

S U M M A R Y

Observations of ground temperature were carried out at the H. Arctowski Station (62°10'S, 58°28'W, h=2 m a.s.l.). Measurements were made until 1 m depth (thermometers 1, 5, 10, 20 30, 50, 75 and 100 cm) at 2, 8, 14 and 20 o'clock LMT. The annual mean ground temperature was 0,5 C and it was about 1°C higher then the air temperature (Table 1 and 2). Great influence of weather conditions on the ground temperature can be observed (Fig 1). In the summer, with high sunshine duration, the temperature at the ground surface reached 13,8 C, while at 100 cm depth 3,0 C. This is a proof of the good warm conductivity of the ground. In the winter cooling out the ground was limited by the snow cover with thickness up to 73 cm (September). The lowest temperature occurred in June (average -2.6 C) when without snow cover on the ground surface the air temperature was -8.5 C (Fig. 4 and 5). The whole 1 m thick ground level got frozen at the beginning of July. The unfreezing process begins after the disappearing of the snow cover and is quite quick. Until the end of December 90 cm thick level has already been unfrozen. In the summer there is normal scheme - the temperature is getting smaller with the depth, in April and October the ground temperature equalise (homotermia), in the winter inversion occurs (Fig. 2). Diurnal temperature variations appears in the summer at the depth 30-40 cm (Fig. 3). In the night inversion is formed while during the day the scheme is normal with great vertical temperature gradients. In the winter under the snow cover the ground temperature do not show diurnal cycle (Fig. 4 and 5).