

PRZEBIEG Roczny SALDA PROMIENIOWANIA POWIERZCHNI CZYNNEJ W HORNSUNDZIE (V 2008 – IV 2009)

ANNUAL COURSE OF SURFACE RADIATION BALANCE IN HORNSUND,
SVALBARD (V 2008 – IV 2009)

Tomasz Budzik¹, Sebastian Sikora², Andrzej Araźny³

¹ – Katedra Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski
ul. Będzińska 60, 41–200 Sosnowiec
tomasz.budzik@us.edu.pl

² – Zakład Klimatologii i Ochrony Atmosfery, IGiRR, Uniwersytet Wrocławski
ul. Kosiby 6/8, 51–670 Wrocław
sikoraseb@meteo.uni.wroc.pl

³ – Zakład Klimatologii, Instytut Geografii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika
ul. Gagarina 9, 87–100 Toruń
andy@umk.pl

Zarys treści. Na podstawie danych pomiarowych zarejestrowanych w Hornsundzie w okresie od 1 maja 2008 do 30 kwietnia 2009 r. scharakteryzowano roczny przebieg struktury salda promieniowania powierzchni czynnej. Dodatkowo w pracy wykorzystano materiały pomiarowe z Ny-Ålesund ze stacji "Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research" w celu porównania przebiegu elementów salda promieniowania z danymi z Hornsundu. W analizowanym okresie roczna suma strumienia całkowitego promieniowania słonecznego wyniosła 2307 MJm⁻², a roczna suma salda promieniowania powierzchni czynnej 105 MJm⁻². Porównując dane z Hornsundu i Ny-Ålesundu, stwierdzono, na korzyść stacji w Ny-Ålesund, wyższe roczne wartości całkowitego promieniowania słonecznego (+184 MJm⁻²), a także wyższe roczne wartości salda promieniowania powierzchni czynnej (+69 MJm⁻²).

Słowa kluczowe: Svalbard, Spitsbergen, Hornsund, saldo promieniowania powierzchni czynnej, promieniowanie krótkofalowe, promieniowanie długofalowe, przebieg roczny.

1. Wstęp

Głównym źródłem energii docierającej do Ziemi jest Słońce, które w 99,9% dostarcza jej całkowitej energii. Ta część widma elektromagnetycznego, która stanowi przedmiot zainteresowania klimatologii zawiera się w przedziale od 0,1 do 100 μm. Dzielimy je na promieniowanie krótkofalowe i długofalowe. W skład promieniowania krótkofalowego wchodzi: promieniowanie ultrafioletowe o długościach fal mniejszych od 0,4 μm; promieniowanie widzialne, na które reaguje oko ludzkie, o długościach fal w zakresie 0,4–0,7 μm i promieniowanie bliskie podczerwone o długościach fal od 0,7 μm do 4 μm.

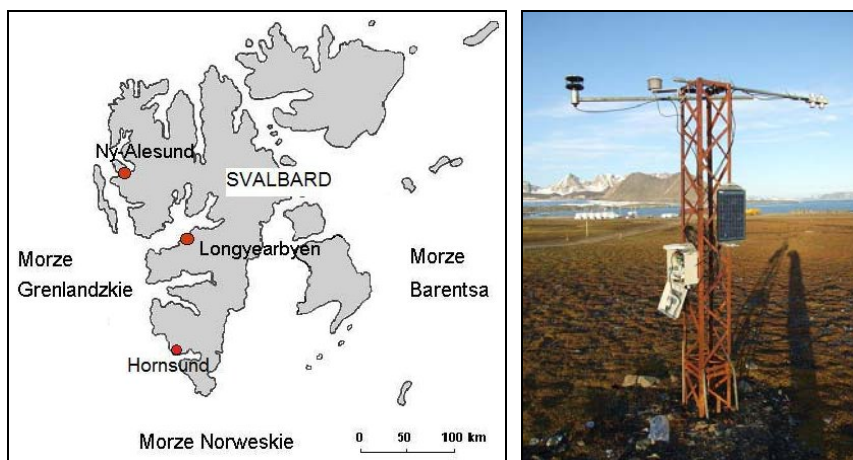
Promieniowanie długofalowe podczerwone to promieniowanie o długościach fal od 4 μm do 100 μm . Energia otrzymywana od Słońca jest częściowo pochłaniana i rozpraszana przez atmosferę ziemską, która z kolei staje się wtórnym źródłem energii. Promieniowanie docierające do powierzchni Ziemi powoduje głównie wzrost temperatury i parowanie. Także ogrzana powierzchnia Ziemi staje się wtórnym źródłem energii. Podsumowując, energia dostępna w określonym miejscu, jest reprezentowana przez saldo promieniowania, określane jako różnica promieniowania dochodzącego i uchodzącego z powierzchni czynnej.

O klimacie Svalbardu decyduje przede wszystkim duże wypromieniowywanie i ochłodzenie powierzchni śnieżno-lodowej podczas nocy polarnej oraz duży dopływ promieniowania słonecznego podczas dnia polarnego. Dodatkowo, istotną rolę odgrywa przez cały rok cyrkulacja atmosferyczna, transportująca duże ilości ciepła nad Svalbard oraz modyfikująca strukturę salda promieniowania.

Celem pracy jest scharakteryzowanie salda promieniowania powierzchni czynnej w pełnym zakresie widma oraz jego składowych w Hornsundzie, stacji położonej w południowo-zachodniej części Spitsbergenu (Svalbard) w okresie od 1 maja 2008 do 30 kwietnia 2009. Niniejsza praca ma charakter sprawozdawczy. Zaprezentowano w niej tylko wstępne wyniki.

2. Lokalizacja stacji oraz metodyka pomiarów

Współrzędne geograficzne stacji aktynometrycznej w Hornsundzie: $\varphi = 77^{\circ} 00' \text{N}$ i $\lambda = 15^{\circ} 33' \text{E}$; a wysokość – 7 m n.p.m. Położenie geograficzne Hornsundu na tle Svalbardu przedstawiono na rycinie 1. Stacja położona jest około 100 m w kierunku południowym od głównego budynku Polskiej Stacji Polarnej, przy drodze do „Banachówki”. Stację zamontowano na 2,5 metrowym stalowym maszcie. Podłoże wokół stacji aktynometrycznej porośnięte jest roślinnością tundrową – sucha tundra krzewinkowo-porostowa. Stację zamontowano 6 kwietnia 2008 r.



