

## ZMIANY TERMIKI GRUNTU W HORNSUNDZIE (SW SPITSBERGEN) W LATACH 1990-2009

### CHANGES OF THERMIC OF THE GROUND IN HORNSUND (SW SPITSBERGEN) IN THE PERIOD 1990-2009

Piotr Dolnicki

Instytut Geografii, Uniwersytet Pedagogiczny  
ul. Podchorążych 2, 30–084 Kraków  
pdolnick@up.krakow.pl

**Zarys treści.** W pracy przedstawiono wyniki pomiarów temperatury gruntu mierzonych w ogródku meteorologicznym Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie dla dwudziestolecia (1990-2009). Zmienność temperatury gruntu analizowanego okresu zestawiono oddzielnie dla zdefiniowanego w tytule wielolecia oraz dla okresu 2006-2009, który rozszerza wcześniejsze opracowania o kolejne lata. Maksymalną temperaturę gruntu na głębokości 100 cm odnotowano w sierpniu 2009 roku (3,6°C). Najniższą temperaturę okresu letniego na tej samej głębokości odnotowano w sierpniu 1994 roku (1,1°C). Tak wyraźna różnica pomiędzy skrajnymi wartościami nie znajduje swojego odbicia w wieloletnich trendach. Przebieg średnich wartości temperatury rocznej i linii trendu w okresie 2006-2009 jest silnie związany z wysoką temperaturą zarejestrowaną w 2006 roku. Wysokie wartości średnich miesięcy letnich są niwelowane przez niskie wartości temperatury okresu zimowego. Tendencje wzrostowe temperatury gruntu rysujące się w okresie 1990-2009 i malejące w ostatnich latach nie wykazują istotności statystycznej.

**Słowa kluczowe:** temperatura gruntu, warstwa czynna, wieloletnia zmarzlina, Spitsbergen, Hornsund.

#### 1. Wprowadzenie

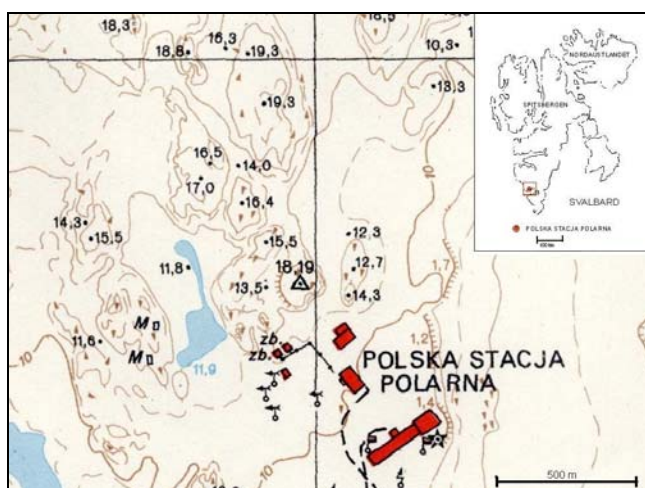
Wieloletnia zmarzlina definiowana jest jako grunt, który przez co najmniej dwa lata posiada temperaturę niższą od temperatury zamarzania wody. Powszechnym i przyjętym synonimem tego terminu jest angielskie określenie *permafrost* (Miller 1947), które pierwotnie oznaczało „wiecznie zamarznięty grunt”. Wieloletnia zmarzlina jest odbiciem zarówno minionej przeszłości klimatycznej, jak i warunków obecnych (Jahn 1974). Nad przemarzającym gruntem tworzy się powierzchniowa warstwa jednorocznego, sezonowego rozmarzania zwana warstwą czynną lub poziomem aktywnym wieloletniej zmarzliny. Południowo-zachodni Spitsbergen jest położony w strefie ciągłego permafrostu. Jego miąższość nie jest większa od 100 m w strefach nadmorskich, natomiast w głębi lądu przekracza 500 m (Humlum 2005). Temperatura gruntu jest źródłem informacji o wymianie ciepła między powierzchniową warstwą skorupy ziemskiej a atmosferą. Wzrost średniej rocznej temperatury powietrza oraz wzrost średniej sumy rocznej opadu (Marsz i in. 2007) sugerują potencjalne zmiany w termice

