

ZRÓŻNICOWANIE TERMIKI GRUNTU NA RÓWNIŃNIE KAFFIÖYRA (NW SPITSBERGEN) W LECIE 1997 i 1998 W PORÓWNANIU Z OKRESEM 1975-98

Andrzej Arażny

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
e-mail: andy@geo.uni.torun.pl

1. Wstęp

Badania temperatury gruntu na Równinie Kaffiöyra (NW Spitsbergen) prowadzono w sezonach letnich 1997 i 1998 r., w ramach prac XIII i XV Toruńskiej Wyprawy Polarnej, zorganizowanych przez Instytut Geografii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.

Termikę gruntu kształtuje dopływ energii słonecznej, który zmienia się wraz z wysokością Słońca nad horyzontem. Ilość energii otrzymywanej przez grunt jest także uwarunkowana przez zmiany zachmurzenia, adwekcje mas powietrza, opady atmosferyczne, albedo, stopień pokrycia roślinnością i śniegiem, a także ekspozycję względem stron świata. Na temperaturę gruntu mają wpływ także właściwości termiczne i wilgotnościowe gruntu oraz głębokość zalegania wieloletniej zmarzliny.

Przy podobnych warunkach meteorologicznych, między stanowiskami położonymi w niewielkich odległościach, zróżnicowanie termiki gruntów powoduje różnice w warunkach hydrologicznych, morfologicznych, glebowych i roślinnych. Badania nad termiką gruntu w rejonie Kaffiöyry prowadzone są od 1975 roku. Przez ten okres zawsze przestrzegano zachowania miejsca i tej samej metodyki pomiarów. Zagadnienia termiki gruntu i głębokości zalegania permafrostu na Kaffiöyrze mają bogatą literaturę. Problematyką tą zajmowali się między innymi: Marciniak, Szczepanik i Przybylak (1981), Marciniak i Szczepanik (1983), Grześ (1985), Wójcik i Marciniak (1987), Pietrucień i Skowron (1987), Wójcik, Marciniak i Przybylak (1988), Marciniak, Przybylak i Szczepanik (1988), Kejna (1990), Wójcik i in. (1990), Marciniak, Przybylak i Kejna (1991), Kejna, Marciniak i Przybylak (1993), Arażny i Grześ (2000).

2. Metody i miejsce pomiarów

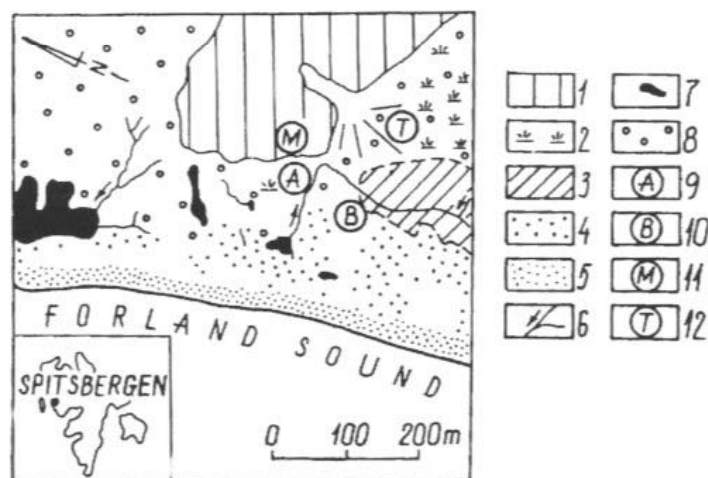
Temperaturę gruntu mierzono przy pomocy termometrów rtęciowych kolankowych na głębokościach: 5, 10, 20 i 50 cm. Dodatkowo mierzono temperatury na głębokości 1 cm stosując termo-

metr zwykły. Wskazania termometrów odczytywano w głównych terminach obserwacyjnych o godz. 1, 7, 13 i 19 LMT. Dla kilku dób wykonano też pomiary co godzinę (w dniach bez zachmurzenia, z częściowym i całkowitym zachmurzeniem). Pomiary latem 1997 r. prowadzono od 21 VII do 1 IX, a w 1998 r. od 20 VII do 1 IX. Stanowiska pomiarowe urządzono w trzech ekotopach: na piaszczystej plaży, na płaskim wierzchołku moreny czołowo-bocznej Lodowca Aavatsmarka i na tundrze (ryc. 1):

- stanowisko „plaża”(B) - jest ono zlokalizowane na równinie brzegowej poza zasięgiem największych pływów Morza Grenlandzkiego. Grunt na tym stanowisku jest budowany przez piasek i żwir. Powierzchniowa warstwa gruntu jest sucha bez roślinności. Maksymalna głębokość odmarznięcia gruntu w lecie 1997 r. na tym stanowisku wyniosła 124 cm, a w 1998 r. 109 cm.

- stanowisko „morena” (M) - jest położone na płaskim wierzchołku moreny czołowo-bocznej lodowca Aavatsmarka zbudowanej z gliny piaszczystej, żwirowatej i mułkowej oraz piasku. Powierzchnia moreny pokryta jest w około 20% przez płyty roślinności tundrowej. Stwierdzono maksymalną warstwę odmarznięcia 182 cm (1997) i 178 cm (1998).

- stanowisko „tundra” (T) - jest umiejscowione na stożku sandrowym wychodzącym z łuku moren lodowca Aavatsmarka. W stożku występują głównie utwory piaszczysto-żwirowe z dużą ilością okruchów skalnych. 70% powierzchni porośnięte jest roślinnością tundrową. Grunt na tym stanowisku jest silnie uwilgocony. Głębokość odmarznięcia warstwy czynnej w 1997 osiągnęła 148 cm, w następnym sezonie 113 cm.



Ryc. 1. Szkic morfologiczny rejonu Stacji Naukowej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika i lokalizacja stanowisk pomiarowych: 1 - morena, 2 - tundra, 3 - obszar okresowo zalewany podczas przypływów, 4 - wał sztormowy, 5 - obszar plaży okresowo zalewany podczas przypływów, 6 - ciek, 7 - jeziora, 8 - sandr, 9 - Stacja Naukowa, 10, 11, 12 - stanowiska pomiaru temperatury gruntu: Plaża (B), Morena (M), Tundra (T).

Źródło: Wójcik, Marciniak (1987)

Fig. 1. Morphologic sketch of the area of the Research Station of the N. Copernicus University and localization of measurement stands: 1 - moraine, 2 - tundra, 3 - area periodically flooded during tides, 4 - storm ridges, 5 - area of the beach flooded during tides, 6 - streams, 7 - lakes, 8 - outwash plain, 9 - Research Station, 10, 11 and 12 - ground temperature measuring stands: Beach (B), Moraine (M), Tundra (T).

