

ODCZUWALNOŚĆ CIEPLNA W OKRESIE ZIMOWYM W REJONIE POLSKIEJ STACJI POLARNEJ W HORNSUNDZIE W LATACH 1991–2000

Małgorzata Owczarek

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Oddział Morski w Gdyni
ul. Waszyngtona 42, 81–342 Gdynia
Małgorzata.Owczarek@imgw.pl

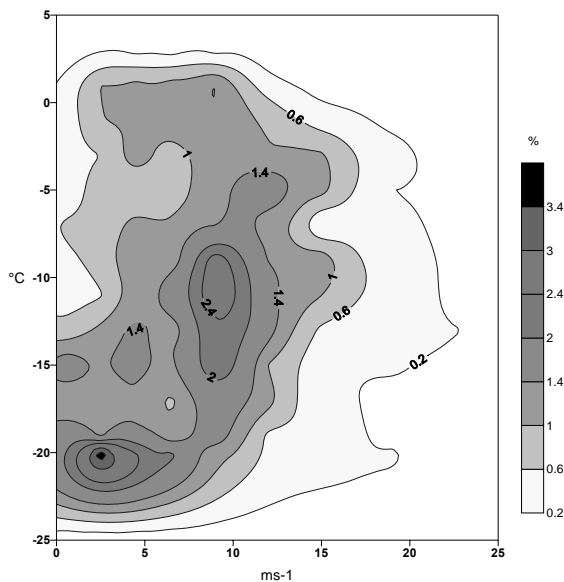
1. Wstęp

Problematyka obszarów polarnych jest przedmiotem zainteresowań naukowych specjalistów z wielu dziedzin. Prowadzone badania często wiążą się z pobytem ludzi na tych obszarach. W okresie zimy tylko na Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie przebywa stale od 6 do 10 osób. Ponadto odbywa się ruch turystyczny, np. w lipcu i sierpniu 1989 roku w rejon Kaffiöra przybyło w celach turystycznych 45 osób (Kluba 1991). Istnieje zainteresowanie wyjazdami w celach turystycznych także zimą. Przydatna zatem jest wiedza na temat warunków bioklimatycznych tego rejonu.

Ilość publikacji na temat warunków bioklimatycznych rejonu Hornsundu nie jest duża. Dostępne prace polskie dotyczą najczęściej okresów od kilku miesięcy do kilku lat, np. praca Zawiaślak (1986), w której scharakteryzowano między innymi zależność wielkości ochładzającej powietrza od prędkości wiatru; praca Gluzy (1988), który zanalizował wartości wielkości ochładzającej powietrza, wyznaczone doświadczalnie podczas wyprawy polarnej w lipcu i sierpniu 1986 roku; praca Szczepankiewicz-Szmyrki i Pereymy (1992) zawierająca charakterystykę wybranych wskaźników bioklimatycznych dla lat 1979–1980; czy też praca Bały (1990), w której dokonano oceny warunków bioklimatycznych w okresie od lipca 1988 do lipca 1989. Wieloletni przebieg wielkości ochładzającej powietrza za lata 1979–2000 w Hornsundzie oraz jej związek z cyrkulacją atmosferyczną omówił Araźny (2003).

Podstawowe cechy klimatu Hornsundu, szczególnie w okresie zimy wskazują na występowanie tam warunków sprzyjających hipotermii. Średnio w okresie od grudnia do marca odnotowywanych jest kilkanaście do 20 dni mroźnych i bardzo mroźnych w każdym miesiącu, udział temperatur dodatnich w okresie od stycznia do kwietnia nie przekracza przeciętnie 7% wszystkich obserwacji (Kierzkowski 1996), często niskiej temperaturze powietrza towarzyszy wiatr, np. w styczniu w latach 1991–2000 w 56% obserwacji odnotowano co najmniej umiarkowany wiatr (o prędkości 6ms^{-1} i wyższej) przy jednoczesnej ujemnej temperaturze powietrza (ryc.1). Ponadto przez około cztery miesiące w roku warunki odczuwalności nie mogą być łagodzone przez dopływ promieniowania słonecznego.

