

**POMIARY TERMIKI GRUNTU ORAZ PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO  
W LATACH 1989–1995  
HORNSUND, SW SPITSBERGEN**

**Zbigniew Caputa\*, Piotr Głowacki\*.\*.\***

\* Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Pracownia Środowiska Polarnego, Sosnowiec

\*\* Polska Akademia Nauk, Instytut Geofizyki, Warszawa

**Wstęp**

Promieniowanie słoneczne całkowite ( $K\downarrow$ ) padające na powierzchnię czynną składa się z promieniowania bezpośredniego od tarczy słonecznej i z promieniowania rozproszonego dochodzącego od sklepienia nieba. Przy stosunkowo dużych wysokościach Słońca, w warunkach nieba bezchmurnego natężenie promieniowania całkowitego zależy przede wszystkim od promieniowania bezpośredniego, stanowiącego wówczas zasadniczą część strumienia  $K\downarrow$ . Przy wysokościach Słońca wynoszących kilka lub kilkanaście stopni, główną rolę w strukturze promieniowania  $K\downarrow$  odgrywa promieniowanie rozproszone. Największe wartości promieniowania  $K\downarrow$  notuje się przy niebie częściowo zachmurzonym.

Część strumienia  $K\downarrow$  zostaje odbita od powierzchni gruntu. Intensywność, z jaką powierzchnia odbija promieniowanie zależy od stanu struktury powierzchni (barwy, wilgotności, porowatości itp.). Intensywność ta może być wyrażona przez albedo powierzchni ( $\alpha$ ). Tak więc odbite promieniowanie krótkofalowe można wyrazić wzorem:

$$K\uparrow = K\downarrow \cdot \alpha$$

Pewną część promieniowania  $K\downarrow$  stanowi promieniowanie pochłonięte przez powierzchnię gruntu ( $K^*$ ). Strumień promieniowania pochłoniętego (lub netto promieniowania krótkofalowego) wyrażamy równaniem:

$$K^* = K\downarrow - K\uparrow = K\downarrow \cdot (1 - \alpha)$$

Jest to znaczący składnik wymiany energii między atmosferą a podłożem. Promieniowanie  $K^*$  zostaje zużyte na ogrzanie wierzchnich warstw gruntu i wody. Duża część promieniowania pochłoniętego zostaje zamieniona na strumień ciepły. Efekt termiczny tego strumienia może być odzwierciedlony za pomocą profilu temperatury. Kierunek strumienia ciepłego zmienia się w ciągu roku. Latem przy wysokich wartościach strumienia  $K\downarrow$ , strumień ciepła zwrócony jest w głąb gruntu. Jesienią i zimą, przy niskiej temperaturze powietrza i braku promieniowania  $K\downarrow$  powierzchnia wypromieniowuje strumień ciepła do atmosfery. Pokrywa śnieżna może silnie modyfikować tę wymianę ciepła. Ocenia się, że śnieg odgrywa rolę termoizolacyjną i chroni zmarzlinę przed degradacją w okresie ablacji jedynie przez fakt swojej obecności (Jahn 1982) oraz redukuje wychładzanie gruntu w okresie zimowym (Migała 1988, 1994). Należy pamiętać o wpływie wody roztopowej na miąższość zmarzliny oraz o znaczeniu procesów kriochemicznych na obszarach niezlodowaconych (Pulina 1984).