warstwy czynnej, i w konsekwencji wpływają na wahania poziomu stropu wieloletniej zmarzliny. Biorąc pod uwagę fakt, iż punkt pomiarowy temperatury gruntu zlokalizowany jest w ogródku meteorologicznym Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie dobrze reprezentuje zdecydowaną większość powierzchni (83,2%) podniesionej terasy morskiej Fuglebergsletta (Dolnicki 2005), możliwe są analizy wieloletniej zmienności jako reprezentatywne dla całego obszaru. Charakterystyka termiczna gruntu w Hornsundzie prezentowana jest w licznych publikacjach. Pełne opracowanie wielolecia 1978-2000 zawierają prace Miętusa i Filipiaka (Miętus i Filipiak 2001a, 2001b, 2004), a praca Marsza zawiera rozszerzenie tego okresu o lata 1999-2005 (Marsz 2007).

Niniejsza praca prezentuje wyniki pomiarów temperatury gruntu w Hornsundzie w wieloleciu 1990-2009. Wyniki zestawiono oddzielnie dla pełnego dwudziestolecia oraz dla lat 2006-2009, o które autor rozszerza ciąg analiz wieloletnich danych.

## 2. Źródła danych i metody

Wartości temperatur gruntu, które wykorzystano w pracy zostały zarejestrowane przez stację meteorologiczną funkcjonującą w Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie. Ogródek meteorologiczny położony jest na podwyższonej terasie morskiej ok. 10 m. n.p.m. (ryc. 1). Temperatura gruntu w stacji mierzona jest na pięciu głębokościach: 5, 10, 20, 50, 100 cm. Pomiary termiki gruntu były wykonywane za pomocą rtęciowych termometrów kolankowych na głębokościach 5, 10, 20, 50 cm w trzech terminach synoptycznych: 6, 12 i 18 GMT. Na głębokości 100 cm odczyt wykonywano raz na dobę o godz. 12.00 za pomocą termometru wyciągowego. Seria pomiarowa ma liczne braki. Najczęstszą przyczyną przerw w pomiarach było uszkodzenie termometrów lub zatopienie podczas ablacji pokrywy śnieżnej. W opracowaniu pominięto również temperaturę najniższego poziomu pomiarowego w roku 1990, ponieważ pomiar wykonywano wówczas na 85 cm.



Ryc. 1. Położenie obszaru badań na północnym brzegu fiordu Hornsundu (wykonano na podstawie mapy „Spitsbergen. Polska Stacja Polarna”)

Fig. 1. Localization investigated area on the northern coast of fjord Hornsund (On the basis of a part of „Spitsbergen. Polska Stacja Polarna” map)

Podstawą dla niniejszego opracowania są wartości średnie miesięczne. W obliczeniach zastosowano standardowe metody statystyczne (uśrednienie, odchylenie standardowe). Istotność statystyczną dla wartości trendów wyliczono stosując statystykę o rozkładzie t- studenta, przy założonym prawdopodobieństwie 0,05.