Według wielu dotychczasowych badań przebywanie w otoczeniu o niskiej temperaturze prowadzi do ubytku ciepła w organizmie człowieka, powodując jego oziębienie, czego skutkiem jest występowanie



Ryc. 1. Rozkład częstości współwystępowania (%) temperatury powietrza ($^{\circ}\text{C}$) i prędkości wiatru (ms^{-1}) w styczniu w Hornsundzie, 1991–2000

Fig. 1. Frequency (%) of air temperature ($^{\circ}\text{C}$) and wind speed (ms^{-1}) in January in Hornsund, 1991–2000

odczucia zimna i bólu, obniżenie temperatury wewnętrznej, drżenie mięśni, zwężenie naczyń krwionośnych, powodujące niedokrwienie skóry i odmrożenia, wzrost ciśnienia tętniczego i obciążenie serca (za: Błażejczyk 1993, Kozłowska-Szczęśna i in. 1997). Szybkość wyziębiania organizmu wzrasta znacznie, gdy niskiej temperaturze otoczenia towarzyszy wiatr, powodujący wzrost konwekcyjnych i ewaporacyjnych strat ciepła, szczególnie z powierzchni odkrytych części ciała.

2. Cel pracy i metoda opracowania

Celem pracy jest ocena odczuwalności cieplnej w rejonie stacji polarnej w okresie zimy, ze szczególnym uwzględnieniem warunków stwarzających zagrożenie zdrowia, a nawet życia człowieka. Pracę podjęto przede wszystkim ze względu na praktyczne znaczenie informacji na temat bioklimatu Spitsbergenu dla osób planujących pobyt na tym obszarze. Wyniki stanowią rozszerzenie dotychczasowej wiedzy z tego zakresu.

Termiczna zima w Hornsundzie, wyznaczona z zastosowaniem kryterium Baranowskiego (1968, za: Przybylak 1992) rozpoczyna się około 10 października i trwa do około 19 maja (Kierzkowski 1996). W nawiązaniu do tego okresu w tej pracy wzięto pod uwagę miesiące od października do maja. Wykorzystano dane z Polskiej Stacji Polarnej PAN w Hornsundzie za lata 1991–2000, opublikowane w „Rocznikach Meteorologicznych Hornsund” przez IMGW.

Przeprowadzono ocenę odczuwalności cieplnej o godzinach 06, 12 i 18 GMT stosując wskaźniki bioklimatyczne opracowane dla okresu zimowego: ochładzającą siłę wiatru (Wind Chill Index, WCI) wg wzoru Siple'a i Passela (1945, za: Gregorczyk 1978) oraz wskaźnik ochładzania wiatrem (Wind Chill Temperature Index, WCTI, za: National Weather Service) opracowany w 2002 roku przez Environment Canada i National Weather Service w oparciu o prędkość z jaką następuje utrata ciepła przez nieosłoniętą

twarz podczas ochładzającego działania wiatru oraz przewidywaną izolacyjność termiczną odzieży (Iclp) wg wzoru Burtona i Edholma (1955, za: Kozłowska-Szczęśna i in. 1997). Wskaźniki wybrano ze względu na ich przeznaczenie do oceny odczuwalności cieplnej warunków zimowych, a tym samym celowość ich zastosowania w odniesieniu do obszarów polarnych oraz możliwość porównania wyników z wynikami uzyskanymi dla okresu zimy w dotychczasowych oraz przyszłych badaniach bioklimatycznych, istotna była także dostępność danych meteorologicznych.

W pracy zastosowano klasyfikacje odpowiednie dla każdego ze wskaźników. Zanalizowano częstość występowania warunków odczuwalności cieplnej w poszczególnych przedziałach, a w przypadku termoizolacyjności odzieży również przebieg wartości średnich miesięcznych terminowych.

3. Odczuwalność cieplna według ochładzającej siły wiatru (WCI)

Formuła obliczania ochładzającej siły wiatru (Wind Chill Index, WCI) wyznaczona została przez Siple'a i Passela podczas doświadczeń prowadzonych na Antarktydzie w latach 1939–1941 (za: Gregorczyk 1978, Kozłowska-Szczęśna i in 1997). Została ona zmodyfikowana w 1981 roku przez Courta (za: Kozłowska-Szczęśna i in. 1997) do postaci:

$$WCI = (9.0 + 10.9 \cdot v^{0.5} - v) \cdot (33.0 - t) - 1.163$$

gdzie: WCI – ochładzająca siła wiatru (Wm^{-2}),
 t – temperatura powietrza ($^{\circ}C$),
 v – prędkość wiatru (ms^{-1}).