Source: Wójcik, Marciniak (1987)

3. Warunki meteorologiczne i temperatura gruntu w sezonach letnich 1997 i 1998

Temperatura gruntu zależy głównie od elementów kształtujących bilans cieplny powierzchni gruntu. W Ny-Alesundzie, odległym od Kaffiöyry o około 30 km, do powierzchni gruntu średnio w roku dociera około 2340 MJm^{-2} energii (za lata 1981-1987; Hisdal, Finnekäsa i Vinje 1992). Najwięcej energii słonecznej dociera do powierzchni gruntu w tej części Spitsbergenu w okresie lata polarnego. Najwyższe sumy promieniowania całkowitego rejestruje się w czerwcu - około 600 MJm^{-2} - a w analizowanych miesiącach, lipcu i sierpniu, odpowiednio 460 i 270 MJm^{-2} .

Termika gruntu uwarunkowana jest przebiegiem warunków pogodowych. Lato 1997 r. w porównaniu z 1998 r., charakteryzuje się wyraźnie odmiennymi warunkami meteorologicznymi (Araźny 1998, 1999). Sezon letni 1997 odznaczał się obfitymi i intensywnymi opadami atmosferycznymi (122.5 mm w okresie porównywalnym 21 VII – 31 VIII), zwiększoną frekwencją silnych wiatrów (średnia prędkość 5.4 m/s) oraz średnim usłonecznieniem (16.8%). Lato 1998 r. przeciwnie, było bardziej pochmurne (9.1 w skali 0-10), cieplejsze (średnia temperatura powietrza 6.3°C), o mniejszej prędkości wiatru (4.0 m/s), z niskimi i mało wydajnymi (16.0 mm) oraz rzadko występującymi opadami (tab. 4). Ilustrują to krzywe przebiegu temperatury powietrza, opadów atmosferycznych i zachmurzenia (ryc. 2).

Wahania temperatury powierzchniowych warstw gruntu są spowodowane łatwą wymianą ciepła z przygruntową warstwą powietrza. Najsilniej w okresie letnim nagrzewa się powierzchnia czynna na głębokości 1 cm (tab. 1 i 2). Najwyższe średnie wartości zanotowano na tej głębokości w 1998 r. w ostatniej dekadzie lipca: na morenie 10.8°C , na plaży 10.7°C i na tundrze 9.4°C . Najwyższą średnią dobową temperaturę (15.6°C) na 1 cm zanotowano na morenie 22 VII 1998 r. Na innych stanowiskach w tym samym dniu zmierzono: 15.4°C na plaży, 12.5°C na tundrze. Najniższa średnia dobową temperatura na 1 cm wystąpiła 26 VIII 1997 r. 2.0°C na tundrze i 2.8°C na morenie. W przebiegu dobowym (według 4 głównych terminów obserwacyjnych) maksymalne temperatury gruntu występowały o godz. 13^{00} LMT (np. 24 VII 1998 r. na morenie: 20.7°C , na tundrze: 16.4°C i na plaży: 19.8°C), a minimalne o godz. 7^{00} LMT (26 VIII 1997 r. na tundrze 0.0°C , 23 VIII 1997 r. na morenie 0.3°C).

Temperatura gruntu wraz ze wzrostem głębokości maleje i jednocześnie z opóźnieniem występują jej maksymalne i minimalne wartości. Na głębokościach 5 cm , 10 cm i 20 cm na morenie, plaży i tundrze najwyższe wartości temperatury występują o godzinie 19^{00} LMT (tab. 1 i 2). Średnia temperatura gruntu na plaży za cały okres lata 1998 r. wyniosła na głębokości 5 cm - 7.5°C , 10 cm - 6.5°C i 20 cm - 5.4°C . Podobne zależności występują też na tundrze i morenie.

Na głębokości 50 cm termika gruntu podlega dużym wpływom wieloletniej zmarzliny, której maksymalne głębokości zalegania zostały przedstawione wcześniej. Latem 1998 r. najwyższa średnia temperatura za cały okres na głębokości 50 cm wystąpiła na morenie - 6.7°C , podczas gdy na tundrze była znacznie niższa i wyniosła 3.5°C , a na plaży tylko 2.3°C . Im bliżej powierzchni zmarzliny tym sezonowe zmiany temperatury są mniejsze. Na morenie, dzięki lepszemu przewodnictwu cieplnemu gruntu wpływy atmosferyczne sięgają na większą głębokość, stąd też w czasie jesienno-wyhladzania obniżenie temperatury przyjmuje największe wartości (Kejna, Marciniak i Przybylak 1993). Na omawianej głębokości dobowy przebieg temperatury uległ odwróceniu. Minimalne temperatury występują o godz. 13^{00} LMT, a maksymalne o godz. 1^{00} LMT.

Tabela 1. Średnie dekadowe temperatury gruntu w wybranych ekotopach na Równinie Kaffiöyra dla 4 terminów obserwacyjnych (1, 7, 13, 19 LMT) w okresie od 21.07 do 01.09.1997 r.

Table 1. Mean decade ground temperature in the chosen ecotopes on the Kaffiöyra Plain for 4 observational terms (1, 7, 13, 19 LMT) in the period from 21.07 to 01.09.1997