Ryc.1. Położenie geograficzne Hornsundu na tle Svalbardu i stacja aktynometryczna w Hornsundzie

Fig. 1. Location of Hornund in Svalbard and the research site with CNR1 sensor in the Hornsund

Pomiary promieniowania krótko- i długofalowego prowadzono za pomocą automatycznej stacji meteorologicznej firmy Campbell (model CR1000) wyposażonej: w logger zbierający dane pomiarowe oraz bilansomierz (net radiometer) firmy Kipp&Zonen (model CNR1), składającego się z dwóch piranometrów do pomiaru promieniowania krótkofalowego oraz dwóch pyrgeometrów do pomiaru promieniowania długofalowego, skierowanych odpowiednio w stronę nieba i ziemi. Specyfikację bilansomierza (net radiometer) przedstawiono w tabeli 1. Bilansomierz do pomiaru salda promieniowania umieszczono na wysokości 250 cm nad powierzchnią gruntu (ryc. 1).

Tabela 1 – Table 1

Specyfikacja bilansomierza CNR1 – Net radiometer CNR1 specification

Czujnik Sensor	Skala pomiarów Scale of measurement	Błąd pomiarowy Measuring-error
Piranometr CM3 Kipp&Zonen	305-2800 nm	±10% sumy dziennej ±10% daily sum
Pyrgeometr CG3 Kipp&Zonen	5000-50000 nm	±10% sumy dziennej ±10% daily sum

Ponadto w pracy wykorzystano dane dotyczące promieniowania ze stacji Ny-Ålesund, położonej w północno-zachodniej części Spitsbergenu. Dane zostały autorom udostępnione dzięki uprzejmości „The Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research” (König-Langlo i Marx 1997). Współrzędne geograficzne stacji: $\varphi = 78^{\circ}56'N$, $\lambda = 11^{\circ}57'E$, $h = 11$ m n.p.m. (ryc.1).

W okresie „dnia polarnego” pomiar był dokonywany co 30 sekund, a dane rejestrowano co 10 minut. W czasie „nocy polarnej” próbkowanie oraz rejestrację danych prowadzono co 10 minut. Tak więc w ciągu jednej doby uzyskiwano 144 wyniki dla każdego elementu salda promieniowania. Po przeprowadzeniu weryfikacji i uzupełnieniu brakujących danych materiał poddano opracowaniu statystycznemu. Na podstawie wartości 10-minutowych obliczono średnie godzinne, dobowe, miesięczne i roczne oraz wyliczono godzinne, dobowe, miesięczne i roczne sumy promieniowania poszczególnych strumieni oraz salda promieniowania. Wartości strumieni i salda promieniowania podano w MJm⁻².

Położenie geograficzne Svalbardu za kołem polarnym sprawia, że można tutaj wyróżnić takie okresy w roku jak: „noc polarna”, „dzień polarny” oraz okresy przejściowe pomiędzy nimi. Noc polarna w Hornsundzie rozpoczyna się 31 października i kończy 11 lutego i trwa 104 dni; w tym okresie Słońce znajduje się poniżej linii horyzontu i nie notuje się promieniowania krótkofalowego. Dzień polarny rozpoczyna się 24 kwietnia i trwa do 18 sierpnia (117 dni). W tym okresie usłonecznienie rzeczywiste może wynieść 24 godziny, a przy małym zasłonięciu horyzontu i braku zachmurzenia występują największe wartości promieniowania słonecznego. Najwyższa wysokość Słońca nad horyzontem występuje 22 czerwca i wynosi 36°23,7'. Okresy pomiędzy „nocą polarną” i „dniem polarnym” (12 luty – 23 kwiecień) oraz pomiędzy „dniem polarnym” a „nocą polarną” (19 sierpień – 30 październik) charakteryzują się występowaniem wschodu oraz zachodu Słońca. Dokładne charakterystyki geograficzno-astronomiczne dla rejonu Hornsundu znajdują się w monografii *Klimat Rejonu Hornsundu* autorstwa Marsza i Styszyńskiej (2007).

Saldo promieniowania w pełnym zakresie widma (QB) jest sumą algebraiczną wszystkich strumieni promieniowania dochodzących do powierzchni czynnej i od niej uchodzących w określonym przedziale

czasu. Po stronie przychodowej w równaniu salda promieniowania znajduje się promieniowanie słoneczne całkowite KC (bezpośrednie i rozproszone) oraz promieniowanie długofalowe atmosfery skierowane do powierzchni Ziemi (LA). Natomiast promieniowanie słoneczne odbite od podłoża (KO) oraz promieniowanie długofalowe uchodzące od powierzchni czynnej ku górze (LZ) znajdują się po stronie rozchodowej. Saldo promieniowania powierzchni czynnej w pełnym zakresie widma opisuje równanie (za Oke 1996):

$$QB = KB + LB = KC - KO + LA - LZ \quad (1)$$

gdzie:

- QB – saldo promieniowania w pełnym zakresie widma,
- KB – saldo promieniowania krótkofalowego
- LB – saldo promieniowania długofalowego,
- KC – całkowite promieniowanie słoneczne (bezpośrednie i rozproszone),
- KO – promieniowanie słoneczne odbite od podłoża (powierzchni czynnej),
- LA – promieniowanie długofalowe atmosfery skierowane do powierzchni Ziemi (promieniowanie zwrotne atmosfery),
- LZ – promieniowanie długofalowe uchodzące od powierzchni czynnej ku górze (wypromieniowanie Ziemi).

3. Promieniowanie krótkofalowe

3.1. Całkowite promieniowanie słoneczne

Na całkowite promieniowanie słoneczne KC składają się promieniowanie bezpośrednie i rozproszone, docierające do powierzchni Ziemi. W analizowanym okresie 1 maj 2008 – 30 kwiecień 2009 r., roczna suma strumienia całkowitego promieniowania słonecznego wynosiła 2307 MJm⁻². Dla dłuższego okresu 1979-2006, Styszyńska (1997, Marsz i Styszyńska 2007) oszacowała na podstawie miesięcznych sum usłonecznienia i wielkości zachmurzenia na stacji w Hornsundzie miesięczne i roczne sumy promieniowania całkowitego Słońca. W okresie 1979-2006 średnia wieloletnia roczna suma KC wg tej autorki wyniosła w Hornsundzie 2305 MJm⁻², wahając się w poszczególnych latach od 2065 do 2562 MJm⁻². W sezonie wyprawowym 1980/1981 Głowicki (1985) stwierdził dla tej stacji średnią roczną sumę wynoszącą 2258 MJm⁻². Według Budzika (2004) średnia wieloletnia roczna suma strumienia KC w Ny-Ålesundzie w okresie 1989-2003 wyniosła 2400 MJm⁻². Największa miesięczna suma promieniowania całkowitego w analizowanym okresie 1 maj 2008 – 30 kwiecień 2009 roku wystąpiła w czerwcu 2008 (545 MJm⁻², tab. 2). Według Styszyńskiej (1997, Marsz i Styszyńska 2007) największą miesięczną sumę 677 MJm⁻² zanotowano także w czerwcu. Podobne obserwacje stwierdził Głowicki (1985), który zanotował w sezonie 1980/1981 największe miesięczne sumy KC w maju i czerwcu.