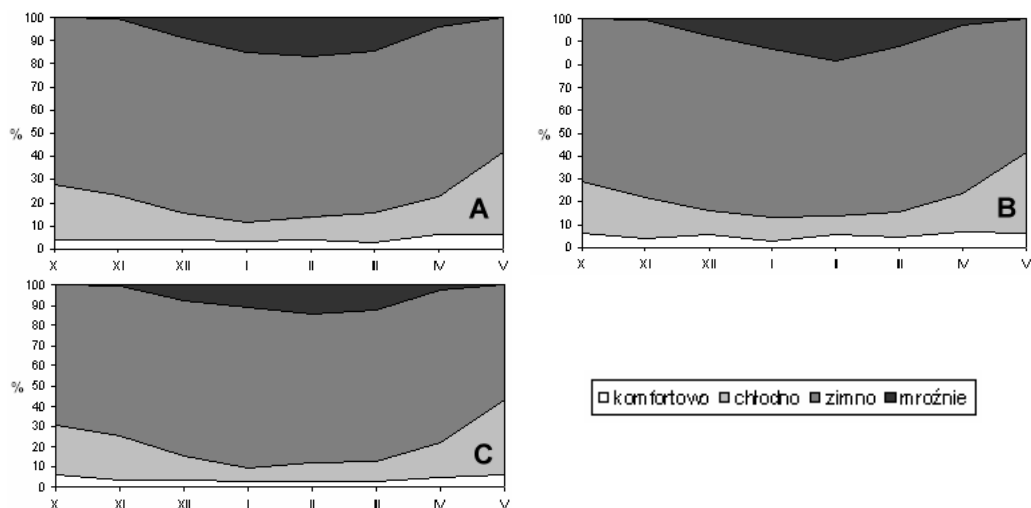
Do oceny odczuwalności cieplnej w świetle powyższego wskaźnika służy skala opracowana dla odczuć człowieka ubranego w odzież zimową:

\leq	58.2	Wm^{-2}	skrajnie gorąco
	58.3 –	116.3	Wm^{-2} gorąco
	116.4 –	232.6	Wm^{-2} zbyt ciepło
	232.7 –	581.5	Wm^{-2} KOMFORTOWO
	581.6 –	930.4	Wm^{-2} chłodno
	930.0 –	1628.2	Wm^{-2} zimno
	1628.3 –	2326.0	Wm^{-2} mroźnie
	>	2326.0	Wm^{-2} skrajnie mroźnie

Jeżeli wartości WCI odpowiadają przedziałom „mroźnie” lub „skrajnie mroźnie” istnieje niebezpieczeństwo odmrożeń nieosłoniętych części ciała.

W każdym z analizowanych miesięcy wartości terminowe WCI w Hornsundzie mieszczą się w przedziałach odczuwalności od „komfortowo” do „mroźnie” (ryc. 2a – 2c). Średnie wartości terminowe WCI we wszystkich miesiącach i terminach obserwacyjnych wskazują na odczucie cieplne „zimno”, a największe ochładzające działanie wiatru występuje w styczniu i lutym, kiedy wymienione wartości WCI osiągają od 1225 do ponad $1300 Wm^{-2}$.

Warunki „zimno” przeważają w każdym z miesięcy (ryc.2a – 2c) i stanowią od prawie 60% przypadków w maju do ponad 70% w pozostałych miesiącach (w styczniu o godzinie 18 warunki te wystąpiły podczas 80% obserwacji).



Ryc. 2. Odczuwalność cieplna według ochładzającej siły wiatru WCI (Wm^{-2}) w okresie X–V w Hornsundzie o godz.: A – 06 GMT, B – 12 GMT, C – 18 GMT, 1991–2000

Fig. 2. Thermal sensible conditions (%) after Wind Chill Index (Wm^{-2}) in months X–V in Hornsund at: A – 06 GMT, B – 12 GMT, C – 18 GMT, 1991–2000

Warunki stanowiące zagrożenie odmrożeniem odnotowywane są w okresie od listopada do kwietnia, najczęściej od stycznia do marca (od około 12% do ponad 18% przypadków). Najchłodniejszym miesiącem jest luty, w którym warunki „mroźnie” występowały podczas 16.3% obserwacji o godz. 06, podczas 18.4% obserwacji o godz. 12 i podczas 14.5% obserwacji o godz. 18. W listopadzie częstość występowania warunków „mroźnie” nie przekracza 1%, w grudniu wynosi ok. 8%, natomiast w kwietniu około 3%.

Najwyższe wartości terminowe omawianego wskaźnika przekraczały w omawianym okresie 2000 Wm^{-2} : 22 lutego 1998 roku o godz. 06 wartość WCI wyniosła 2118,03 Wm^{-2} , 11 stycznia 1993 roku o godz. 12 wyniosła 2102,4 Wm^{-2} . Do najsurowszych dni zaliczyć można także 12 stycznia 1993, 27 lutego 1998 oraz 8 i 9 marca 1993.