### 3. Wyniki

#### 3.1. Okres 1990-2009

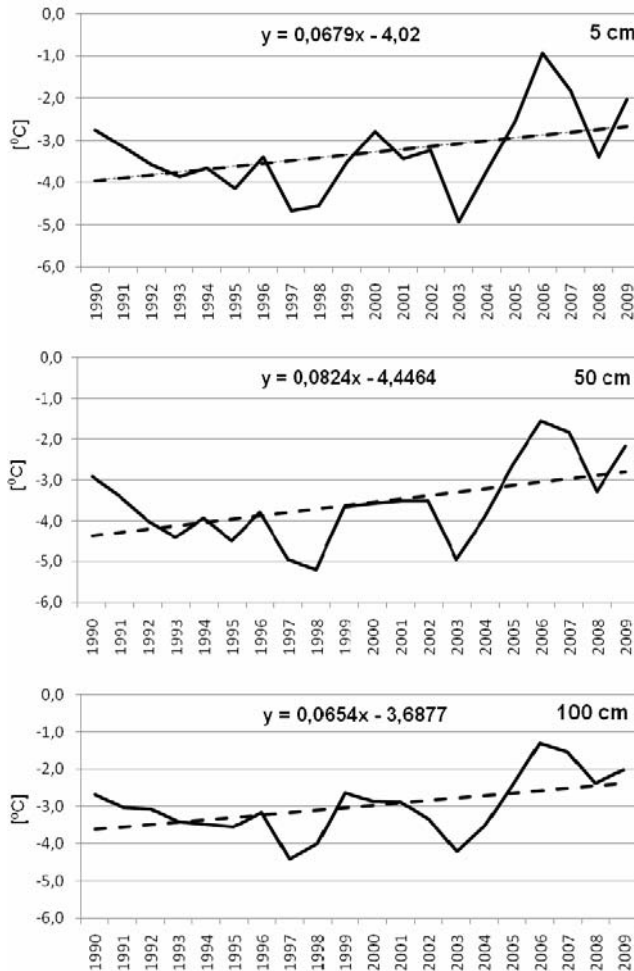
Warstwa czynna wieloletniej zmarzliny w Hornsundzie rozmarza średnio na cztery miesiące. Przeciętny czas rozmarznięcia przypowierzchniowej warstwy gruntu (5 cm) przypada generalnie na okres od pierwszej dekady czerwca do pierwszej dekady października. Przejście temperatury przez 0°C w okresie rozmarzania następuje zazwyczaj w pierwszych dniach czerwca. Skrajnym terminem, w którym zarejestrowano dodatnią temperaturę na głębokości 5 cm był 25 maj 2006 roku. Lipiec jest miesiącem, kiedy średnia miesięczna temperatura na głębokości 5 cm osiąga maksymalne wartości. Mieszczą się one w przedziale od 5°C (lipiec 1994) do 9,2°C (lipiec 1992 i 1993). Ponowne przejście temperatury gruntu przez 0°C w okresie zamarzania następuje w ostatniej dekadzie września – pierwszej dekadzie października. Ewenementem był rok 2000, kiedy przejście przez 0°C nastąpiło 2 października.

Okres, w którym temperatura na głębokości 5 cm osiąga najniższe wartości wykazuje duże zróżnicowanie w czasie, od drugiej dekady stycznia do kwietnia w 2009 roku. Minimalne średnie miesięczne wartości temperatury mieszczą się w przedziale od -17,6°C (styczeń 2002 rok) do -7,5°C (luty 2007).

Różnice w przebiegu temperatury na kolejnych głębokościach (10 cm, 20 cm) są niewielkie. Widoczne przesunięcie czasowe w stosunku do przypowierzchniowej warstwy wykazuje temperatura na głębokości 50 cm. Czerwiec jest miesiącem przejścia temperatury przez 0°C w okresie rozmarzania, natomiast w lipcu temperatura na głębokości 50 cm osiąga najwyższe wartości. Na tej głębokości najwyższe średnie miesięczne wartości temperatury mieszczą się w przedziale od 2,2°C (1994, 1996) do 5,3°C (2009). Ponowne przejście temperatury przez 0°C następuje od I dekady września (1993) do III dekady października (2000, 2007). Najniższe wartości temperatura gruntu osiąga w okresie od stycznia (1996) do kwietnia (2008 i 2009). Minimalne średnie miesięczne temperatury mieszczą się w przedziale od -13,7°C (luty 2003) do -6,8°C (luty 2007).

Przebieg temperatury gruntu na głębokości 100 cm wykazuje wyraźne opóźnienie w stosunku do warstwy przypowierzchniowej. Rozmarznięcie gruntu na tej głębokości następuje w drugiej i trzeciej dekadzie czerwca, natomiast maksimum temperatura osiąga w sierpniu. Najwyższą średnią miesięczną temperaturę na głębokości 100 cm zanotowano w 2006 roku (3,3°C). W większości przypadków moment zamarzania opóźniony jest o 15 dni w stosunku do temperatury na głębokości 50 cm. Minima temperatury notowane są w tych samych miesiącach, co w wyższych warstwach. Minimalne średnie miesięczne temperatury mieszczą się w przedziale od -11,4°C (luty 2004) do -7,3°C (marzec 2006).