Głębokość Depth	1 cm			5 cm			10 cm			20 cm			50 cm													
	1	7	13	19	m	1	7	13	19	m	1	7	13	19	m	1	7	13	19	m						
Okres Period	godz. - hours			godz. - hours			godz. - hours			godz. - hours			godz. - hours			godz. - hours										
Plaża - Beach																										
28-31.07	-	-	-	-	-	4,1	4,0	4,6	5,2	4,5	4,1	3,9	4,4	5,0	4,4	3,8	3,4	3,8	3,9	3,7	2,3	2,2	2,1	2,1	2,2	
01-10.08	-	-	-	-	-	4,6	4,3	5,7	5,4	5,0	4,5	4,2	5,2	5,3	4,8	4,1	3,7	3,9	4,4	4,0	2,4	2,4	2,4	2,3	2,2	2,3
11-20.08	-	-	-	-	-	3,4	3,2	4,9	4,8	4,1	3,4	3,1	4,3	4,6	3,9	3,3	2,8	3,1	3,6	3,2	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
21-31.08	-	-	-	-	-	2,4	2,2	5,0	4,9	3,6	2,6	2,1	4,3	4,8	3,4	2,8	2,2	2,7	3,6	2,8	1,7	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6
01-31.08	-	-	-	-	-	3,4	3,2	5,2	5,0	4,2	3,5	3,1	4,6	4,9	4,0	3,4	2,9	3,2	3,8	3,3	1,9	1,9	1,8	1,8	1,9	1,9
28.07-1.09	-	-	-	-	-	3,5	3,3	5,1	5,0	4,3	3,6	3,2	4,6	4,9	4,1	3,5	3,0	3,3	3,8	3,4	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9
Morena - Morena																										
21-31.07	4,9	5,2	8,7	7,3	6,5	5,8	5,0	7,0	7,1	6,3	-	-	-	-	-	6,3	5,3	6,1	6,7	6,1	5,4	5,3	5,2	5,3	5,3	
01-10.08	4,9	5,4	7,1	5,2	5,7	4,9	4,8	5,8	5,4	5,2	5,1	4,9	5,5	5,3	5,2	5,0	4,7	4,8	5,2	4,9	4,7	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
11-20.08	3,4	3,9	5,3	4,8	4,4	3,7	3,4	4,5	4,6	4,1	3,7	3,4	4,3	4,6	4,0	3,9	3,5	3,8	4,2	3,8	3,6	3,6	3,5	3,5	3,6	3,6
21-31.08	2,3	2,8	5,3	5,1	3,9	3,0	2,7	4,6	4,8	3,8	3,0	2,7	4,0	5,0	3,7	3,5	2,9	3,4	4,3	3,5	3,4	3,2	3,1	3,3	3,3	3,3
01-31.08	3,5	4,0	5,9	5,1	4,6	3,8	3,6	4,9	5,0	4,3	3,9	3,6	4,6	5,0	4,3	4,1	3,6	4,0	4,6	4,1	3,9	3,8	3,7	3,8	3,8	3,8
21.07-1.09	3,9	4,3	6,5	5,5	5,1	4,4	4,0	5,5	5,5	4,8	-	-	-	-	-	4,7	4,1	4,5	5,1	4,6	4,3	4,2	4,1	4,2	4,2	4,2
Tundra - Tundra																										
01-10.08	4,7	4,5	6,2	5,5	5,2	4,7	4,4	5,6	5,5	5,1	-	-	-	-	-	4,3	3,9	4,1	4,6	4,2	2,9	2,8	2,8	2,9	2,8	2,8
11-20.08	3,6	3,5	5,0	4,8	4,3	3,7	3,2	4,5	4,9	4,0	-	-	-	-	-	3,4	3,0	3,2	3,9	3,4	2,4	2,4	2,4	2,3	2,4	2,3
21-31.08	2,2	2,2	4,9	4,6	3,5	2,5	2,2	4,1	4,6	3,3	-	-	-	-	-	2,7	2,2	2,6	3,5	2,8	2,0	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0
01-31.08	3,5	3,4	5,4	5,0	4,3	3,6	3,2	4,7	5,0	4,1	-	-	-	-	-	3,4	3,0	3,3	4,0	3,4	2,4	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4
01.08-1.09	3,5	3,4	5,3	4,9	4,3	3,6	3,3	4,7	5,0	4,1	-	-	-	-	-	3,5	3,0	3,3	4,0	3,5	2,5	2,4	2,3	2,3	2,4	2,4

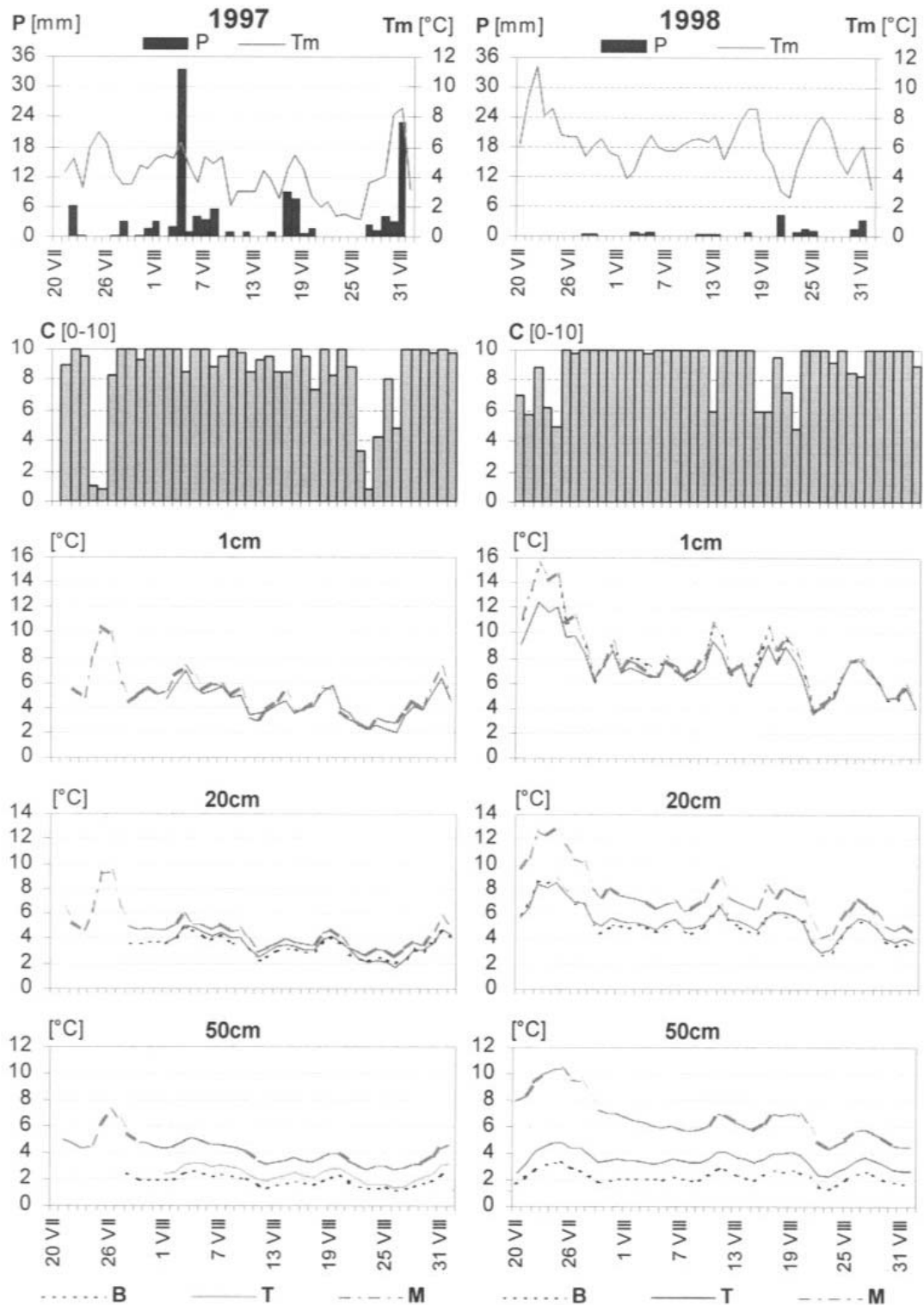
m – średnie dobowe temperatury gruntu (°C), m – daily mean ground temperature (°C)

Tabela. 2. Średnie dekadowe temperatury gruntu w wybranych ekotopach na Równinie Kaffiöyra dla 4 terminów obserwacyjnych (1, 7, 13, 19 LMT) w okresie od 20.07 do 01.09.1998 r.