Warunki komfortu termicznego w świetle omawianego wskaźnika występowały podczas całego omawianego okresu z częstością od około 3% do 7%, przy czym w okresie od grudnia do marca około 3 do 4 razy rzadziej, niż warunki „mroźnie”.

Powwyższy wskaźnik był często stosowany w odniesieniu do wielu regionów. Bardzo surowe warunki odczuwalności występują w Antarktyce, gdzie jak podał Gregorczyk (1978) średnie miesięczne wartości ochładzającej siły wiatru przekraczały 3500 Wm^{-2} i były o około 1000 Wm^{-2} wyższe od najwyższych jej wartości na półkuli północnej, obliczonych dla centrum Grenlandii. Na obszarze Polski najwyższe wartości tego wskaźnika wyznaczone dla godziny 12 mieszczą się w przedziale odczuwalności „zimno”: w wieloleciu 1961–1990 na Śnieżce wyniosły około 1600 Wm^{-2} , na Kasprowym Wierchu około 1300 Wm^{-2} (wg. Krawczyk, za: Kozłowska-Szczęśna i in. 1997), w Gdyni natomiast warunki te występują w 12 do 27% obserwacji w każdym z miesięcy od listopada do marca (Owczarek 2003).

4. Odczuwalność cieplna według wskaźnika ochładzania wiatrem (WCTI)

W latach 2000–2001 równocześnie przez naukowców z Kanady i USA prowadzone były badania nad nowym wskaźnikiem ujmującym łączny wpływ działania niskiej temperatury otoczenia i wiatru, opartym na

bilansie cieplnym ciała człowieka (Environment Canada, National Weather Service; Tikuisis, Osczevski 2003). W odróżnieniu od większości wcześniejszych eksperymentów, podczas których posługiwano się cylindrem jako przybliżonym modelem człowieka, przeprowadzono pomiary i badania kliniczne z udziałem wolontariuszy. Osoby uczestniczące w eksperymencie były ubrane w odzież zimową i poddane działaniu symulatora niskiej temperatury i wiatru. Rozpatrywano przede wszystkim szybkość, z jaką następuje utrata ciepła przez nieosłoniętą twarz podczas ochładzającego działania wiatru. W oparciu o wcześniejsze wyniki Osczevskiego (1995, 2000) i Blusteina (1999) oraz o rezultaty przeprowadzonych doświadczeń sformułowano sposób obliczania i interpretacji wskaźnika ochładzania wiatrem w odniesieniu do człowieka dorosłego i zdrowego oraz prędkości wiatru wyższej niż 4.8 kmh⁻¹. Obliczany jest on według wzoru:

$$WTCI = 13.12 + 0.6215 \cdot t - 11.37 \cdot v^{0.36} + 0.3965 \cdot t \cdot v^{0.16}$$

gdzie: WCTI – wskaźnik ochładzania wiatrem

t – temperatura powietrza (°C)

v – prędkość wiatru (kmh⁻¹)

Wartości wskaźnika sklasyfikowano według stopnia zagrożenia organizmu wychłodzeniem i odmrożeniem (Environment Canada), jednakże stwierdzono, że pełniejszą ocenę stopnia zagrożenia organizmu odmrożeniem stanowi czas w ciągu którego ten proces nastąpi (Tikuisis, Osczevski 2003). W tym celu skonstruowano tabelaryczne zestawienie wartości wskaźnika WCTI (wg Osczevski 2003 i Environment Canada) obrazujące stopień zagrożenia odmrożeniem podczas współwystępowania prędkości wiatru z przedziału od 5 do 80 kmh⁻¹ i temperatury powietrza z zakresu od 5 do -50°C:

v	t											
	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
5	4	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	-41	-47	-53	-58
10	3	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57	-63
15	2	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-48	-54	-60	-66
20	1	-5	-12	-18	-24	-30	-37	-43	-49	-56	-62	-68
25	1	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-44	-51	-57	-64	-70
30	0	-6	-13	-20	-26	-33	-39	-46	-52	-59	-65	-72
35	0	-7	-14	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60	-66	-73
40	-1	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61	-68	-74
45	-1	-8	-15	-21	-28	-35	-42	-48	-55	-62	-69	-75
50	-1	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63	-69	-76
55	-2	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-63	-70	-77
60	-2	-9	-16	-23	-30	-36	-43	-50	-57	-64	-71	-78
65	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79
70	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-80
75	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66	-73	-80
80	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81
v	Zagrozenie odmrożeniem niskie				10–30'	5–10'	2–5'		<2'			
	Wystąpienie odmrożenia w czasie											