Średnie roczne wartości temperatury gruntu na głębokościach 5, 10, 20, 50 i 100 cm wynoszą: -3,3 ( $\pm 0,73$ ), -3,3 ( $\pm 0,74$ ), -3,4 ( $\pm 0,69$ ), -3,6 ( $\pm 0,75$ ), -3,0 ( $\pm 0,62$ )°C odpowiednio. Jeżeli uwzględnia się odchylenie od średniej, to wyniki nie przedstawiają różnic statystycznie istotnych. Przebieg rocznych wartości temperatury gruntu na głębokościach 5, 50 i 100 cm w wieloleciu 1990-2009 przedstawia ryc. 2.



Ryc. 2. Przebieg rocznych wartości temperatury gruntu na głębokościach 5, 50 i 100 cm w Hornsundzie (1990-2009)

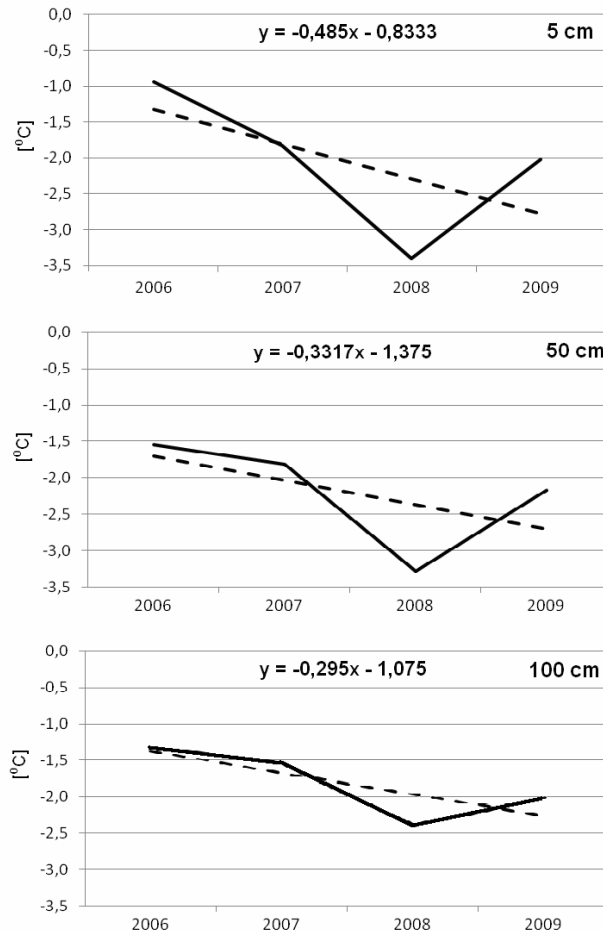
Fig. 2. The long-term course of mean temperatures of the ground in Hornsund (1990-2009)

W przebiegu średnich rocznych wartości temperatury gruntu w okresie 1990-2010 (ryc. 2) widoczny jest wzrost temperatury na poziomie: 5 cm o  $0,07^{\circ}\text{C}\cdot\text{rok}^{-1}$ , 50 cm o  $0,08^{\circ}\text{C}\cdot\text{rok}^{-1}$  i 100 cm o  $0,08^{\circ}\text{C}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Wartości wyliczonych linii trendów są nieistotnie statystycznie ( $p < 0,005$ ). Widoczny na wykresach dodatni trend temperatury gruntu jest spowodowany wysoką wartością średniej rocznej temperatury zarejestrowanej w roku 2006.

### 3.2. Okres 2006-2009

Zamarzanie i rozmarzanie gruntu w okresie 2006-2009 na poszczególnych głębokościach, występowanie maksimów i minimów w zdecydowanej większości odpowiada terminom analizowanego powyżej dwudziestolecia. Specyfika ostatniego 5. lecia jest związana z wyjątkowo „ciepłym” rokiem

2006, który wyraźnie wpłynął na tendencje zmian (znaczny spadek średniej rocznej temperatury w okresie 2006-2009). W roku 2006 nastąpiło również bardzo wczesne przejście temperatury przez 0 °C na wszystkich mierzonych poziomach (5 cm – 25 maja, na 100 cm – 4 czerwca). Zmienność średnich rocznych wartości temperatury gruntu dla wybranych głębokości analizowanego okresu prezentuje ryc. 3.