Table. 2. Mean decade ground temperature in the chosen ecotopes on the Kaffiöyra Plain for 4 observational terms (1, 7, 13, 19 LMT) in the period from 20.07 to 01.09.1998

Głębokość Depth	1 cm				5 cm				10 cm				20 cm				50 cm															
	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19												
Okres Period	godz. - hours				godz. - hours				godz. - hours				godz. - hours				godz. - hours															
Plaża - Beach																																
21-31.07	8,1	9,5	13,0	12,2	10,7	8,7	8,5	10,6	11,2	9,8	8,3	7,5	8,4	9,2	8,4	7,0	6,4	6,5	7,1	6,8	2,7	2,7	2,7	2,6	2,7	2,7	2,7	2,6	2,7	2,7	2,7	2,6
01-10.08	5,8	6,3	9,6	9,2	7,7	6,1	5,9	8,2	8,5	7,2	5,9	5,2	6,4	7,3	6,2	5,1	4,6	4,8	5,5	5,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
11-20.08	5,4	7,0	10,6	9,1	8,0	6,4	6,3	9,0	8,9	7,6	6,7	5,6	7,0	7,9	6,8	6,0	5,1	5,3	6,1	5,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
21-31.08	4,2	5,3	7,0	6,4	5,7	4,5	4,8	6,3	6,2	5,5	4,5	4,2	5,2	5,6	4,9	4,3	3,8	4,0	4,5	4,1	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
01-31.08	5,1	6,2	9,0	8,2	7,1	5,6	5,6	7,8	7,8	6,7	5,7	5,0	6,1	6,9	5,9	5,1	4,5	4,7	5,3	4,9	2,3	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
20.07-1.09	5,9	7,0	10,0	9,2	8,0	6,4	6,4	8,5	8,7	7,5	6,4	5,6	6,7	7,4	6,5	5,6	5,0	5,1	5,8	5,4	2,4	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Morena - Moraine																																
21-31.07	8,8	9,4	12,9	12,3	10,8	9,8	9,3	11,5	11,7	10,6	10,2	9,3	10,8	11,4	10,4	10,4	9,4	9,9	10,7	10,1	9,0	8,9	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8
01-10.08	6,2	6,3	8,9	8,9	7,6	6,7	6,4	8,3	8,7	7,5	6,9	6,4	7,6	8,4	7,3	7,0	6,4	6,9	7,7	7,0	6,2	6,2	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
11-20.08	6,4	7,0	10,2	9,3	8,2	7,4	7,0	9,3	9,3	8,2	7,8	6,9	8,4	9,0	8,0	8,0	6,9	7,2	8,1	7,6	6,8	6,7	6,6	6,6	6,7	6,7	6,6	6,6	6,7	6,7	6,6	6,7
21-31.08	4,7	5,3	6,8	6,4	5,8	5,1	5,2	6,4	6,4	5,8	5,3	5,2	6,0	6,3	5,7	5,6	5,2	5,5	6,0	5,6	5,3	5,2	5,0	5,1	5,2	5,2	5,0	5,1	5,2	5,2	5,0	5,1
01-31.08	5,7	6,2	8,6	8,1	7,2	6,3	6,1	7,9	8,1	7,1	6,6	6,1	7,3	7,8	7,0	6,8	6,1	6,5	7,2	6,7	6,1	6,0	5,9	5,9	6,0	6,0	5,9	5,9	6,0	6,0	5,9	6,0
20.07-1.09	6,5	7,0	9,7	9,2	8,1	7,2	7,0	8,8	9,0	8,0	7,6	7,0	8,2	8,7	7,9	7,8	7,0	7,4	8,1	7,6	6,8	6,7	6,6	6,7	6,7	6,7	6,6	6,7	6,7	6,7	6,6	6,7
Tundra - Tundra																																
21-31.07	7,8	8,3	11,0	10,5	9,4	7,7	7,4	9,3	9,6	8,5	7,5	6,9	8,3	8,9	7,9	6,9	6,2	6,6	7,3	6,8	4,1	4,0	4,0	4,1	4,0	4,0	4,0	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0
01-10.08	5,8	6,0	8,5	8,4	7,2	5,6	5,5	7,1	7,7	6,5	5,4	5,0	6,2	6,9	5,9	5,2	4,8	5,1	5,8	5,2	3,5	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
11-20.08	5,7	6,4	9,4	8,5	7,5	5,8	5,6	7,6	7,9	6,7	5,8	5,2	6,9	7,3	6,3	5,9	5,1	5,5	6,2	5,7	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
21-31.08	4,4	5,1	6,7	6,5	5,7	4,2	4,4	5,7	5,9	5,1	4,1	3,9	4,9	5,4	4,6	4,3	3,9	4,2	4,7	4,3	3,1	3,0	2,9	2,9	3,0	3,0	2,9	2,9	3,0	3,0	2,9	3,0
01-31.08	5,2	5,8	8,2	7,7	6,7	5,2	5,2	6,8	7,1	6,1	5,1	4,7	6,0	6,5	5,6	5,1	4,6	4,9	5,5	5,0	3,5	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
20.07-1.09	5,9	6,4	8,8	8,4	7,4	5,8	5,7	7,4	7,7	6,7	5,7	5,2	6,6	7,1	6,1	5,6	5,0	5,3	6,0	5,5	3,6	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5