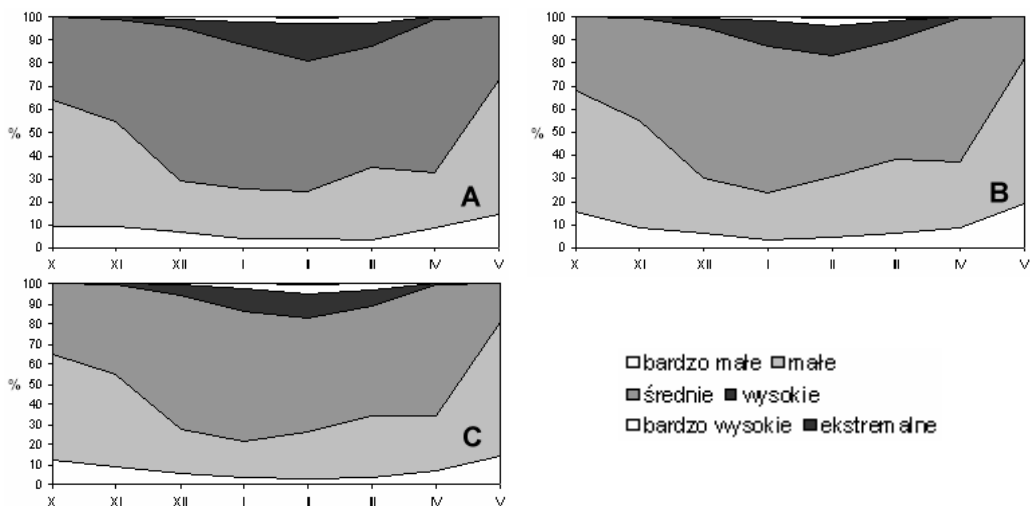
Jak wynika z tego zestawienia przy takich samych wartościach wskaźnika nie zawsze czas w jakim nastąpić może odmrożenie jest taki sam.

Na podstawie powyższego zestawienia oraz znajomości wspomnianej skali wartości omawianego wskaźnika w celu oceny stopnia zagrożenia organizmu wychłodzeniem i odmrożeniem w Hornsundzie utworzona została klasyfikacja, której kryterium stanowi zarówno wartość wskaźnika, jak i czas w jakim nastąpić może odmrożenie nieosłoniętej twarzy. Każdemu przedziałowi klasyfikacji podporządkowana jest reakcja organizmu człowieka i zalecenia dotyczące jego ochrony (wg Environment Canada):

Stopień zagrożenia	Przyjęte kryterium	Wpływ na organizm zdrowego człowieka dorosłego	Zalecenia
bardzo małe	$WCTI \geq 0$	brak ryzyka wychłodzenia	ubiór odpowiedni do pory roku
małe	$-9 < WCTI < 0$	lekki dyskomfort termiczny	ciepły ubiór, stosownie do temperatury powietrza
średnie	$-27 \leq WCTI \leq -9$	ryzyko wychłodzenia podczas długotrwałego przebywania na wolnym powietrzu bez odpowiedniej odzieży	warstwy odzieży, wierzchnia warstwa chroniąca przed wiatrem, nakrycie głowy, aktywność fizyczna
wysokie	ryzyko odmrożenia w czasie od 10 do 30 minut, (wg tabeli Env. Canada)	bladość, drętwienie odkrytych części twarzy, ryzyko wychłodzenia podczas długotrwałego przebywania na wolnym powietrzu bez odpowiedniej odzieży	warstwy odzieży, wierzchnia warstwa chroniąca przed wiatrem, nakrycie głowy, zasłonięcie twarzy, aktywność fizyczna
bardzo wysokie	ryzyko odmrożenia w czasie od 5 do 10 minut, (wg tabeli Env. Canada)	jak poprzednio	jak poprzednio
ekstremalne	ryzyko odmrożenia w czasie od 5 do 2 minut (wg tabeli Env. Canada)	bladość, drętwienie odkrytych części twarzy, bardzo wysokie ryzyko wychłodzenia podczas przebywania na wolnym powietrzu	zalecana szczególna ostrożność, bardzo ciepła odzież, wierzchnia warstwa chroniąca przed wiatrem, nakrycie głowy, zasłonięcie twarzy, aktywność fizyczna, znaczne ograniczenie lub wyeliminowanie przebywania na wolnym powietrzu