Czerwiec jest miesiącem charakteryzującym się największym dopływem promieniowania słonecznego przede wszystkim ze względu na duże wysokości Słońca nad horyzontem. W analizowanym okresie pomiarowym (od 1 maja 2008 do 30 kwietnia 2009), w maju i lipcu wystąpiły podobne wartości sum miesięcznych – 464 i 477 MJm⁻² (tab. 2, ryc. 2). W marcu i wrześniu miesięczne wartości są zbliżone: 93 i 86 MJm⁻² odpowiednio. W sierpniu suma miesięczna KC była niższa aniżeli w miesiącach maj-lipiec i wyniosła 276 MJm⁻². W listopadzie i grudniu 2008 r. oraz w styczniu 2009 r. wartości KC wyniosły 0. W czerwcu 2008 r. stwierdzono największą średnią miesięczną sumę dobową 18,2 MJm⁻²

(tab. 3), a także zarejestrowano maksymalne chwilowe natężenie całkowitego promieniowania słonecznego równe 908 Wm⁻² (tab. 4). W przebiegu godzinnym największe natężenie promieniowania słonecznego, powyżej 1 MJm⁻², występuje od maja do lipca w godzinach od 7 do 15 UTC (tab. 5).

Tabela 2 – Table 2

Miesięczne sumy promieniowania (KC, KO, LA, LZ), salda promieniowania krótkofalowego (KB), salda promieniowania długofalowego (LB) oraz salda promieniowania powierzchni czynnej (QB) w Hornsundzie w MJm⁻² w okresie 1 V 2008 – 30 IV 2009

Monthly sums of radiation (KC, KO, LA, LZ), net shortwave radiation (KB), net longwave radiation (LB) and surface radiation balance (QB) in Hornsund, 1 V 2008 – 30 IV 2009 [MJm⁻²]

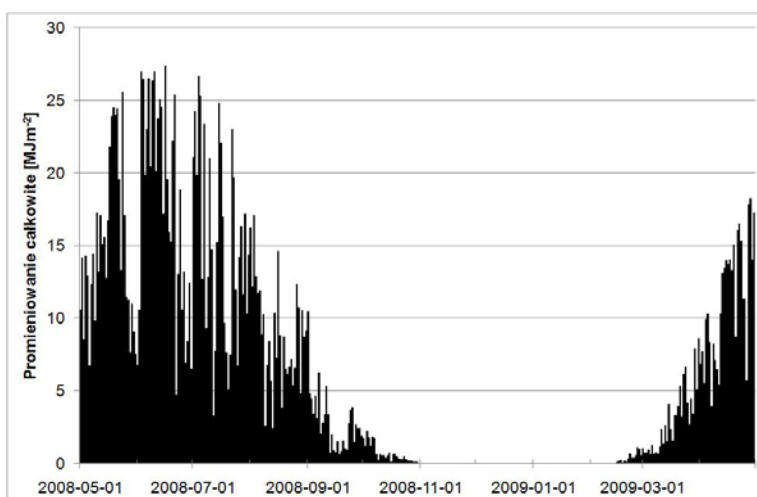
Rok Year	KC MJm ⁻²	KO MJm ⁻²	Albedo	LA MJm ⁻²	LZ MJm ⁻²	KB MJm ⁻²	LB MJm ⁻²	QB MJm ⁻²
V 2008	463,8	387,1	0,83	725,0	805,6	76,6	-80,5	-3,9
VI 2008	545,2	214,6	0,39	731,9	845,7	330,7	-113,8	216,8
VII 2008	476,9	68,8	0,14	813,0	944,4	408,1	-131,4	276,7
VIII 2008	275,6	43,7	0,16	810,8	911,6	231,9	-100,9	131,0
IX 2008	86,4	15,0	0,17	789,6	844,7	71,4	-55,0	16,4
X 2008	20,6	13,4	0,65	678,9	767,5	7,2	-88,6	-81,4
XI 2008	-	-	-	627,3	720,5	-	-93,1	-93,1
XII 2008	-	-	-	675,1	746,2	-	-71,1	-71,1
I 2009	-	-	-	617,3	701,1	-	-83,8	-83,8
II 2009	5,9	4,6	0,78	574,4	649,1	1,3	-74,6	-73,3
III 2009	92,8	77,3	0,83	654,9	723,3	15,5	-68,4	-52,8
IV 2009	339,3	285,4	0,84	538,9	669,3	53,9	-130,4	-76,5
Suma – Sum	2306,6	1109,9		8237,3	9329,0	1196,7	-1091,7	105,0
Średnia – Mean			0,48					

Tabela 3 – Table 3

Średnie sumy dobowe elementów salda promieniowania w poszczególnych miesiącach (KC, KO, LA, LZ), salda promieniowania krótkofalowego (KB), salda promieniowania długofalowego (LB) oraz salda promieniowania powierzchni czynnej (QB) w Hornsundzie w MJm⁻² w okresie 1 V 2008 – 30 IV 2009

Daily mean sums of radiation balance elements for each month (KC, KO, LA, LZ), net shortwave radiation (KB), net longwave radiation (LB) and surface radiation balance (QB) in Hornsund, 1 V 2008 – 30 IV 2009 [MJm⁻²]

Rok Year	KC MJm ⁻²	KO MJm ⁻²	LA MJm ⁻²	LZ MJm ⁻²	KB MJm ⁻²	LB MJm ⁻²	QB MJm ⁻²
V 2008	15,0	12,5	23,4	26,0	2,5	-2,6	-0,1
VI 2008	18,2	7,2	24,4	28,2	11,0	-3,8	7,2
VII 2008	15,4	2,2	26,2	30,5	13,2	-4,2	8,9
VIII 2008	8,9	1,4	26,2	29,4	7,5	-3,3	4,2
IX 2008	2,9	0,5	26,3	28,2	2,4	-1,8	0,5
X 2008	0,7	0,4	21,9	24,8	0,2	-2,9	-2,6
XI 2008	-	-	20,9	24,0	-	-3,1	-3,1
XII 2008	-	-	21,8	24,1	-	-2,3	-2,3
I 2009	-	-	19,9	22,6	-	-2,7	-2,7
II 2009	0,2	0,2	20,5	23,2	0,0	-2,7	-2,6
III 2009	3,0	2,5	21,1	23,3	0,5	-2,2	-1,7
IV 2009	11,3	9,5	18,0	22,3	1,8	-4,3	-2,6
Średnia – Mean	6,3	3,0	22,5	25,5	3,3	-3,0	0,3



Ryc. 2. Przebieg roczny dobowych sum całkowitego promieniowania słonecznego w Hornsundzie w MJm⁻² w okresie 1 V 2008 – 30 IV 2009