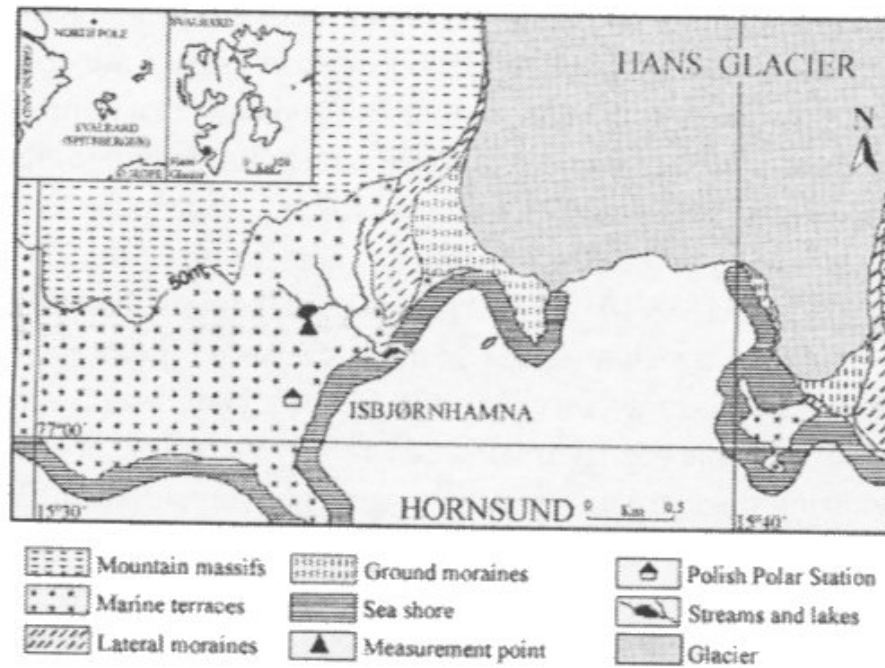
Obserwacje aktywnometryczne, poza pomiarami usłonecznienia, prowadzone były w Hornsundzie sporadycznie głównie w okresach letnich. Obserwacje wykonywane w trakcie wypraw przez pracowników Uniwersytetu Wrocławskiego w latach 1957–1960 i 1970–1974 (Baranowski 1977; Pereyma, Piasecki 1986; Pereyma, Lucerska 1988) oraz Instytutu Ekologii PAN w 1989 roku (Angiel 1996), pozwoliły na określenie miesięcznych sum promieniowania całkowitego miesięcy letnich (głównie lipca i sierpnia). Roczne serie pomiarowe wykonywano w okresach 1957/1958 (Baranowski 1977), 1980/1981 (Niewiadomski 1982; Głowicki 1985a) oraz 1989/1990 (Niedźwiedź niepublikowane). T. Niedźwiedź (1993) podaje najwyższą wartość bezpośredniego promieniowania słonecznego na powierzchnię prostopadłą do kierunku padania promieni słonecznych mierzoną obok stacji w Hornsundzie. W okresie od lipca 1989 do lipca 1990 roku zmierzono  $891 \text{ W/m}^2$  w dniach 17 i 22 maja 1990 roku przy wysokości słońca odpowiednio  $32$  i  $33^\circ$ . Stanowi to około 65% stałej słonecznej. W ciągu roku na powierzchnię poziomą dociera przeciętnie  $2258 \text{ MJ/m}^2$  w postaci promieniowania całkowitego.

Podjęto również próbę obliczenia sum promieniowania  $K\downarrow$  dla obszaru Hornsundu. A. Styszyńska (1997), wykorzystując metodę szacowania sum promieniowania całkowitego na podstawie znajomości miesięcznych sum usłonecznienia i wielkości zachmurzenia ogólnego nieba (Styszyńska 1995), podaje średnią wieloletnią roczną sumę promieniowania  $K\downarrow$  wynoszącą  $2161 \text{ MJ/m}^2$  i waha się ona od  $2371 \text{ MJ/m}^2$  w 1985 i 1993 do  $1889 \text{ MJ/m}^2$  w 1994 roku. Średnie wieloletnie sumy promieniowania w trzech miesiącach: maju, czerwcu i lipcu przekraczają  $418 \text{ MJ/m}^2$  (najwyższa w czerwcu –  $478 \text{ MJ/m}^2$ ). Najniższą średnią wieloletnią obliczono dla października –  $24 \text{ MJ/m}^2$ . Wielkości sum miesięcznych wykazują duże zróżnicowanie w poszczególnych latach. W lipcu wahania te są największe: od  $585 \text{ MJ/m}^2$  w 1993 do  $270 \text{ MJ/m}^2$  w 1994 roku.