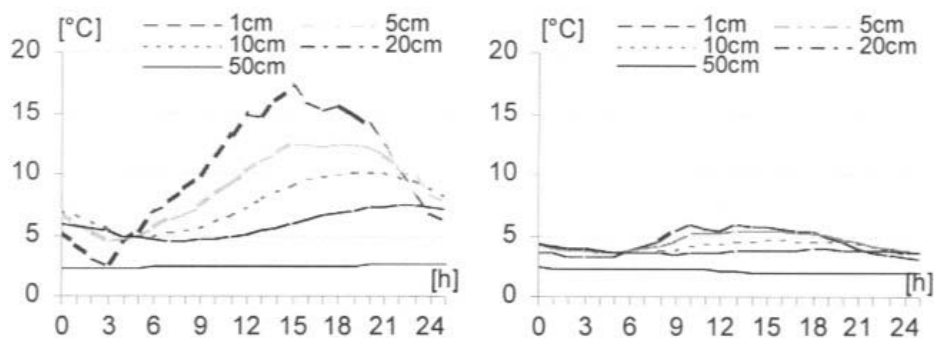
m - średnie dobowe temperatury gruntu (°C), m - daily mean ground temperature (°C)



Ryc. 2. Przebieg temperatury powietrza (Tm), opadów atmosferycznych (P), zachmurzenia (C) i temperatury gruntu (1, 20, 50 cm) na plaży (B), tundrze (T) i morenie (M) w lecie 1997 i 1998

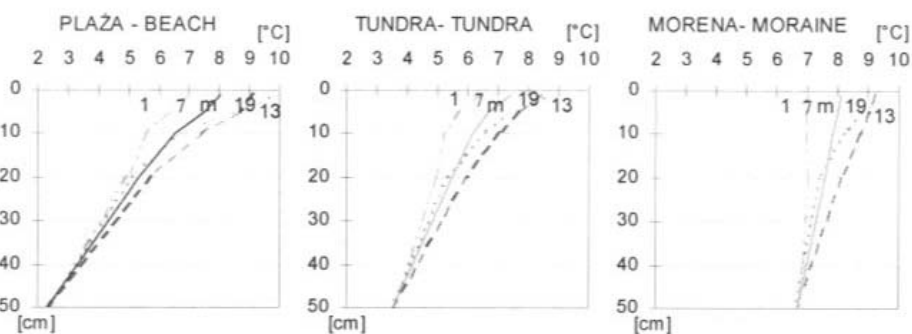
Fig. 2. The courses of the air temperature (Tm), atmospheric precipitation (P), cloudiness (C) and ground temperature (1, 20, 50 cm) on the beach (B), tundra (T) and moraine (M) in the summers 1997 and 1998

Pionowy rozkład temperatury zależy od ilości ciepła jaka dociera z powierzchni gruntu, a różnice na poszczególnych stanowiskach wynikają ze zróżnicowania strukturalno-wilgotnościowego badanych ekotopów. Górna warstwa gruntu od 1 cm do 20 cm silnie reaguje na wpływy atmosferyczne i podlega największym zmianom zarówno w cyklu dobowym, jak też z dnia na dzień. Na głębsze warstwy gruntu od 20 cm do 50 cm czynniki pogodowe oddziałują słabiej, a zmienności temperatury są nieznaczne lub często nawet zanikają (ryc. 3).



Ryc. 3. Przebieg dobowy temperatury gruntu na stanowisku „plaża” w dniu z częściowym (16.08.1998) i z całkowitym (29.08.1998) zachmurzeniem

Fig. 3. The daily course of ground temperature on the „beach” site on partly cloudiness (16.08.1998) and with total overcast (29.08.1998) days



Ryc. 4. Pionowe profile temperatury gruntu na Równinie Kaffiöyra, dla 4 terminów obserwacyjnych (1, 7, 13, 19 LMT) oraz średniej dobowej (m) w okresie 20.07 – 01.09.1998

Fig. 4. Vertical distribution of ground temperature in the Kaffiöyra Plain, for 4 particular observation terms (1, 7, 13, 19 LMT) and daily means (m) in the period 20.07 – 01.09.1998

Pionowe profile temperatury gruntu na poszczególnych stanowiskach przedstawiono przykładowo dla roku 1998 na ryc. 4. Najmniejsze różnice między poszczególnymi ekotopami występują w nocy, natomiast największe, obserwuje się w godzinach południowych. W warstwie powierzchniowej gruntu (1-20 cm), o godz. 1⁰⁰ LMT na wszystkich stanowiskach występuje układ inwersyjny, który za-

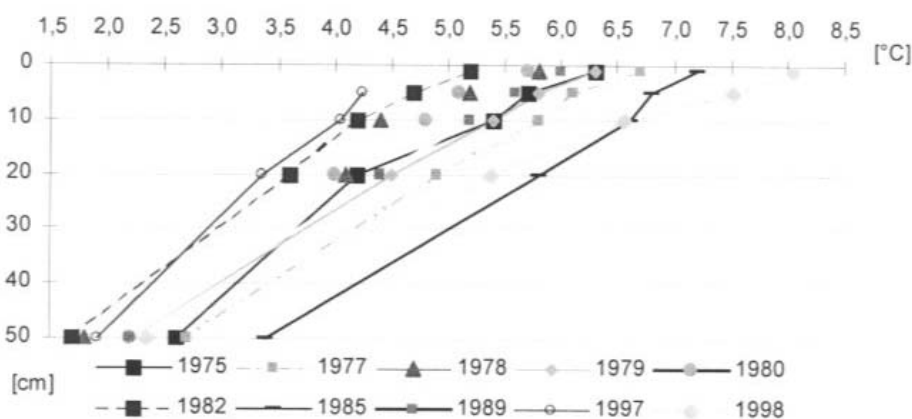
nika od powierzchni. O godz. 7⁰⁰ LMT zaczyna się tworzyć układ normalny najwyraźniej zarysowany o godz. 13⁰⁰ LMT. O godz. 19⁰⁰ LMT układ normalny przechodzi w izotermię i zmierza do inwersji. W warstwie głębszej gruntu (20-50 cm) przez całą dobę występuje układ normalny.

Rozkłady pionowe termiki gruntu w poszczególnych ekotopach mają ten sam charakter, różnią się wartością pionowych gradientów. Największe gradienty temperatury gruntu za porównywalny okres 01.08-01.09.1997 r. występują na plaży (0.51°C/10 cm), na tundrze (0.39°C/10 cm), a najmniejsze na morenie (0.16°C/10 cm). Pomiary gradientowe z 1998 r. (20.07-01.09) potwierdzają wcześniejsze spostrzeżenia (plaża: 1.16°C/10 cm, tundra: 0.80°C/10 cm i morena: 0.29°C/10 cm).