Fig. 2. Annual course of global radiation (according to daily sums) in Hornsund, 1 V 2008 – 30 IV 2009 [MJm⁻²]

Tabela 4 – Table 4

Maksymalne zarejestrowane chwilowe wartości strumieni promieniowania w poszczególnych miesiącach (KC, KO, LA, LZ), salda promieniowania krótkofalowego (KB), salda promieniowania długofalowego (LB) oraz salda promieniowania powierzchni czynnej (QB) w Hornsundzie w Wm⁻² w okresie 1 V 2008 – 30 IV 2009

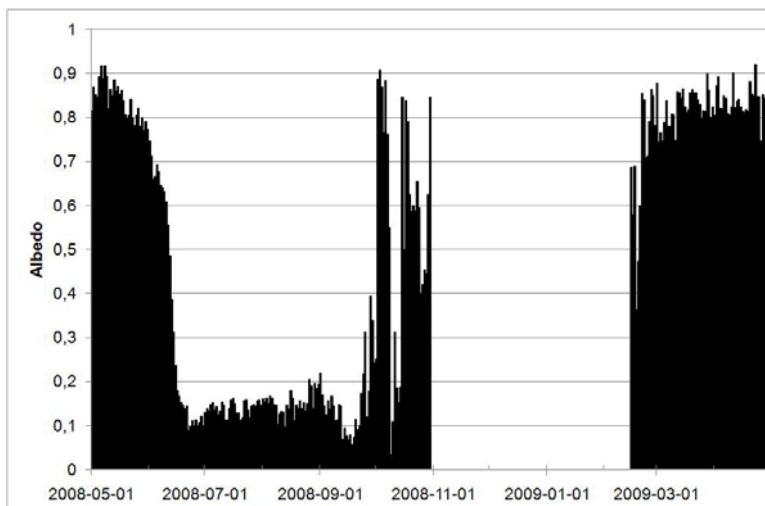
Recorded maximum of temporary radiation string values for each month (KC, KO, LA, LZ), net shortwave radiation (KB), net longwave radiation (LB) and surface radiation balance (QB) in Hornsund, 1 V 2008 – 30 IV 2009 [MJm⁻²]

Rok Year	KC Wm ⁻²	KO Wm ⁻²	LA Wm ⁻²	LZ Wm ⁻²	KB Wm ⁻²	LB Wm ⁻²	QB Wm ⁻²
V 2008	810,0	577,8	330,5	323,2	140,1	22,0	98,2
VI 2008	908,0	411,3	349,5	391,0	576,5	30,6	497,1
VII 2008	806,0	110,5	356,7	431,0	598,2	1,8	509,5
VIII 2008	626,6	87,6	346,4	403,8	445,0	1,5	367,8
IX 2008	381,2	74,0	355,3	370,6	296,4	12,9	266,7
X 2008	127,4	108,8	327,7	328,6	75,1	36,1	38,4
XI 2008	-	-	324,4	325,4	-	11,4	11,4
XII 2008	-	-	321,8	320,0	-	18,3	18,3
I 2009	-	-	322,3	321,1	-	12,6	12,6
II 2009	71,9	68,8	322,8	321,5	12,1	11,4	11,5
III 2009	365,3	264,0	321,3	320,2	93,0	39,4	106,2
IV 2009	548,4	427,9	320,0	320,7	96,2	8,0	44,5

3.2. Promieniowanie słoneczne odbite i albedo

Część energii docierającej w postaci całkowitego promieniowania słonecznego KC zostaje odbita od powierzchni Ziemi – jest to promieniowanie słoneczne odbite KO, które zależy od albedo (α) powierzchni. Odbite promieniowanie krótkofalowe KO zapisać można jako $KO = KC \cdot \alpha$. Największe

wartości promieniowania słonecznego odbitego (tab. 2, ryc. 3) zanotowano w miesiącach z trwałą pokrywą śnieżną (albedo w zależności od „jakości” śniegu wynosiło od 0,50 do 0,90) – w kwietniu 285 MJm⁻² (tj. 84% dochodzącego promieniowania słonecznego), w maju – 387 MJm⁻² (83% KC). Ciekawe są różnice albedo w porach przejściowych – jesienią i wiosną. Jesienią (październik) albedo podlega bardzo dużym zmianom z dnia na dzień – od kilku do prawie 90%, natomiast wiosną (kwiecień) międzydobowe zmiany albedo są niewielkie, a jego wielkość cały czas utrzymuje się na poziomie 75-85% (ryc. 3). Jesienna duża międzydobowa zmienność albedo spowodowana jest występującymi opadami śniegu nie tworzącymi jednak trwałej pokrywy śnieżnej, podczas gdy wiosną utrzymuje się trwałą, zimową pokrywą śnieżną dodatkowo zasilaną świeżymi opadami. Występujące wiosną różnice wielkości albedo związane są z różną zdolnością odbijania światła przez świeży i stary śnieg.



Ryc. 3. Przebieg roczny dobowych wartości albedo w Hornsundzie w MJm⁻² w okresie 1 V 2008 – 30 IV 2009

Fig. 3. Annual course of albedo (according to daily sums) in Hornsund, 1 V 2008 – 30 IV 2009 [MJm⁻²]

W kwietniu i maju stwierdzono największe średnie dobowe wartości promieniowania słonecznego odbitego KO (9,5 oraz 12,5 MJm⁻² odpowiednio, tab. 3). Maksymalne chwilowe wartości promieniowania odbitego wystąpiły w maju 2008 (578 Wm⁻², tab. 4). W czerwcu notuje się systematyczne zanikanie pokrywy śnieżnej i odkrywanie tundry, co odzwierciedla się w wartościach albedo (1 czerwca: $\alpha = 0,74$; 30 czerwca: $\alpha = 0,12$) oraz ilości promieniowania słonecznego odbijanej od powierzchni czynnej. Najwięcej energii słonecznej jest pochłaniane przez powierzchnię w lipcu i sierpniu (α od 0,14 do 0,17). Podobne wartości albedo dla powierzchni tundrowej stwierdził Niedźwiedź (1993). Według tego autora średnie miesięczne wartości albedo wynoszą od 0,14 do 0,20. W analizowanym okresie (1 maj 2008 – 30 kwiecień 2009), z rocznej sumy całkowitego promieniowania słonecznego 2307 MJm⁻² około 52% zostało pochłonięte przez powierzchnię czynną. Podobną wartość otrzymał Niedźwiedź (1993) analizując sezon 1989/1990 (52,5% ówczesnej rocznej sumy promieniowania). Badania przeprowadzone przez Głowickiego (1985) wskazały na względnie mniejszy udział (41%) promieniowania pochłoniętego przez powierzchnię ziemi.