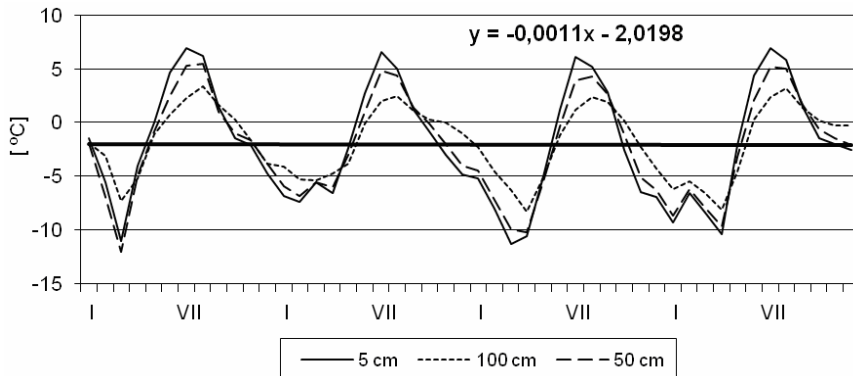


Ryc. 3. Przebieg rocznych wartości temperatury gruntu na głębokościach 5, 50 i 100 cm w Hornsundzie (2006-2009)

Fig. 3. The long-term course of mean temperatures of the ground in Hornsund (2006-2009)

Średnie roczne wartości temperatury gruntu na głębokościach 5, 10, 20, 50 i 100 cm wynoszą odpowiednio:  $-2,04 (\pm 1,01)$ ,  $-1,98 (\pm 0,99)$ ,  $-2,04 (\pm 0,98)$ ,  $-2,20 (\pm 0,76)$  i  $-1,80 (\pm 0,50) ^\circ\text{C} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Mimo, że uwzględniono wysokie wartości odchylenia standardowego, są one wyższe od średnich rocznych z wielolecia 1990-2009. W okresie 2006-2009 zarysowała się wyraźna tendencja spadkowa średnio-rocznych wartości temperatury gruntu.

Analiza średnich miesięcznych wartości temperatury gruntu wykazała występowanie ujemnych wartości linii trendów, które w tym wypadku wykazują istotność statystyczną na poziomie  $p=0,05$ . Na wykresie (ryc. 4) wyraźnie widoczny jest „ciepły” rok 2006 (miesiące letnie i zimowe) oraz zbliżone do 2006 roku wartości temperatury kolejnych sezonów letnich, natomiast temperatury sezonów zimowych z lat 2007, 2008 i 2009 są niższe od roku 2006. Pogłębiające się ujemne wartości temperatury w miesiącach zimowych wpływają na spadek wartości średniorocznych i generalnie decydują o malejącym trendzie temperatury gruntu w ostatnich latach pomiarowych w Hornsundzie.



Ryc. 4. Przebieg miesięcznych wartości temperatury gruntu na głębokości 5, 50 i 100 cm w okresie od stycznia 2006 do grudnia 2009 roku. Linię trendu zaznaczono dla wartości temperatur na głębokości 100 cm

Fig. 4. The long-term course of mean temperatures of the ground on depth of 5, 50, 100 cm from January 2006 to end December 2009 year. The line of trend for temperatures on the depth 100 cm

#### 4. Podsumowanie

Wieloletni przebieg wartości temperatury gruntu wykazuje zmienną tendencję w poszczególnych przedziałach czasowych. Rozszerzanie wieloletnich ciągów pomiarowych o kolejne okresy stwarza podstawy do nowych interpretacji. W okresie 1979-1999 Miętus i Filipiak (2001 a i b, 2004) wyliczyli wyraźny wzrost temperatury gruntu na głębokościach 5, 10, 20 i 50 cm. Występujące w tym okresie trendy wykazywały istotność statystyczną. Ta tendencja wzrostu widoczna była do 2000 roku. W wyniku pogłębiających się ujemnych temperatur w miesiącach zimowych, zwłaszcza w roku 2003, zarysowała się słaba tendencja spadkowa temperatury gruntu w okresie 2000-2005 (Marsz 2007).