Przeprowadzona na podstawie przedstawionej wyżej klasyfikacji ocena warunków odczuwalności ciepłej w Hornsundzie wykazała, iż w większości przypadków w październiku (55%) i listopadzie (46%) może być odczuwany dyskomfort termiczny w kierunku wychłodzenia, a przy zastosowaniu odzieży odpowiedniej do temperatury powietrza zagrożenie odmrożeniem jest „małe” (ryc. 3a – 3c). W październiku nie odnotowano warunków stwarzających co najmniej „wysokie” zagrożenie odmrożeniem, natomiast pojawiły się one w listopadzie: w 1.1% obserwacji o godz. 06 i w 0.4% w pozostałych terminach obserwacyjnych. Między październikiem a listopadem częstość występowania warunków nie stwarzających ryzyka wychłodzenia („bardzo małe”) o godz. 6 nie zmieniła się (9.3%), natomiast o godz. 12 i 18 spadła odpowiednio o 6.5% i 3.6%. W okresie od grudnia do kwietnia najczęściej występowały warunki stwarzające zagrożenie organizmu wychłodzeniem podczas długotrwałego przebywania na wolnym powietrzu bez odzieży zabezpieczającej przed wiatrem i braku aktywności fizycznej: od 67% w grudniu do 55% w marcu.

Wysokie zagrożenie odmrożeniem (w czasie 10 do 30 minut) występowało w 3.6 do 5.4% rozpatrywanych obserwacji w grudniu, w 10 do ponad 11% w styczniu, w 13 do 16% w lutym, w 8 do 10% w marcu oraz 0.3 do 1.1% w kwietniu. W przypadku co najmniej wysokiego zagrożenia odmrożeniem oprócz stosowania odzieży wiatrochronnej zalecane jest zasłonięcie twarzy i ograniczenie czasu przebywania na wolnym powietrzu.



Ryc. 3. Odczuwalność cieplna (%) według wskaźnika ochładzania wiatrem WCTI w okresie X–V w Hornsundzie o godz.: A – 06 GMT, B – 12 GMT, C – 18 GMT, 1991–2000

Fig. 3. Thermal sensible conditions (%) after Wind Chill Temperature Index in months X–V in Hornsund at: A – 06 GMT, B – 12 GMT, C – 18 GMT, 1991–2000

Najsurowszym miesiącem był luty, w którym we wszystkich terminach obserwacyjnych odnotowano warunki stwarzające „bardzo wysokie” lub nawet „ekstremalne” ryzyko wystąpienia odmrożeń. W miesiącu tym niebezpieczeństwo wystąpienia odmrożenia w czasie 5 do 10 minut wystąpiło w 2.5% obserwacji o godz. 6, w 3.5% obserwacji o godz. 12 i w 4.2% obserwacji o godz. 18. Najsurowsze warunki odczuwalności wystąpiły, podobnie jak według wcześniej omawianego wskaźnika WCI, 22 lutego 1998 roku: stwarzały one niebezpieczeństwo wystąpienia odmrożenia w czasie 2 do 5 minut we wszystkich trzech terminach obserwacyjnych. Temperatura powietrza w tym dniu wynosiła od -27 do -26.3°C , prędkość wiatru od 40 do 47 kmh^{-1} , a wartość wskaźnika WCTI od -40.3 do -38.4 . Dla porównania przytoczyć można przykłady ekstremalnych warunków odczuwalności, jakie zostały odnotowane w północnej Kanadzie (za: Environment Canada): wartość WCTI równa -65 przy temperaturze powietrza -40.6°C i prędkości wiatru 58 kmh^{-1} w Alert na szerokości geograficznej $82^{\circ}44'\text{N}$ w dniu 6 stycznia 1958, czy też WCTI równe -61 przy temperaturze powietrza -41.7°C i prędkości wiatru 32 kmh^{-1} w Yellowknife na szerokości geograficznej $62^{\circ}25'\text{N}$. W obu tych przypadkach istniało ryzyko odmrożenia w czasie krótszym niż 2 minuty.

Warunki stwarzające zagrożenie odmrożeniem w ciągu 5 do 10 minut odnotowano w Hornsundzie także w styczniu (1.6 do 2% przypadków) i marcu (1.3 do 3.2%). „Ekstremalne” zagrożenie odmrożeniem odnotowano także 8 marca 1993 o godz. 12, kiedy wartość wskaźnika wyniosła -38 przy temperaturze powietrza -21°C i prędkości wiatru 90 kmh^{-1} .

Wspomnieć można, iż wskaźnik WCTI jest stosowany w Kanadzie jako element lokalnych prognoz pogody, co sprawia iż pełni on funkcję ostrzegawczą przed warunkami meteorologicznymi stwarzającymi zagrożenie dla organizmu oraz edukacyjną, dotyczącą ochrony przed wychłodzeniem.