4. Porównanie warunków pogodowych i termicznych gruntu w sezonach letnich 1975-98

Zmiany termiki gruntu w poszczególnych sezonach letnich (tab. 3) przedstawiono na tle warunków meteorologicznych (tab. 4). Zmiany temperatury gruntu z sezonu na sezon korelują z warunkami solarnymi, termicznymi i opadowymi. Porównanie letnich sezonów przedstawiono dla wspólnego okresu 21 VII - 31 VIII. W analizowanych 10 sezonach najbardziej odmienne warunki meteorologiczne panowały w 1980 i 1985 r. Pogodę latem 1980 r. kształtowała działalność cykonalna, a latem 1985 r. przeważały układy antycyklonalne (Wójcik i in. 1992). Najbardziej niekorzystne warunki termiczne wystąpiły natomiast latem 1982, a opadowe w 1997 roku (tab. 4).

Na Kaffiöyrze zmiany temperatury gruntu najlepiej przedstawiają dane ze stanowiska na plaży (ryc. 5), ponieważ pomiary były tam wykonywane podczas wszystkich wypraw. Średnie na wszystkich głębokościach były najniższe w 1982 i 1997 r., natomiast najwyższe w 1985 i 1998 r. W najchłodniejszych sezonach występowały małe gradienty temperatury gruntu (0.51°C/10 cm w 1997 r. i 0.71°C/10 cm w 1982 r.), a podczas ciepłych lat wysokie (0.78°C/10 cm w 1985 r. i 1.16°C/10 cm w 1998 r.). Różnice temperatury między średnimi w ciepłym (1998) i chłodnym (1982) sezonie zmieniają się w małym zakresie. Na powierzchni czynnej wyniosła ona 2.9°C, na 5 cm 2.8°C, na 10 cm spada do 2.4°C, na głębokości 20 cm 1.8°C i na 50 cm 0.7°C (najbliżej stropu zmarzliny).



Ryc. 5. Pionowe gradienty temperatury gruntu na Równinie Kaffiöyra w latach 1975-1998 dla wspólnego okresu 21.07-31.08

Fig. 5. Vertical gradients of the ground temperature in Kaffiöyra Plain in the period 1975-1998 for period common 21.07-31.08

Tabela 3. Średnie dekadowe temperatury gruntu oraz za okres 21.07 – 31.08 na Równinie Kaffiöyra (NW Spitsbergen) w latach 1975-98.

Źródło: Wójcik i in. (1990) oraz opracowanie własne (1997-98)

Table 3. Mean decade and mean from the period 21.07 – 31.08 ground temperature from the years 1975-98 on the Kaffiöyra Plain (NW Spitsbergen).

Source: Wójcik et al. (1990) & the autor's own elaboration (1997-98)

Rok Year	21 - 31.07					01 - 10.08					11 - 20.08					21 - 31.08					21.07 - 31.08				
	1	5	10	20	50	1	5	10	20	50	1	5	10	20	50	1	5	10	20	50	1	5	10	20	50
1975	7,8	7,1	6,7	5,7	3,3	6,1	5,5	5,2	4,3	2,6	6,7	6,1	5,7	4,9	3,1	4,7	4,2	4,0	3,4	2,2	6,3	5,7	5,4	4,2	2,6
1977	8,5	7,8	7,4	6,1	3,0	8,8	8,1	7,5	6,4	3,4	5,0	4,5	4,3	3,7	2,3	3,8	3,5	3,4	3,0	1,9	6,7	6,1	5,8	4,9	2,7
1978	8,0	7,0	5,9	5,2	2,0	5,6	5,1	4,4	4,0	1,8	4,9	4,4	3,8	3,6	1,7	5,1	4,6	4,0	3,8	1,8	5,8	5,2	4,4	4,1	1,8
1979	7,7	7,7	7,4	7,1	6,0	5,4	5,3	5,2	5,1	4,6	4,4	4,4	4,3	4,2	3,7	5,0	5,0	4,9	4,7	3,9	5,7	5,7	5,5	5,3	4,6
1980	7,4	7,2	6,8	6,1	4,2	5,7	5,5	5,2	4,7	3,4	4,8	4,7	4,4	4,0	2,9	5,2	5,1	4,8	4,3	3,1	5,7	5,5	5,2	4,7	3,4
1982	8,3	7,6	6,9	5,7	2,6	5,7	5,2	4,7	3,9	1,9	6,9	6,4	5,9	5,1	2,6	4,4	4,0	3,8	3,3	1,9	6,3	5,8	5,4	4,5	2,2
1985	7,6	7,5	7,4	7,2	6,3	5,1	4,8	4,6	4,3	3,7	6,7	6,4	6,2	5,9	5,0	4,7	4,6	4,4	4,3	3,9	6,0	5,8	5,7	5,4	4,7
1988	-	-	-	-	-	4,7	4,4	4,1	3,5	2,0	6,1	5,9	5,6	4,9	3,2	3,8	3,6	3,5	3,1	2,1	-	-	-	-	-
1989	7,6	6,7	6,1	4,9	2,4	5,3	4,9	4,6	4,0	2,3	5,9	5,3	5,0	4,2	2,4	3,8	3,4	3,3	2,8	1,7	5,7	5,1	4,8	4,0	2,2
1992	6,9	6,7	6,6	6,3	5,4	5,1	4,9	5,0	5,0	4,5	5,6	5,4	5,3	5,0	4,2	3,7	3,5	3,5	3,5	3,1	5,3	5,1	5,1	4,9	4,3
1995	5,8	5,3	4,6	3,9	1,6	5,9	5,3	4,7	4,0	1,8	7,4	6,6	5,9	5,1	2,6	1,9	1,8	1,6	1,5	0,9	5,2	4,7	4,2	3,6	1,7
1989	11,2	10,3	9,8	8,5	4,5	8,5	8,0	7,5	6,6	3,8	5,9	5,6	5,4	4,8	3,0	3,3	3,1	3,2	2,9	2,1	7,2	6,8	6,6	5,8	3,4
1989	10,3	10,2	10,0	9,8	8,5	8,2	7,9	7,8	7,6	6,8	6,1	5,8	5,7	5,7	5,3	3,7	3,6	3,6	3,6	3,4	7,1	6,9	6,8	6,7	6,0
1989	9,8	9,7	8,9	8,1	6,2	8,1	7,9	7,2	6,5	5,2	5,8	5,7	5,3	5,0	4,1	3,3	3,1	2,9	2,6	2,3	6,8	6,7	6,1	5,5	4,1
1989	8,4	7,5	7,0	5,7	2,4	7,4	6,9	6,5	5,6	2,7	6,0	5,7	5,2	4,5	2,4	2,4	2,4	2,2	2,1	1,4	6,0	5,6	5,2	4,4	2,2
1997	6,9	6,9	6,5	6,2	5,2	6,8	6,8	6,6	6,3	5,6	5,6	5,6	5,4	5,2	4,8	2,2	2,4	2,4	2,6	2,8	5,3	5,4	5,2	5,0	4,6
1997	6,6	6,2	5,8	5,0	3,3	6,7	6,2	5,8	5,2	3,6	5,5	5,1	4,8	4,6	3,1	2,4	2,2	2,2	2,3	1,8	5,3	4,9	4,6	4,2	2,9
1997	-	-	-	-	-	-	5,0	4,8	4,0	2,3	-	4,1	3,9	3,2	1,8	-	3,6	3,4	2,8	1,6	-	4,2	4,1	3,4	1,9
1997	6,5	6,3	-	6,1	5,3	5,7	5,2	5,2	4,9	4,6	4,4	4,1	4,0	3,8	3,6	3,9	3,8	3,7	3,5	3,3	5,1	4,8	-	4,6	4,2
1997	-	-	-	-	-	5,2	5,1	-	4,2	2,8	4,3	4,0	-	3,4	2,3	3,5	3,3	-	2,8	2,0	4,3	4,1	-	3,4	2,4
1998	10,7	9,8	8,4	6,8	2,7	7,7	7,2	6,2	5,0	2,1	8,0	7,6	6,8	5,6	2,6	5,7	5,5	4,9	4,1	2,0	8,1	7,5	6,6	5,4	2,4
1998	10,8	10,6	10,4	10,1	8,9	7,6	7,5	7,3	7,0	6,1	8,2	8,2	8,0	7,6	6,7	5,8	5,8	5,7	5,6	5,2	8,1	8,0	7,9	7,6	6,7
1998	9,4	8,5	7,9	6,8	4,0	7,2	6,5	5,9	5,2	3,4	7,5	6,7	6,3	5,7	3,8	5,7	5,1	4,6	4,3	3,0	7,4	6,7	6,2	5,5	3,6