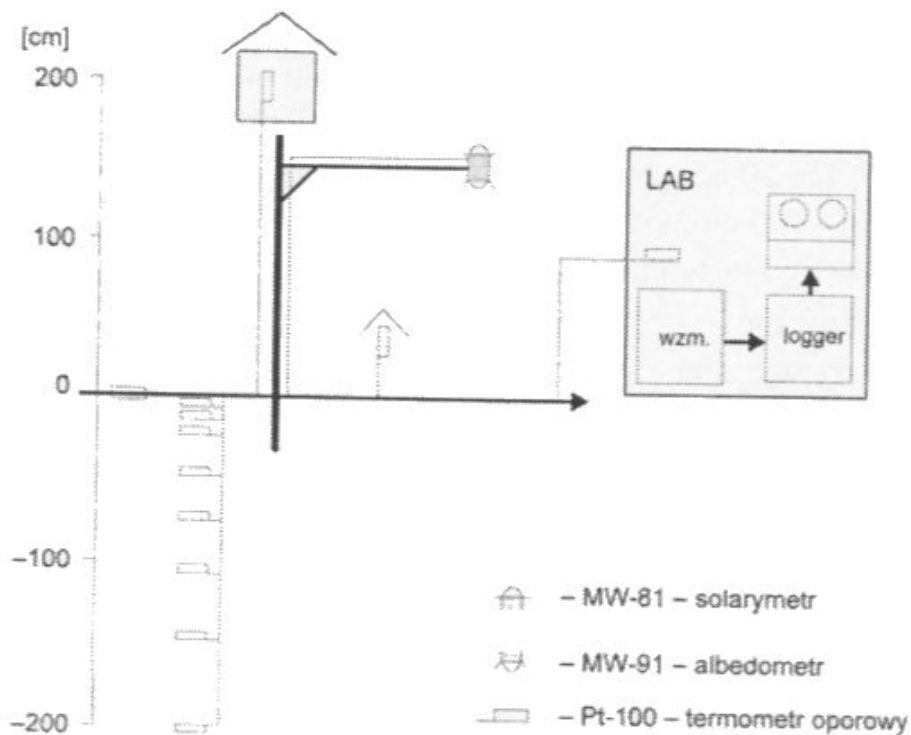
Badania termiki czynnej warstwy zmarzliny na Spitsbergenie podejmowane były głównie w okresach letnich (Grześ 1984; Szmyrka i in. 1986; Wójcik, Przybylak 1987; Wójcik, Marciniak 1987; Repelewska-Pękalowa, Magierski 1989; Angiel 1993, 1994 i in.), zimowych (Kamiński, Wach 1993) oraz nieliczne serie pomiarowe całoroczne (Czeppe 1966; Baranowski 1968; Głowicki 1985b; Miętała 1991, 1990; Niedźwiedz 1992). Od lipca 1978 prowadzone są pomiary w ramach standardowych obserwacji przy stacji w Hornsundzie. Pomiary na głębokościach 5, 10, 20 i 50 cm w latach 1978–1986 i dodatkowo na głębokościach 80 i 100 cm podczas ekspedycji w latach 1980–1986 (Miętała 1988a, 1988b). Stosunkowo długa seria danych mierzona w sposób automatyczny może dostarczyć ciekawych informacji o miąższości czynnej warstwy zmarzliny, jak również wpływu strumienia promieniowania pochłoniętego na jej dynamikę. Artykuł ma charakter komunikatu i prezentuje obszar, metodykę badań i wstępne wyniki dotyczące pomiarów strumieni promieniowania słonecznego.

### **Obszar badań**

W Hornsundzie przez 104 dni trwa noc polarna (od 31 października do 11 lutego), kiedy powierzchnia ziemi nie otrzymuje ciepła słonecznego. Z kolei w okresie od 24 kwietnia do 18 sierpnia przez 117 dni trwa dzień polarny.



Ryc. 1. Teren badań i lokalizacja aktynometrycznej stacji pomiarowej (AWS)  
 Fig. 1. The research area and the localisation of the station (AWS)



Ryc. 2. Schemat AWS  
 Fig. 2. The draft of AWS

Promieniowanie i termikę gruntu rejestrowano obok laboratorium oddalonego o około 500 m na północ od Polskiej Stacji Polarnej w Horskundzie (ryc. 1). Stanowisko usytuowano na niezlodowaczonej zlewni Fugleberget (5 m n.p.m.) Za pomocą automatycznej stacji prowadzono tam pomiary w okresie 1989–1996. Stanowisko pomiaru termiki warstwy czynnej i stropowych partii permafrostu zlokalizowano na podniesionej tarasie morskiej w zlewni Fugleberget uznając, że reprezentuje ona typową jednostkę fizjograficzną dla zachodniego wybrzeża Spitsbergenu Południowego.

### **Metodyka badań**

Kontynuacją wcześniej prowadzonych obserwacji (Głowacki i in. 1990) było zainstalowanie nowej stacji pomiarowej do pomiaru termiki gruntu oraz promieniowania słonecznego.