Tabela 5 – Table 5

Średnie sumy godzinne całkowitego promieniowania słonecznego (KC), w poszczególnych miesiącach, w Hornsundzie w MJm⁻² w okresie 1 V 2008 – 30 IV 2009

Hourly mean sums of global radiation (KC) for each month in Hornsund, 1 V 2008 – 30 IV 2009 [MJm⁻²]

Godz UTC	2008 V	2008 VI	2008 VII	2008 VIII	2008 IX	2008 X	2008 XI	2008 XII	2009 I	2009 II	2009 III	2009 IV
1:00	0,14	0,24	0,14	0,03	-	-	-	-	-	-	-	0,01
2:00	0,22	0,34	0,24	0,06	-	-	-	-	-	-	-	0,03
3:00	0,30	0,44	0,30	0,10	-	-	-	-	-	-	-	0,08
4:00	0,39	0,53	0,39	0,15	-	-	-	-	-	-	-	0,19
5:00	0,51	0,68	0,52	0,25	0,05	-	-	-	-	-	-	0,35
6:00	0,67	0,85	0,68	0,36	0,09	-	-	-	-	-	0,06	0,53
7:00	0,82	1,03	0,83	0,48	0,13	-	-	-	-	-	0,13	0,67
8:00	1,00	1,19	0,95	0,59	0,21	0,04	-	-	-	-	0,22	0,78
9:00	1,11	1,26	1,04	0,73	0,27	0,07	-	-	-	-	0,29	0,90
10:00	1,20	1,36	1,15	0,79	0,30	0,11	-	-	-	0,04	0,34	0,96
11:00	1,23	1,33	1,23	0,83	0,34	0,12	-	-	-	0,05	0,38	0,94
12:00	1,19	1,24	1,26	0,86	0,37	0,12	-	-	-	0,05	0,39	0,93
13:00	1,17	1,19	1,17	0,82	0,33	0,09	-	-	-	0,04	0,39	0,89
14:00	1,05	1,08	1,13	0,74	0,28	0,05	-	-	-	0,02	0,33	0,81
15:00	0,88	1,05	1,02	0,62	0,21	0,03	-	-	-	0,01	0,23	0,66
16:00	0,79	0,96	0,83	0,49	0,14	0,01	-	-	-	0,00	0,14	0,52
17:00	0,60	0,88	0,69	0,37	0,07	0,00	-	-	-	-	0,06	0,41
18:00	0,50	0,70	0,53	0,25	0,03	-	-	-	-	-	0,02	0,26
19:00	0,38	0,57	0,41	0,16	0,01	-	-	-	-	-	0,00	0,13
20:00	0,30	0,43	0,33	0,10	0,00	-	-	-	-	-	-	0,06
21:00	0,17	0,32	0,21	0,04	-	-	-	-	-	-	-	0,03
22:00	0,12	0,18	0,13	0,03	-	-	-	-	-	-	-	0,02
23:00	0,10	0,17	0,11	0,02	-	-	-	-	-	-	-	0,01
24:00	0,11	0,15	0,10	0,02	-	-	-	-	-	-	-	0,01

3.3. Saldo promieniowania krótkofalowego

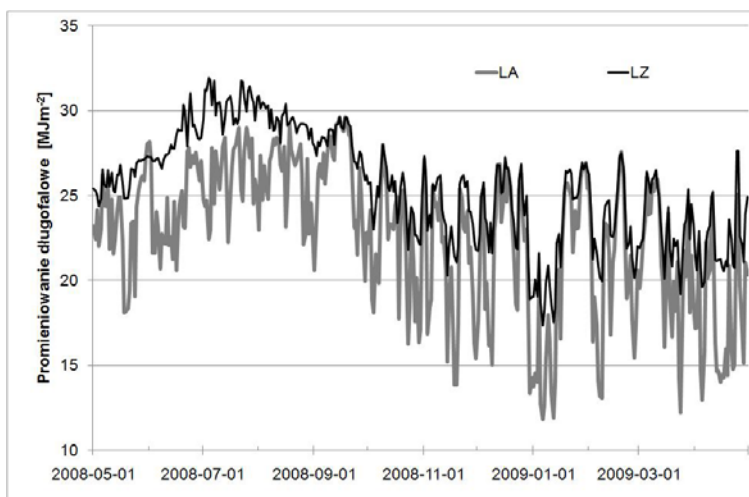
Saldo promieniowania powierzchni czynnej w zakresie krótkofalowym KB jest różnicą strumienia promieniowania słonecznego całkowitego KC oraz strumienia promieniowania słonecznego odbitego od podłoża KO. Miesięczne sumy salda KB wahały się od 1 MJm⁻² w lutym do 408 MJm⁻² w lipcu (tab. 2). Suma roczna salda promieniowania krótkofalowego KB wyniosła 1198 MJm⁻². Największe sumy miesięczne występują w miesiącach letnich (VI, VII, VIII), w których Słońce znajduje się w ciągu doby najwyżej nad horyzontem. Ważną rolę w okresie "letnim" w kształtowaniu salda KB odgrywa pokrycie terenu, a szczególnie brak pokrywy śnieżnej, który zmniejsza straty wynikające z odbicia od powierzchni czynnej promieniowania słonecznego. Największe średnie miesięczne sumy dobowe KB wystąpiły w lipcu (13,2 MJm⁻²), a maksymalne chwilowe wartości KB przekraczały 598 Wm⁻² (tab. 4).

4. Promieniowanie długofalowe

4.1. Promieniowanie zwrotne atmosfery

Promieniowanie długofalowe atmosfery LA jest emitowane w głównej mierze przez parę wodną, dwutlenek węgla, ozon, itd., a w jego kształtowaniu największe znaczenie odgrywa zachmurzenie

(wielkość zachmurzenia oraz rodzaj chmur). Promieniowanie długofalowe, w przeciwieństwie do promieniowania krótkofalowego, występuje przez cały rok, także podczas „nocy polarnej”. W analizowanym okresie roczna suma strumienia LA wyniosła 8237 MJm⁻², wahając się od 813 MJm⁻² w lipcu do 574 MJm⁻² w lutym (tab. 2). Największe średnie dobowe wartości LA wystąpiły w lipcu, sierpniu i wrześniu (26,2÷26,3 MJm⁻²), a najmniejsze w kwietniu 18 MJm⁻² (tab. 3, ryc. 4). Związane jest to z wielkością zachmurzenia w rejonie Hornsundu. Największe zachmurzenie występuje na tej stacji w miesiącach czerwiec-wrzesień, a najmniejsze w okresie listopad-kwiecień. Maksymalne chwilowe wartości strumienia LA zarejestrowano w lipcu i sierpniu, powyżej 400 Wm⁻² (tab. 4).