Okres (period): 1 21.07 – 28.08; 2 24.07 – 31.08; 3 28.07 – 31.08; 4 28.07 – 31.08; 5 01.08 – 31.08

Tabela 4 - Table 4

Średnie wartości wybranych elementów meteorologicznych na Równinie Kaffiöyra (Spitsbergen) z sezonu letniego (21.07-31.08). Źródło: Marciniak, Przybylak, Kejna (1993) oraz opracowanie własne (1997-98)

Mean values of chosen meteorological elements from the summer season 21.07-31.08 on the Kaffiöyra Plain (Spitsbergen). Source: Marciniak, Przybylak, Kejna (1993) & the autor's own elaboration (1997-98)

Rok Year	C	SS		V	Ti	Tmax	Tmin	T max abs.	T min abs.	f	e	P
	0-10	h	%	m/s	°C					%	hPa	mm
1975	8,7	112,9	11,5	4,3	4,9	6,7	3,3	11,5	1,4	90	7,8	66,5
1977*	8,7	146,6	15,9	3,2	5,0	7,0	3,5	13,5	0,6	89	7,8	44,4
1978	8,8	119,9	12,2	4,6	4,7	6,3	3,1	10,0	0,7	90	7,7	44,2
1979	7,3	281,9	29,7	5,0	4,5	6,6	2,5	18,9	-0,5	90	7,6	17,7
1980	9,1	90,9	9,3	5,5	4,1	5,6	2,6	12,5	-0,8	89	7,3	108,0
1982	8,8	91,3	9,3	4,2	3,3	4,8	1,8	10,4	-4,2	88	6,8	54,5
1985	7,2	309,5	32,2	3,2	5,4	6,9	4,0	16,0	0,9	89	8,1	13,9
1989	8,3	203,0	20,7	5,0	4,0	5,5	2,6	11,5	-3,8	90	7,4	27,0
1997	8,4	165,0	16,8	5,4**	4,2	5,4**	2,7**	10,8	-0,2	90	7,5	122,5
1998	9,1	93,5	9,5	4,0	6,3	7,6	5,0	14,0	1,8	91	8,7	16,0
1975-98	8,4	161,5	16,7	4,3	4,6	6,3	3,2	18,9	-4,2	90	7,7	51,5

Objaśnienia: * 21.07.-28.08., ** 28.07.-31.08., C - zachmurzenie, SS - usłonecznienie, V - prędkość wiatru, Ti - średnia dobową temperatura powietrza, Tmax - średnia dobową temperatura maksymalna, Tmin - średnia dobową temperatura minimalna, Tmax abs - absolutna temperatura maksymalna, Tmin abs - absolutna temperatura minimalna, f - wilgotność względna, e - ciśnienie pary wodnej, P - opad atmosferyczny

Explanations: * 21.07.-28.08., ** 28.07.-31.08., C - cloudiness, SS - sunshine duration, V - wind velocity, Ti - mean daily air temperature, Tmax - mean daily maximum temperature, Tmin - mean daily minimum temperature, Tmax abs - absolute maximum temperature, Tmin abs - absolute minimum temperature, f - relative humidity, e - water vapour pressure, P - atmospheric precipitation

Analiza wieloletnich danych termiki gruntu (tab. 3) pozwala na stwierdzenie, iż najchłodniejszym stanowiskiem w całym przekroju (1-50 cm) jest punkt pomiarowy na piaszczystej plaży, ciepłym od niej jest tundra, a najcieplejszym stanowisko na morenie.

Temperatura gruntu na Kaffiöyrze, podobnie jak większość analizowanych elementów meteorologicznych podlegała dużej zmienności z roku na rok.

Literatura

- Arażny, A., 1998. Warunki meteorologiczne Lodowca Waldemara w porównaniu z warunkami na Równinie Kaffiöyra w lecie 1997 roku, M-pis pracy magisterskiej, Zakład Klimatologii Instytutu Geografii, UMK, Toruń: ss. 153.
- Arażny A., 1999. Warunki meteorologiczne na Równinie Kaffiöyra (NW Spitsbergen) w okresie 20.07- 2.09.1998, Problemy Klimatologii Polarnej 9, WSM Gdynia: 103-115.
- Arażny A., Grześ M., 2000. Thermal conditions and seasonal thawing of the ice-cored moraines of the Avatmark glacier, [w:] Polish Polar Studies, 27th International Polar Symposium, Toruń: 135-152.