Oporowe termometry platynowe Pt-100 umieszczono na standardowych głębokościach 200 cm, 150 cm, 100 cm, 75 cm, 50 cm, 20 cm, 10 cm, 5 cm, na powierzchni gruntu oraz 5 cm nad powierzchnią gruntu i w klatce meteorologicznej (200 cm). Dodatkowo (dla określenia wielkości błędu pomiarowego aparatury) mierzono temperaturę w laboratorium, gdzie były umieszczone: wzmacniacz sygnału, logger i magnetofon rejestrujący (ryc. 2). Dwanaście termometrów Pt-100 połączono przewodem trójżyłowym (w celu kompensacji oporu linii) do przetwornika i wzmacniacza. Połączenie zostało tak przygotowane, aby osoba obsługująca mogła przeprowadzić pomiary kontrolne oporności:

- a) przewodów z termometrem oporowym,
- b) przewodów bez termometru oporowego,

w celu wyeliminowania zmian oporności przewodu połączeniowego. Sygnał ze wzmacniacza w zakresie od  $-10V$  do  $10V$  przekazywany był do loggера ADC typ LAD1 produkcji Geopan, a następnie w postaci bitowej (14 kanałów) do rejestratora magnetycznego LR1 firmy Geopan.

Początkowo (1989) dane były zapisywane automatycznie co 2 minuty, następnie zmniejszono częstość zapisu do 10 minut. Z praktyki wynika, że jest to wystarczająca próbka dla średnich godzinnych, a zyskano na nieprzerwanej dwumiesięcznej pracy rejestrującej na jednej stronie taśmy magnetycznej.

### Pomiary aktynometryczne

Dwa termostosy MW-81 i MW-91 do pomiaru promieniowania krótkofalowego były produkcji polskiej, wykonane w Pracowni Termoelektrycznych Przyrządów Naukowych w Bydgoszczy. Czulość czujników wynosiła  $10 \text{ W/m}^2$ , zakres pomiarowy od 1 do  $2000 \text{ W/m}^2$  dla długości fal od 300 do 2600 nm. Szklane kopułki użyte do osłony termostosów pełniły również funkcję filtrów, co ograniczało zakres mierzonego promieniowania do promieniowania widzialnego.

Termostosy ustawiono w odległości 25 m od laboratorium oraz 1,5 m nad powierzchnią tundrową. Promieniowanie całkowite ( $K\downarrow$ ) było rejestrowane przez termostos zwrócony do góry. Krótkofalowe promieniowanie odbite ( $K\uparrow$ ) rejestrował termostos zwrócony w dół w takim samym zakresie, umieszczony w dodatkowej osłonie bocznej, chroniącej przed promieniowaniem rozproszonym.

Dane rejestrowano co 10 minut. Sygnał elektryczny czujników był wzmacniany, a wzmocnione wartości przesyłano do loggера ADC LAD1 (Geopan) i zakodowane nagrywano na taśmy magnetyczne (magnetofon LR1, Geopan). Pięcioletnia seria danych została zebrana, odczytana i przeanalizowana przy użyciu magnetofonu LR1, loggера LDA (Geopan) i programów: Seedata, Excel. Odzyskano kompletne roczne dane za lata 1989 (od 12 lipca), 1991, 1992, 1993 pozostałe ciągi danych są niekompletne.

### Dyskusja błędów

Kalibracje czujników Pt-100 wykonano w laboratorium przez porównanie z termometrem wzorcowym w temperaturze  $0^\circ\text{C}$  (mieszanina wody z lodem). Dzięki stabilności czujników platynowych można przyjąć, że tak skalibrowane termometry wskazują bezwzględną wartość mierzoną z dokładnością do  $0,1^\circ$  oraz względną wartość z dokładnością  $0,02^\circ$  gwarantowaną przez producenta. W przypadku czujników aktynometrycznych przyjęto czulość i dokładność podaną przez producenta.

System rejestracyjny został tak zaprojektowany, aby zakres 16 000 bitów rejestrował zmiany z zakresu 200 stopni od  $-100^\circ\text{C}$  do  $100^\circ\text{C}$ , tzn. dokładność rejestracji wynosi  $0,001^\circ$  i jest wystarczająca do rejes-

tracji zmian  $0,1^\circ$ . Duże wątpliwości budzi jakość wzmacniacza, który z upływem czasu wykazywał pewną niestabilność. Pomiary w 1996 roku przerwano ze względu na uszkodzenie (przekorodowanie) termosostów aktynometrycznych. Opracowanie danych wykonano w Pracowni Środowiska Polarnego. Po inwentaryzacji materiałów rozpoczęto transport danych do komputera za pomocą magnetofonu LR1 i loggera LDA1. Do przeglądania danych wykorzystano program Seedate, następnie przeprowadzono korektę danych (rejestracja poza zakresem pomiarowym, błędy wynikające z awarii zasilania) i przekodowano dane do plików tekstowych.