Ryc. 4. Przebieg roczny dobowych sum promieniowania długofalowego (LA – promieniowanie zwrotne atmosfery oraz LZ – promieniowanie uchodzące od powierzchni czynnej ku górze) w Hornsundzie w MJm⁻² w okresie 1 V 2008 – 30 IV 2009

Fig. 4. Annual course of longwave downward (LA) and longwave upward (LZ) radiation (according to daily sums) in Hornsund, 1 V 2008 – 30 IV 2009 [MJm⁻²]

4.2. Promieniowanie powierzchni Ziemi

Promieniowanie długofalowe LZ uchodzące od powierzchni czynnej ku atmosferze zależy od rodzaju i temperatury powierzchni. Roczna suma promieniowania długofalowego LZ na stacji w Hornsundzie w analizowanym okresie wyniosła 9329 MJm⁻², wahając się od 944 MJm⁻² w lipcu do 649 MJm⁻² w lutym (tab. 2). Największa średnia dzienna suma strumienia LZ występuje w lipcu, powyżej 30 MJm⁻², mniejsza zaś w kwietniu i lutym (22,2÷22,6 MJm⁻², tab. 3). Maksymalne chwilowe wartości strumienia LZ zarejestrowano w lipcu i sierpniu (powyżej 400 Wm⁻², tab. 4).

4.3. Saldo promieniowania długofalowego

Saldo promieniowania długofalowego LB stanowi różnicę między strumieniem LA, a strumieniem LZ. W okresie 1 maj 2008 – 30 kwiecień 2009 suma roczna salda promieniowania długofalowego LB wyniosła -1091,7 MJm⁻². Największa suma miesięczna (najniższe straty promieniowania długofalowego)

wego) występuje w marcu $-68,4 \text{ MJm}^{-2}$, największe straty LB stwierdzono w lipcu 2008 i kwietniu 2009 (około -131 MJm^{-2} , tab. 2). W kwietniu i lipcu wystąpiły najmniejsze wartości średniej dobowej strumienia LB ($-4,2 \text{ MJm}^{-2}$), we wrześniu zaś największe ($-1,8 \text{ MJm}^{-2}$, tab. 3).

4.4. Saldo promieniowania powierzchni czynnej

Saldo promieniowania QB w pełnym zakresie widma opisuje wzór $QB = (KC - KO) + (LA - LZ) = KB + LB$. Suma roczna salda promieniowania powierzchni czynnej wyniosła 105 MJm^{-2} , z największą sumą miesięczną QB w lipcu równą 277 MJm^{-2} , a najmniejszą -93 MJm^{-2} w listopadzie (tab. 2, ryc. 5). W przebiegu rocznym dodatnie miesięczne sumy salda promieniowania QB występują w okresie „dnia polarnego”, tj. od czerwca do września, w którym największe znaczenie w saldzie promieniowania ma strumień KC.

Tabela 6 – Table 6

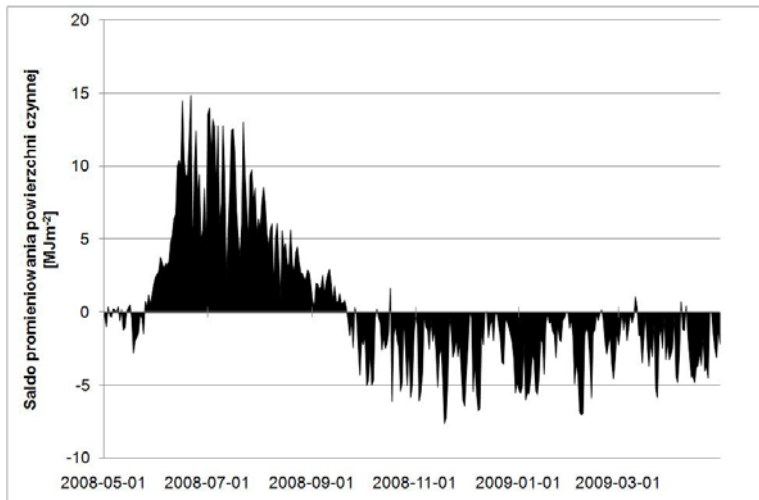
Średnie sumy godzinne salda promieniowania powierzchni czynnej (QB) w poszczególnych miesiącach, w Hornsundzie w MJm^{-2} w okresie 1 V 2008 – 30 IV 2009

Hourly mean sums of surface radiation balance (QB) for each month in Hornsund, 1 V 2008 – 30 IV 2009 [MJm^{-2}]

Godz UTC	2008 V	2008 VI	2008 VII	2008 VIII	2008 IX	2008 X	2008 XI	2008 XII	2009 I	2009 II	2009 III	2009 IV
1:00	-0,07	0,01	0,02	-0,04	-0,05	-0,05	-0,12	-0,09	-0,11	-0,10	-0,08	-0,13
2:00	-0,06	0,06	0,09	-0,03	-0,06	-0,05	-0,12	-0,09	-0,11	-0,11	-0,07	-0,13
3:00	-0,06	0,09	0,13	0,00	-0,06	-0,06	-0,13	-0,08	-0,10	-0,11	-0,08	-0,13
4:00	-0,06	0,14	0,19	0,04	-0,06	-0,07	-0,13	-0,09	-0,10	-0,11	-0,08	-0,12
5:00	-0,04	0,22	0,30	0,09	-0,03	-0,06	-0,13	-0,09	-0,12	-0,11	-0,08	-0,11
6:00	-0,04	0,29	0,42	0,16	0,00	-0,06	-0,13	-0,09	-0,11	-0,11	-0,08	-0,12
7:00	-0,02	0,39	0,52	0,24	0,04	-0,06	-0,13	-0,09	-0,11	-0,12	-0,07	-0,13
8:00	-0,01	0,49	0,59	0,33	0,08	-0,05	-0,13	-0,09	-0,11	-0,11	-0,06	-0,14
9:00	0,01	0,55	0,66	0,43	0,14	-0,03	-0,14	-0,09	-0,12	-0,11	-0,06	-0,13
10:00	0,03	0,62	0,73	0,48	0,17	-0,03	-0,13	-0,09	-0,12	-0,12	-0,05	-0,09
11:00	0,07	0,63	0,79	0,51	0,19	-0,05	-0,13	-0,10	-0,11	-0,12	-0,05	-0,05
12:00	0,09	0,59	0,81	0,53	0,20	-0,06	-0,14	-0,10	-0,11	-0,12	-0,04	-0,02
13:00	0,10	0,58	0,74	0,49	0,17	-0,07	-0,13	-0,09	-0,11	-0,11	-0,03	-0,01
14:00	0,09	0,51	0,72	0,43	0,13	-0,07	-0,12	-0,10	-0,12	-0,10	-0,03	-0,01
15:00	0,07	0,51	0,64	0,34	0,07	-0,09	-0,12	-0,10	-0,12	-0,11	-0,05	-0,02
16:00	0,07	0,45	0,50	0,24	0,03	-0,09	-0,13	-0,11	-0,12	-0,11	-0,07	-0,05
17:00	0,03	0,41	0,40	0,16	-0,01	-0,09	-0,13	-0,11	-0,11	-0,12	-0,08	-0,05
18:00	0,02	0,30	0,28	0,07	-0,05	-0,08	-0,13	-0,11	-0,12	-0,11	-0,08	-0,09
19:00	-0,01	0,22	0,19	0,02	-0,06	-0,07	-0,13	-0,10	-0,12	-0,11	-0,08	-0,13
20:00	-0,03	0,13	0,14	-0,02	-0,06	-0,08	-0,13	-0,10	-0,12	-0,11	-0,09	-0,14
21:00	-0,08	0,08	0,06	-0,05	-0,06	-0,07	-0,13	-0,10	-0,11	-0,10	-0,09	-0,15
22:00	-0,08	-0,01	0,01	-0,05	-0,06	-0,07	-0,12	-0,10	-0,10	-0,09	-0,10	-0,15
23:00	-0,07	-0,01	-0,01	-0,04	-0,05	-0,06	-0,13	-0,09	-0,10	-0,10	-0,10	-0,14
24:00	-0,07	-0,02	-0,01	-0,05	-0,06	-0,06	-0,14	-0,09	-0,10	-0,10	-0,10	-0,13