5. Ochrona organizmu przed wychłodzeniem według przewidywanej izolacyjności termicznej odzieży

Odpowiednio dobrana odzież wspomaga naturalne mechanizmy termoregulacji, a tym samym chroni organizm człowieka przed utratą ciepła. Wyniki badań związku pomiędzy elementami meteorologicznymi a wielkością oporu cieplnego odzieży, zapewniającą zrównoważoną wymianę ciepła między człowiekiem i otoczeniem pozwoliły na uznanie termoizolacyjności odzieży za jeden ze wskaźników bioklimatycznych (Krawczyk 1993).

Przewidywana izolacyjność termiczna odzieży (Iclp) określa termoizolacyjność odzieży oraz otaczającej ją przypowierzchniowej warstwy powietrza konieczną do zapewnienia organizmowi komfortu cieplnego. Obliczana jest według wzoru Burtona i Edholma (Kozłowska-Szczęsna i in. 1997):

$$I_{clp} = \left(\frac{0,082[(91,4 - (1,8t + 32))]}{0,01724M} \right) - \frac{1}{0,61 + 1,9\sqrt{v}}$$

gdzie: Iclp – przewidywana izolacyjność termiczna odzieży (w jednostkach termoizolacyjności clo, 1 clo odpowiada oporowi cieplnemu 0.155 Km²W⁻¹),
t – temperatura powietrza (°C),
v – prędkość wiatru (ms⁻¹),
M – metaboliczna produkcja ciepła (Wm⁻²): suma metabolizmu podstawowego i powyżej podstawowego.

W obliczeniach przyjęto wielkość metabolizmu podstawowego 70 Wm⁻², który odpowiada metabolizmowi człowieka stojącego.

W polskiej literaturze często stosowana jest klasyfikacja według podstawowej izolacyjności cieplnej różnych zestawów odzieży przeznaczonych do przebywania na wolnym powietrzu, jaką podaje Krawczyk (1993), tab. 1 przedstawia jej skróconą wersję.

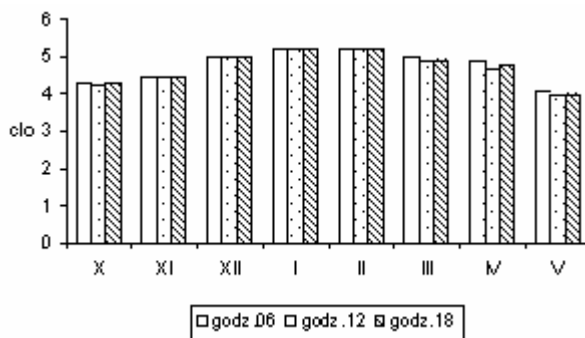
Tabela 1 – Table 1

Podstawowa izolacyjność cieplna różnych zestawów odzieży przeznaczonych do przebywania na wolnym powietrzu (wg Krawczyk 1993, skrócone)

Insulation (clo) of clothing assembles necessary to stay in an open air (by: Krawczyk)

Izolacyjność (clo) Insulation(clo)	Rodzaj odzieży Type of clothing	Przykład zestawu Combination of clothing
< 1.50	odzież letnia summer clothing	koszula z krótkim rękawem plus garnitur albo żakiet i spódnica – T-shirt and suit
1.50 – 2.50	odzież sezonów przejściowych spring and autumn clothing	jak wyżej plus płaszcz lub kurtka as above but with coat
2.51 – 3.09	odzież zimowa lekka slight winter clothing	tak jak wyżej, ale płaszcz ocieplany plus nakrycie głowy, szalik, rękawiczki as above but warm coat with a cap, scarf and gloves
3.10 – 3.99	odzież zimowa zwykła normal winter clothing	tak jak odzież zimowa lekka, ale ocieplana białozna i ocieplane obuwie as above but with warm underwear and warm shoes
≥ 4.00	odzież zimowa ciężka (arktyczna) very warm clothing („arctic” type)	tak jak odzież zimowa zwykła ale wierzchnie części garderoby futrzane lub puchowe as above but outer layers furry or downy

Średnie miesięczne wieloletnie wartości terminowe przewidywanej izolacyjności odzieży, wynoszące od 4.0 do 5.2 clo, wskazują na konieczność stosowania odzieży ciężkiej zimowej we wszystkich omawianych miesiącach (ryc. 4). Wartości średnie między poszczególnymi terminami obserwacyjnymi nie różnią się w okresie od grudnia do lutego, a w pozostałych miesiącach nie przekraczają 0.2 clo, nie jest więc konieczne stosowanie różnych zestawów odzieży w ciągu jednego dnia.