Program pomiaru termiki gruntu i promieniowania słonecznego został dołączony do stałego programu Monitoringu Środowiska Polarnego na Stacji Polarnej PAN w Hornsundzie od wyprawy XI IGF PAN w 1988 kierowanej przez dr. Piotra Głowackiego. W następnych latach obserwatorzy środowiskowi kolejnych wypraw nadzorowali pracę, kontrolując przyrządy oraz dokonując pomiarów kontrolnych. W tym miejscu pragniemy im podziękować.

## Wyniki

Maksymalne wartości promieniowania całkowitego osiągnęły  $790 \text{ W/m}^2$  w czerwcu 1991,  $750 \text{ W/m}^2$  w maju 1992 i  $690 \text{ W/m}^2$  w lipcu 1993. Większą część sumy rocznego promieniowania odnotowano w maju ( $422\text{--}498 \text{ MJ/m}^2$ ), czerwcu ( $473\text{--}596 \text{ MJ/m}^2$ ) i w lipcu ( $502\text{--}642 \text{ MJ/m}^2$ ). Roczna suma promieniowania całkowitego wyniosła w 1992 roku  $2064 \text{ MJ/m}^2$  oraz w latach 1991 i 1993 osiągnęła podobne wartości, odpowiednio  $2349 \text{ MJ/m}^2$  i  $2397 \text{ MJ/m}^2$  (tab. 1). Maksymalne wartości  $K_{\downarrow}$  zarejestrowano w czerwcu 1991 i 1993 odpowiednio  $795$  i  $695 \text{ W/m}^2$  oraz w maju 1992 ( $753 \text{ W/m}^2$ ) (tab. 2). Najwyższe wartości obarczone są jednak dużym błędem. Na podstawie literatury dokonano zestawienia miesięcznych średnich sum dobowych promieniowania całkowitego w Hornsundzie ( $77^\circ 00' \text{ N}$ ,  $15^\circ 33' \text{ E}$ ). Dane za lata 1989–1994 dołączyli autorzy na podstawie pomiarów (tab. 3).

Krótkofalowe promieniowanie odbite zależy od wielkości promieniowania całkowitego (promieniowanie bezpośrednie nie było wyszczególnione) oraz struktury powierzchni. Wielkość albedo wahała się między 70–80% na wiosnę (pokrywa śnieżna) oraz 10–20% pod-

czas lata (tundra), są to wartości podobne do mierzonych przez Głowackiego (1985a) latem 1980 i Niedźwiedzia (1993) podczas zimowania 1989/1990.

Szczególnie duża zmienność pogody w Horsundzie jest obserwowana w zimie. Spowodowana jest ona silnymi zmianami układów barycznych i kierunków adwekcji mas powietrznych (Niedźwiedź 1993). Czynniki cyrkulacyjny ma znaczenie zimą, przy braku dostawy ciepła słonecznego i szczególnie gdy nie występuje pokrywa śnieżna, modyfikuje on silnie strumień ciepła w gruncie. Wieloletni ciąg pomiarów pozwala między innymi określić dynamikę zmian termicznych całej warstwy czynnej zmarzliny dla tak typowego miejsca, jak wał burzowy na podniesionej terasie morskiej. Znaczny stopień uwilgocenia gruntu i następująca sukcesja roślinna pozwalają analizować procesy w warstwie aktywnej dodatkowo pokrytej typową dla obszarów polarnych roślinnością.