Największe średnie dobowe wartości QB stwierdzono w lipcu $8,9 \text{ MJm}^{-2}$, najmniejsze zaś podczas „nocy polarnej”, w listopadzie $-3,1 \text{ MJm}^{-2}$ (tab. 3). Podczas „nocy polarnej” (listopad-luty) oraz w czasie trwania nocy (luty-kwiecień, sierpień-październik) jedynym źródłem w saldzie promieniowania jest

promieniowanie długofalowe. Maksymalne, chwilowe wartości strumienia QB 509 Wm^{-2} wystąpiły w lipcu 2008 (tab. 4). Największe godzinne wartości salda promieniowania powierzchni czynnej notuje się w godzinach około-południowych w miesiącach trwania „dnia polarnego”, najmniejsze w listopadzie oraz w kwietniu (tab. 6).



Ryc. 5. Przebieg roczny dobowych sum salda promieniowania powierzchni czynnej w Hornsundzie w MJm^{-2} w okresie 1 V 2008 – 30 IV 2009

Fig. 5. Annual course of surface radiation balance (according to daily sums) in Hornsund, 1 V 2008 – 30 IV 2009 [MJm^{-2}]

5. Porównanie przebiegu elementów salda promieniowania powierzchni czynnej w Hornsundzie i Ny-Ålesundzie

Na Svalbardzie jedyną stacją aktynometryczną z długimi ciągami pomiarowymi elementów salda promieniowania jest stacja w Ny-Ålesundzie. Porównania wartości poszczególnych elementów salda promieniowania powierzchni czynnej w Hornsundzie z danymi ze stacji w Ny-Ålesundzie przedstawiono w tabelach 7 i 8.

Obliczona różnica strumienia całkowitego promieniowania słonecznego KC z analizowanych 11 miesięcy w Ny-Ålesundzie i Hornsundzie wyniosła 184 MJm^{-2} , z największymi różnicami w czerwcu, a najmniejszymi w lutym. W maju, czerwcu i lipcu notuje się w Ny-Ålesundzie większe wartości promieniowania słonecznego całkowitego niż w Hornsundzie, od sierpnia do marca stwierdzono zaś odchylenie ujemne. Świadczy to o dużym uprzywilejowaniu w czasie „dnia polarnego” stacji w Ny-Ålesundzie aniżeli Hornsundu w dostawie promieniowania słonecznego. Wpływ na te różnice w dopływie promieniowania słonecznego może mieć odmienna cyrkulacja atmosferyczna oraz topografia terenu wokół stacji pomiarowych. W odniesieniu do strumienia KO, obliczona różnica pomiędzy Ny-Ålesundem i Hornsundem wyniosła 129 MJm^{-2} . Różnica w albedo nie przekroczyła w analizowanym okresie 5%. Dla strumieni LA i LZ różnice wyniosły odpowiednio -208 i -222 MJm^{-2} . Świadczy to o mniejszym przychodzie oraz stratach promieniowania długofalowego w Ny-Ålesundzie

w stosunku do Hornsundu. Saldo promieniowania powierzchni czynnej QB w Ny-Ålesundzie było większe aniżeli w Hornsundzie (tab. 8), wpływ na to ma przede wszystkim większy dopływ promieniowania słonecznego całkowitego, a także mniejsze zachmurzenie modyfikujące dostawy promieniowania długofalowego oraz niższa temperatura powierzchni czynnej warunkująca wypromieniowywanie Ziemi.

Tabela 7 – Table 7

Miesięczne sumy promieniowania (KC, KO, LA, LZ), albedo, salda promieniowania krótkofalowego (KB) oraz salda długofalowego (LB), salda promieniowania powierzchni czynnej (QB), w Ny-Ålesund w MJm⁻² w okresie 1 V 2008 – 31 III 2009

Monthly sums of the radiation (KC, KO, LA, LZ), albedo, net shortwave radiation (KB), net longwave radiation (LB) and surface radiation balance (QB) in Ny-Ålesund, 1 V 2008 – 31 III 2009 [MJm⁻²]

Rok Year	Miesiąc Month	KC MJm ⁻²	KO MJm ⁻²	Albedo	LA MJm ⁻²	LZ MJm ⁻²	KB MJm ⁻²	LB MJm ⁻²	QB MJm ⁻²
2008	V	535,7	420,9	0,79	722,0	790,9	114,8	-68,8	46,0
2008	VI	672,3	318,5	0,47	716,1	844,3	353,8	-128,2	225,7
2008	VII	496,2	73,5	0,15	812,5	952,9	422,7	-140,4	282,3
2008	VIII	269,7	41,2	0,15	810,6	909,6	228,5	-99,0	129,5
2008	IX	81,5	21,6	0,27	774,4	833,2	59,9	-58,8	1,1
2008	X	11,5	9,2	0,80	649,1	737,3	2,4	-88,2	-85,9
2008	XI	-	-	-	581,1	673,3	-	-92,3	-92,3
2008	XII	-	-	-	659,3	720,1	-	-60,8	-60,8
2009	I	-	-	-	613,2	682,0	-	-68,8	-68,8
2009	II	2,4	2,1	0,88	542,8	620,7	0,3	-77,9	-77,6
2009	III	82,1	66,5	0,81	609,0	673,3	15,6	-64,3	-48,7
Suma – Sum		2151,4	953,5		7490,1	8437,6	1198,0	-947,5	250,5
Średnia – Mean				0,54					