Uwzględnienie w ciągu wieloletnich danych wyższych rocznych wartości temperatury gruntu z okresu 2006-2009, pozwoliło na wyliczenie również dodatnich wartości trendów dla okresu 2006-2009, które, mimo zwiększenia liczby danych, nie przekroczyły istotności statystycznej na poziomie 0,05. Wysokie temperatury średnioroczne ( $-0,9^{\circ}\text{C}$  na 5 cm,  $-1,6^{\circ}\text{C}$  na 50 cm,  $-1,3^{\circ}\text{C}$  na 100 cm) „bardzo ciepłego” 2006 roku wpłynęły na ujemne wartości trendów w okresie 2006-2009.

Utrzymujące się w ostatnich latach wysokie wartości temperatury gruntu nie wpływają w istotny sposób na tendencje ostatniego dwudziestolecia. W związku z powyższym brak jest podstaw do formułowania ostatecznych wniosków na temat wyraźnych wahań stropu wieloletniej zmarzliny w Hornsundzie. Wysokie temperatury gruntu, które wystąpiły w ostatnich latach charakteryzowały

szczególnie sezony letnie. Ten fakt niewątpliwie wpłynął na większą aktywność powierzchniowej warstwy zmarzliny. Niemniej jednak pogłębiające się, ujemne temperatury miesięcy zimowych wpływają na malejącą tendencję trendu w ostatnich latach dla wartości średniorocznych.

## Literatura

- Dolnicki P., 2005. Rozkład przestrzenny poziomu wieloletniej zmarzliny i jego związek z nierównomiernym zanikiem pokrywy śnieżnej na obszarze Fuglebergsletty (SW Spitsbergen): Polish Polar Studies.XXXI Sympozjum Polarne, Kielce: 34–45.
- Humlum O., 2005. Holocene permafrost aggradation in Svalbard. Geological Society, London, Special Publication, v. 242: 119–129, DOI: 10.1144/GSL.SP.2005.242.01.11.
- Jahn A., 1974. Zagadnienia strefy peryglacjalnej, PWN, Warszawa: 32–36.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2007. Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie- stan, zmiany i przyczyny. Wydawnictwo Akademii Morskiej, Gdynia: 376 s.
- Miętus M., Filipiak J., 2001. Temperatura gruntu w rejonie Stacji Polarnej w Hornsundzie. Problemy Klimatologii Polarnej, 11: 67–80.
- Miętus M., Filipiak J., 2004. Zmienność temperatury gruntu w Hornsundzie w okresie 1979-1999. Przegląd Geofizyczny, XLVI (4): 323–337.
- Muller S.W., 1947. Permafrost of permanently frozen ground and related engineering problems. Ann Arbor, Michigan, Edwards Bross: 231 s.
- Spitsbergen Polska Stacja Polarna w Hornsundzie (mapa). 1984, Pod redakcją S. Dąbrowskiego. Instytut Geodezji i Kartografii.

Wpłynęło: 3 sierpnia 2010, poprawiono: 23 listopada 2010.

## Summary

In the paper there are presented results of the measurement of ground temperature measured in the meteorological station of Polish Polar Station in Hornsund for the period of twenty years (1990-2009). The variability of temperatures of the analyzed period was compared separately for the defined in the title more than one year period and the period of 2006-2009, which extends the former works for another years. The maximal temperature of the ground on the depth 100 cm were measured in August, 2009 (3.6°C). The lowest temperature of the summer period at the same depth were measured in August 1994 (1.1°C).

Such a significant difference between extreme values does not have a reflection in the many year trends. The course of the mean annual temperatures and trend line in the period of 2006-2009 is strongly connected with the high temperatures measured in 2006. The high values of mean temperatures of summer months are leveled by the low temperatures of the winter period. The growing tendencies of the ground temperatures in 20 years period and diminishing tendencies in the last years are not statistically significant. High temperatures of the ground, which occurred during last years characterized particularly summer seasons. This fact had influence on the more activity of the surface layer of permafrost. Therefore there is no reason to make final conclusions about significant fluctuation of the roof of the permafrost in Hornsund.

**Key words:** ground temperature, active layer, permafrost, Spitsbergen, Hornsund.