Tabela 1. Miesięczne sumy promieniowania całkowitego [ $\text{MJ}/\text{m}^2$ ] na powierzchnię poziomą w zlewni Fugleberget. Kursywą oznaczono dane niepełne

Table 1. Monthly sums of the total radiation [ $\text{MJ}/\text{m}^2$ ] on the outflow Fugleberget in Hornsund. Italic fonts mark the gap data

MIESIĄC/ MONTH	1989	1990	1991	1992	1993	1994
II		4	9	2	1	
III			78	66	78	<i>88</i>
IV		314	259	277	279	
V		<i>467</i>	473	422	498	
VI			596	496	473	327
VII	<i>405</i>		547	502	642	383
VIII	327		259	<i>214</i>	295	261
IX	91	77	109	86	131	
X	18	19	18			
II-X	841	881	2349	2064	2397	<i>1059</i>



Tabela 2. Miesięczne maksymalne wartości promieniowania całkowitego [W/m<sup>2</sup>] zarejestrowane w Hornsundzie. Kursywą oznaczono dane niepełne

Table 2. Monthly maximal values of the total radiation [W/m<sup>2</sup>] recorded in Hornsund. Italic fonts mark the gap data

MIESIĄC/ MONTH	1989	1990	1991	1992	1993	1994
II		4	72	13	60	
III			273	237	240	<i>266</i>
IV		576	539	481	446	
V		<i>622</i>	758	753	694	
VI			795	725	695	<i>526</i>
VII	<i>748</i>		753	713	663	798
VIII	544		591	<i>366</i>	571	565
IX	433	<i>260</i>	370	294	291	
X	113	128	99			

Tabela 3. Miesięczne średnie sumy dobowe promieniowania całkowitego [MJ/m<sup>2</sup>] w Hornsundzie

Table 3. Monthly mean daily sums of the total radiation [MJ/m<sup>2</sup>] in Hornsund

Rok/Year	02*	03	04	05	06	07	08	09	10	a,b,c
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1957 <sup>1</sup>							9,04 <sup>a</sup>	2,93	0,50	<sup>a</sup> 4-31
1958 <sup>1</sup>	0,33	3,10	9,50	13,61	13,23	11,39	11,97 <sup>a</sup>			<sup>a</sup> 1-20
1959 <sup>1</sup>						13,73	10,72 <sup>a</sup>			<sup>a</sup> 1-18
1960 <sup>1</sup>						7,66 <sup>a</sup>	7,66			<sup>a</sup> 9-31
1970 <sup>1</sup>						14,99 <sup>a</sup>	6,91			<sup>a</sup> 6-31
1971 <sup>1</sup>						9,80	7,87	3,68		<sup>a</sup> 1-23
1972 <sup>2</sup>						11,00	5,70	2,83		<sup>a</sup> 1-23
1973 <sup>3</sup>					10,91 <sup>a</sup>	10,78	10,19	5,37		<sup>a</sup> 21-30
1974 <sup>3</sup>					10,28 <sup>a</sup>	10,75	7,91	3,63		<sup>b</sup> 1-16
1980 <sup>4</sup>						11,30 <sup>a</sup>	7,94	3,83	0,65	<sup>a</sup> 4-31
1981 <sup>4</sup>	0,30	4,48	12,67	19,52	21,33	16,90 <sup>a</sup>				<sup>a</sup> 4-31
1989 <sup>5</sup>				19,87 <sup>a</sup>	17,47	11,55		2,76	0,76	<sup>a</sup> 14-31
1989 <sup>7</sup>						13,05 <sup>a</sup>	12,84 <sup>b</sup>			<sup>b</sup> 1-15
1989 <sup>6</sup>						13,82 <sup>c</sup>	10,55			<sup>c</sup> 25-31

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1990 <sup>7</sup>	0,29		10,46	15,19 <sup>a</sup>				2,58 <sup>b</sup>		<sup>a</sup> 1-14 <sup>b</sup> 8-30
1991 <sup>7</sup>	0,65	2,52	8,64	15,26	19,86	17,65	8,36	3,63	0,59	
1992 <sup>7</sup>	0,17	2,12	9,22	13,61	16,55	16,18	6,92 <sup>a</sup>	2,86		<sup>a</sup> 22-31
1993 <sup>7</sup>	0,09	2,51	9,31	16,05	15,77	20,72	9,52	4,37		
1994 <sup>7</sup>		3,35 <sup>a</sup>			13,13 <sup>b</sup>	12,37	8,54			<sup>a</sup> 19-26 <sup>b</sup> 25-30
Średnia/Mean	0,30	2,95	9,97	15,61	17,35	13,44	8,06	3,59	0,62	

1 – Baranowski (1977), 2 – Pereyma & Piasecki (1986), 3 – Pereyma & Piasecki (1988), 4 – Głowacki (1985a), 5 – Angiel (1996), 6 – Niedźwiedź (1993), 7 – autorzy/authors, \* – 14 dni/days, a, b – dni obserwacji w miesiącu/days of observations in a month