Tabela 8 – Table 8

Różnice wartości miesięcznych i rocznych w strumieniach promieniowania (KC, KO, LA, LZ), albedo, salda promieniowania krótkofalowego (KB), salda promieniowania długofalowego (LB) oraz salda promieniowania powierzchni czynnej (QB) w Ny-Ålesundzie i Hornsundzie w MJm⁻² w okresie 1 V 2008 – 31 III 2009

Differences of monthly and annual radiation values (KC, KO, LA, LZ), albedo, net shortwave radiation (KB), net longwave radiation (LB) and surface radiation balance (QB) in Hornsund and Ny-Ålesund, 1 V 2008 – 31 III 2009 [MJm⁻²]

Rok Year	Miesiąc Month	KC MJm ⁻²	KO MJm ⁻²	Albedo	LA MJm ⁻²	LZ MJm ⁻²	KB MJm ⁻²	LB MJm ⁻²	QB MJm ⁻²
2008	V	71,9	33,8	-0,04	-3,0	-14,7	38,2	11,7	49,9
2008	VI	127,1	103,9	0,08	-15,8	-1,4	23,1	-14,4	8,9
2008	VII	19,3	4,7	0,01	-0,5	8,5	14,6	-9,0	5,6
2008	VIII	-5,9	-2,5	-0,01	-0,2	-2,0	-3,4	1,9	-1,5
2008	IX	-4,9	6,6	0,10	-15,2	-11,5	-11,5	-3,8	-15,3
2008	X	-9,1	-4,2	0,15	-29,8	-30,2	-4,8	0,4	-4,5
2008	XI	-	-	-	-46,2	-47,2	-	0,8	0,8
2008	XII	-	-	-	-15,8	-26,1	-	10,3	10,3
2009	I	-	-	-	-4,1	-19,1	-	15,0	15,0
2009	II	-3,5	-2,5	0,10	-31,6	-28,4	-1,0	-3,3	-4,3
2009	III	-10,7	-10,8	-0,02	-45,9	-50,0	0,1	4,1	4,1
Suma – Sum		184,2	129,0		-208,1	-222,1	55,3	13,7	69,0
Średnia – Mean				0,05					

6. Wnioski i podsumowanie

Na podstawie danych pomiarowych zarejestrowanych w Hornsundzie w okresie od 1 maja 2008 do 30 kwietnia 2009 scharakteryzowano roczny przebieg struktury salda promieniowania powierzchni czynnej, uzyskując następujące wyniki:

– w analizowanym okresie roczna suma strumienia KC wyniosła 2307 MJm⁻². W przebiegu rocznym strumienia KC i salda KB maksymalne wartości wystąpiły w okresie od maja do lipca, a zerowe wartości podczas "nocy polarnej". Maksymalne chwilowe natężenie strumienia promieniowania słonecznego całkowitego zaobserwowano w czerwcu (908 Wm⁻²).

– saldo promieniowania krótkofalowego KB uzależnione było od wysokości Słońca nad horyzontem, rzeźby terenu oraz od zachmurzenia, które modyfikowało dopływ energii słonecznej do powierzchni ziemi.

– w przebiegu rocznym największe wartości salda QB notuje się w lipcu 277 MJm⁻², a najmniejsze w listopadzie podczas "nocy polarnej" -93 MJm⁻². Od października do lutego saldo QB jest kształtowane przez saldo LB. Suma roczna salda promieniowania QB w Hornsundzie była dodatnia i wyniosła 105 MJm⁻².

Porównując dane z okresu 1 V 2008 – 30 III 2009 z Hornsundu i Ny-Ålesundu, stwierdzono na stacji Ny-Ålesund większą niż w Hornsundzie wartość promieniowania słonecznego całkowitego KC, różnica wyniosła 184 MJm⁻². Dla strumieni LA i LZ różnice wyniosły odpowiednio -208 i -222 MJm⁻². W stacji Ny-Ålesund w odniesieniu do stacji w Hornsundzie zanotowano o 69 MJm⁻² większą wartość salda promieniowania powierzchni czynnej QB.

Podziękowania

Badania i pomiary salda promieniowania powierzchni czynnej w Hornsundzie prowadzono w ramach badań statutowych Katedry Klimatologii, Wydziału Nauk o Ziemi, Uniwersytetu Śląskiego. Szczególne podziękowania dla: Profesora Tadeusza Niedźwiedzia (UŚ), Profesora Jacka Jani (UŚ), dr. hab. Piotra Głowackiego (IGF PAN), dr. Mariusza Grabca (UŚ), dr. Zbigniewa Caputy (UŚ), mgr Dariusza Puczko (IGF PAN) oraz podziękowania obserwatorom z PSP Hornsund: Robertowi Żmudzie, Witoldowi Kaszkinowi oraz Markowi Pencarskiemu.

Literatura

- Budzik T., 2004. Struktura bilansu promieniowania słonecznego w Ny-Alesund (NW Spitsbergen) w latach 1989-2003. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 14: 189-197.
- Głowicki B., 1985. Radiation conditions in the Hornsund area (Spitsbergen). *Polish Polar Research* 6 (3): 301-318.
- König -Langlo G., Marx B., 1997. The Meteorological Information System at the Alfred Wegener Institute. [w:] Lautenschlager M., Reinke M. (red.), *Climate and Environmental Database Systems*. Kluwer Academic Publisher, USA Norwell.
- Marsz A., Styszyńska A., 2007. *Klimat Rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie*. Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia: 1-376.
- Niedźwiedź T., 1993. The main factors forming the climate of the Hornsund (Spitsbergen). *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, MXCVIII*, 94: 49-63.
- Oke T.R., 1996. *Boundary layer climates*. Routledge, London New York: 1-464.
- Styszyńska A., 1997. Valuation of the monthly sum of the total sun radiation in Hornsund (SW Spitsbergen). [w:] J. Repelewska-Pękałowa, K.Pękała (red.), *Spitsbergen Geographical Expeditions of M. Curie-Skłodowska University, UMCS.Lublin*: 163-172.

Wpłynęło: 22 czerwca 2009; poprawiono: 29 września 2009

Summary

This case describes annual course of surface radiation balance based on data recorded in Hornsund from 1.05.2008 to 31.03.2009. Further data are added from Ny-Ålesund z "Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research" to compare data from Hornsund and Ny-Ålesund. Annual amount of total solar radiation string was 2307 MJm⁻² and annual amount of surface radiation balance was 105 MJm⁻² in analyzed period.

Comparing data from Hornsund and Ny-Ålesund higher annual values of total solar radiation (+183 MJm⁻²) and higher annual values of surface radiation balance (+69 MJm⁻²) were indicated in Ny-Ålesund.

Key words: Arctic, Svalbard, Hornsund, Ny-Ålesund, radiation balance, shortwave radiation, longwave radiation.