- Baranowski S., 1968. Termika tundry peryglacialnej SW Spitsbergen, *Acta Univ. Wratisl.*, 68, Wrocław: ss. 74.
- Czepe Z., 1966. Przebieg głównych procesów morfogenetycznych w południowo-zachodnim Spitsbergenie, *Zesz. Nauk. UJ, Prace Geograficzne*, 13: ss. 129.
- Grześ M., 1985. Warstwa czynna wieloletniej zmarzliny na zachodnich wybrzeżach Spitsbergenu, *Przegląd Geogr.*, t. LVII, 4, Warszawa: 671-691.
- Hisdal V, Finnekåsa Ø., Vinje T., 1992. Radiation measurements in Ny-Ålesund, Spitsbergen 1981-1987, *Meddelelser nr 118*, Oslo: ss. 380.
- Kejna M., 1990. The differences in ground temperature between chosen ecotopes of polar environment on Kaffiöyra (NW Spitsbergen) in summer 1985, [w:] *Periglacial phenomena of Western Spitsbergen*, Sesja Polarna, UMCS, Lublin: 245-252.
- Kejna M., Marciniak K., Przybylak R., 1993. Temperatura gruntu w wybranych ekotopach na Równinie Kaffiöyra (NW Spitsbergen) w lecie 1989 r., [w:] *Wyniki badań VIII Toruńskiej Wyprawy Polarnej Spitsbergen'89*, UMK, Toruń: 47-64.
- Marciniak K., Przybylak R., Kejna M., 1991. Vertical ground temperature distribution in some chosen ecotopes on Kaffiöyra (NW Spitsbergen) in the summer of 1989, [w:] *Arctic environment research*, Sesja Polarna, UMCS, Lublin: 277-288.
- Marciniak K., Przybylak R., Szczepanik W., 1988. The dynamics of summer ground thawing in the Kaffiöyra Plain (NW Spitsbergen), *V International Conference on Permafrost, Proceedings volume 1*, Trondheim, Norway: 406-411.
- Marciniak K., Szczepanik W., Przybylak R., 1981. Letnie odmarzanie gruntu na Kaffiöyrze (NW Spitsbergen), *VIII Sympozjum Polarne*, Sosnowiec: 163-168.
- Marciniak K., Szczepanik W., 1983. Results of investigations over the summer ground thawing in the Kaffiöyra (NW Spitsbergen), *Acta Universitatis N. Copernici, Geografia XVIII*, 56, Toruń: 69-97.
- Miętus M., 1988. Annual variation of soil temperature at Polar Station in Hornsund, Spitsbergen; *Polish Polar Research*, 9: 87-94.
- Pietrucień C., Skowron R., 1987. Wpływ zjawisk wodnych na głębokość rozmarzania gruntu na Ziemi Oscara II (NW Spitsbergen), *XIV Sympozjum Polarne*, Lublin: 119-128.
- Plichta W., 1993. Gleby Kaffiöyry, Spitsbergen, *Szkic monograficzny*, UMK, Toruń: ss. 60.
- Repelewska-Pękalowa J., Gluza A. F., Dąbrowski K., 1987. Termika tundry i dynamika czynnej warstwy zmarzliny na przedpolu lodowców Scotta i Renarda (rejon Belsundu, Zachodni Spitsbergen), *XIV Sympozjum Polarne*, Lublin: 108-116.
- Repelewska-Pękalowa J., Gluza A. F., Pękala K., 1988. Wpływ lokalnych czynników na miąższość i termikę czynnej warstwy zmarzliny na Calypsostrandzie (rejon Belsundu, Zachodni Spitsbergen), *XV Sympozjum Polarne*, Wrocław: 263-271.
- Wójcik G., Kejna M., Marciniak K., Przybylak R., Vizi Z., 1997. Obserwacje meteorologiczne na Ziemi Oskara II (Spitsbergen) i w Oazie Bungera (Antarktyda), *Zakład Klimatologii*, Toruń: ss. 412.
- Wójcik G., Marciniak K., 1987. Ground temperature of main ecotopes of Kaffiöyra, Spitsbergen, summer 1978; *Polish Polar Research*, 8, 1: 25-46.
- Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., 1988. Time and spatial variation of temperature of active layer in summer on the Kaffiöyra Plain (NW Spitsbergen), *V International Conference on Permafrost, Proceedings volume 1*, Trondheim, Norway: 499-504.
- Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., 1991. Mezoklimatyczne i topoklimatyczne jednostki w regionie Kaffiöyry (NW Spitsbergen), *Acta Universitatis Wratislaviensis*, No 1213, Wrocław: 323-342.

- Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., Kejna M., 1990. Year-to-year changes of ground temperature in the period 1975-1989 on the Kaffiöyra Plain (NW Spitsbergen), [w:] Periglacial phenomena of Western Spitsbergen, Sesja Polarna, UMCS, Lublin: 233-243.
- Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., Kejna M., 1992. Temperatura powietrza i opady a cyrkulacja atmosferyczna w regionie Kaffiöyry (NW Spitsbergen) w sezonie letnim w okresie 1975-1989, [w:] Problemy Klimatologii Polarnej 2, Gdynia: 96-102.

Differentiation of soil temperature on the Kaffiöyra Plain (NW Spitsbergen) in summer 1997 and 1998 in comparison to the period 1975–98

Summary

The paper presents the results of soil temperature measurements on the Kaffiöyra Plain from the polar summer period 1997 (Tab. 1) and 1998 (Tab. 2) compared to the period 1975-1998 (Tab. 3). The soil temperature measurements were carried out on three ecotops: on the sandy beach, on end moraine of the Aavatsmark Glacier, and on tundra (Fig. 1). The measurements were taken daily at 01, 07, 13 and 19 LMT at depths: 1, 5, 10, 20 and 50 cm by soil thermometers.

The thermal characteristics of soils at different ecotops differ by physical characteristics, moisture, degree of vegetation cover and thickness of active layer.

The paper presents the question of thermal changes in the soil with general weather conditions. The 1997 summer was very wet, strong winds domination and mean sunshine. The 1998 summer, on the contrary, was more cloudy and warmer, and the atmosphere dynamics lower with rare light rainfall (Fig. 2, Tab. 4).

The comparison of summer seasons was made for the common period 21 July – 31 August. The thermal changes of the soil on the Kaffiöyra Plain are best illustrated by the data from the beach because observations at this stand were made during all of the expeditions. The mean temperature at all depth was the lowest in 1982 and 1997, the highest in 1985 and 1998 (Fig. 5). In the analysed period the measurement point on the beach was the coldest stand, tundra was warmer, and the stand on the moraine the warmest (Tab. 3, Fig. 4).