### Literatura

- Angiel M., 1993, *Pomiar wpływu podłoża atmosfery na strukturę bilansu cieplnego powierzchni czynnej (sposób pomiaru i przetwarzanie danych)*, [w:] A. Kostrzewski (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego w Polsce, wybrane problemy*, Bibl. Monitor Środ., Warszawa, s. 113–127.
- Angiel M., 1994, *Heat flux in selected polar soils in spring and summer (Hornsund, Spitsbergen)*, Pol. Polar Res. 15 (1–2), s. 51–70.
- Angiel M., 1996, *Promieniowanie pochłonięte na obszarze kamienistej tundry arktycznej w okresie wiosenno-letnim przy odmiennych typach pogody (Hornsund, SW Spitsbergen)*, Problemy Klimatologii Polarnej 6, Gdynia, s. 83–97.
- Baranowski S., 1968, *Termika tundry peryglacjalnej SW Spitsbergen*, Acta Universitatis Wratislaviensis 68, Studia Geograficzne 10, ss. 74.
- Baranowski S., 1977, *The subpolar glaciers of Spitsbergen seen against the climate of this region*, Acta Universitatis Wratislaviensis 410, s. 1–99.
- Czeppe Z., 1966, *Przebieg głównych procesów morfogenetycznych w południowo-zachodnim Spitsbergenie*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne 13, s. 331–340.
- Jahn A., 1982, *Soil thawing and active layer of permafrost. Results of Investigations of Polish Scientific Spitsbergen Expedition*, Acta Universitatis Wratislaviensis 525, s. 57–75.
- Głowacki P., Pulina M., Wach J., 1990, *Some geomorphological and hydrochemical processes in the active zone of permafrost in the Hornsund Fjord*

*Pomiary termiki gruntu oraz promieniowania słonecznego...*

- (Spitsbergen) in the hydrological year 1985–1986, [w:] *Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen, Sesja Polarna 1990*, Lublin, s. 203–214.
- Głowicki B., 1985a, *Radiation conditions in the Hornsund area (Spitsbergen)*, Pol. Polar Res. 6 (3), s. 301–318.
- Głowicki B., 1985b, *Heat exchange in the subsurface of soil layer in the Hornsund area (Spitsbergen)*, Pol. Polar Res. 6 (3), s. 331–340.
- Grześ M., 1984, *Charakterystyka warstwy czynnej wieloletniej zmarzliny na Spitsbergenie*, XI Sympozjum Polarne, Poznań UAM, s. 65–83.
- Kamiński A., Wach, J., 1993, *The ground temperature of permafrost active layer in the Fugleberget catchment basin (SW Spitsbergen) in the winter season 1985/1986*, XX Polar Symposium, Lublin, s. 361–367.
- Miętus M., 1988a, *Annual variation of soil temperature at Polar Station in Hornsund, Spitsbergen*, Pol. Polar Res. 9 (1), s. 95–103.
- Miętus M., 1988b, *Pionowy profil temperatury gruntu na stacji w Hornsundzie w świetle pomiarów z lat 1978–1986*, XV Sympozjum Polarne, Wrocław, s. 254–259.
- Migała K., 1988, *Wpływ pokrywy śnieżnej na warstwę aktywną zmarzliny w rejonie Hornsundu, SW Spitsbergen*, XV Sympozjum Polarne, Wrocław, s. 230–239.
- Migała K., 1990, *Poziom aktywny zmarzliny w świetle warunków klimatycznych Hornsundu, SW Spitsbergen*, praca doktorska, maszynopis, Uniwersytet Wrocławski.
- Migała K., 1991, *Effect of the winter season and snow cover on the active layer of permafrost in the region of Hornsund (SW Spitsbergen)*, Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen UMCS, Lublin, s. 241–256.
- Migała K., 1994, *Cechy warstwy aktywnej wieloletniej zmarzliny w warunkach klimatycznych Spitsbergenu*, Acta Universitatis Wratislaviensis 1590, Prace Instytutu Geograficznego, s. 79–111.
- Niedźwiedź T., 1992, *Extreme surface temperature of Arctic tundra (SW Spitsbergen)*, Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen UMCS, Lublin, s. 39–51.
- Niedźwiedź T., 1993, *The main factors forming the climate of the Hornsund (Spitsbergen)*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne 94, s. 49–63.
- Niewiadomski J., 1982, *Report of the activities of the research expedition of Polish Academy of Sciences to Spitsbergen 1980/1981*, Pol. Polar Res. 3 (1–2), s. 123–127.
- Pereyma J., Lucerska K., 1988, *Warunki meteorologiczne na Spitsbergenie w sezonach letnich 1970–1974 ze szczególnym uwzględnieniem lat 1973 i 1974*, Biuletyn Meteorologiczny 29 (4), Acta Universitatis Wratislaviensis 738, s. 159–163.
- Pereyma J., Piasecki J., 1986, *Przebieg wybranych elementów meteorologicznych w miesiącach letnich 1972 na Spitsbergenie*, Biuletyn Meteorologiczny 28 (3), Acta Universitatis Wratislaviensis 569, s. 75–78.

- Pulina M., 1984, *The effects of cryochemical processes in the glaciers and the permafrost in Spitsbergen*, Pol. Polar Res. 5 (3–4), s. 137–163.
- Repelewska-Pękalowa J., Magierski J., 1989, *Czynna warstwa zmarzliny: dynamika i właściwości chemiczne wód, Calypsostranda, sezon letnio-jesienny 1988 r.*, Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen UMCS, Lublin, s. 79–84.
- Styszyńska A., 1995, *Dopływ promieniowania całkowitego Słońca do powierzchni o dowolnym nachyleniu i ekspozycji*, Prace Naukowe Wyższej Szkoły Morskiej w Gdyni, ss. 160.
- Styszyńska A., 1997, *Valuation of the monthly sum of the total sun radiation in Hornsund (SW Spitsbergen)*, Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen UMCS, Lublin, s. 163–172.
- Szmyrka A., Piasecki J., Brazdil R., Prošek P., 1986, *Badania hydrometeorologiczne w rejonie lodowca Werenskiolda w sezonie letnio-jesiennym 1985 r. Straty wody na parowanie z powierzchni gruntu oraz jego termika*, XIII Sympozjum Polarne, Gdańsk, s. 15.
- Wójcik G., Przybylak R., 1987, *Zróżnicowanie temperatury powierzchni czynnej moreny lodowca Aavatsmarka (Ziemia Oskara II, NW Spitsbergen) w zależności od ekspozycji*, XIV Sympozjum Polarne, Lublin, s. 128–132.
- Wójcik G., Marciniak K., 1987, *Ground temperature of main ecotopes of Kaf-fjöyra, Spitsbergen, summer 1978*, Pol. Polar Res. 8 (1), s. 25–46.

## THE GROUND TEMPERATURE AND SOLAR RADIATION MEASUREMENTS AT HORNSUND (SOUTH SPITSBERGEN) FROM 1989 TO 1995

### Summary

The data were recorded at the laboratory on the outflow Fugleberget (5 m a.s.l.) nearby the Polish Polar Station, Hornsund, south Spitsbergen. The second author recorded the data with instrument's during the 1989–1994 period. Temperature measurements on the ground surface, ground temperature at a depth of 5, 10, 20, 50, 75, 100, 150, and 200 cm, and radiation measurements were conducted in the laboratory on the outflow Fugleberget. The 5 years data were gathered, decoded and analysed using an LRI tape, LDA logger (Geopan), Seedata, Excel programs by the first author. A full year of data was collected only during years 1989 (after 12 July), 1991, 1992, 1993, as other years had data gaps.

The maximum value of global radiation ( $K\downarrow$ ) reached  $790 \text{ W/m}^2$  in June 1991,  $750 \text{ W/m}^2$  in May 1992, and  $690 \text{ W/m}^2$  in July 1993. The largest amount of solar radiation received in May ( $420\text{--}500 \text{ MJ/m}^2$ ), June ( $470\text{--}600 \text{ MJ/m}^2$ ) and July ( $500\text{--}650 \text{ MJ/m}^2$ ). The total amount of solar radiation in 1992 reached 2066

*Pomiary termiki gruntu oraz promieniowania słonecznego...*

MJ/m<sup>2</sup>, and in 1991 and 1993 reached similarly 2349 MJ/m<sup>2</sup> and 2397 MJ/m<sup>2</sup>. Short-wave reflected radiation ( $K\uparrow$ ) depends on global radiation and the reflectivity of the surface. At the present site the albedo reaches 70–80% in spring, and albedo of tundra was 10–20% during summer, as measured by Głowicki (1985a) in the summer 1980 and Niedźwiedź (1993) during the expedition of 1989/1990.