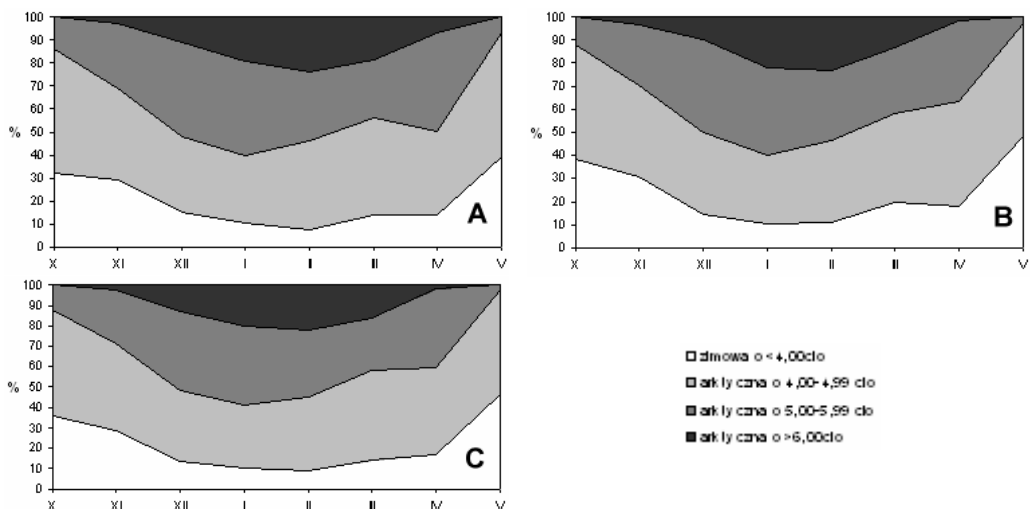


Ryc. 4. Średnia miesięczna terminowa przewidywana izolacyjność termiczna odzieży (clo) w okresie X–V w Hornsundzie, 1991–2000

Fig. 4. Monthly mean short-term insulation predicted (clo) in months X–V in Hornsund, 1991–2000

W celu dokładniejszego scharakteryzowania rodzajów odzieży, jaka powinna być stosowana w Hornsundzie w poszczególnych miesiącach omawianego okresu wyznaczono częstości, z jakimi powinno się stosować odzież o określonych właściwościach. Zastosowano klasyfikację według Krawczyk (1993) oraz dodatkowo podzielono odzież zimową ciężką na trzy przedziały według właściwości termoizolacyjnych: od 4.00 do 4.99 clo; od 5.00 do 5.99 clo oraz powyżej 6.00 clo (ryc. 5a – 5c). W październiku wystarczającą ochronę organizmu zapewnia najczęściej odzież o termoizolacyjności 4 do 4.99 clo (w około 50% przypadków), w 35% przypadków wystarczająca jest odzież zimowa zwykła lub nawet zimowa lekka (najmniejsza terminowa wartość wskaźnika wyniosła 2.3 clo).

Między październikiem a listopadem dwukrotnie wzrasta konieczność stosowania odzieży o ciepłochronności powyżej 5 clo, pojawiają się także warunki wymagające stosowanie odzieży o ciepłochronności przekraczającej 6 clo (w 2.6 do 3.4% obserwacji). Między listopadem a lutym warunki odczuwalności z każdym miesiącem pogarszają się: konieczność stosowania odzieży o ciepłochronności ponad 6 clo rośnie do 19% przypadków w styczniu i ponad 27% w lutym, a najwyższe wartości terminowe termoizolacyjności przekraczają 7 clo. W marcu nadal często należy stosować odzież o ciepłochronności ponad 6 clo (w 13 do ponad 18% przypadków), lecz wzrasta możliwość stosowania odzieży zimowej zwykłej (do 14% przypadków o godz. 06 i 18 oraz prawie 20% przypadków o godz. 12). Między marcem a kwietniem udział warunków wymagających stosowania odzieży o najwyższych właściwościach termoizolacyjnych znacznie spada: do 7% obserwacji o godz. 06 oraz do 1,3% obserwacji o godz. 12. Nadal jednak w 35 do 42% przypadków konieczne jest stosowanie odzieży o ciepłochronności od 5 do 5.99 clo. Znaczące polepszenie warunków odczuwalności następuje w maju: w prawie połowie przypadków wystarczającą ochronę zapewnia odzież zimowa zwykła, najwyższa terminowa wartość rozpatrywanego wskaźnika wyniosła 5.4 clo.



Ryc. 5. Rodzaje odzieży zapewniające komfort termiczny w okresie X–V w Hornsundzie o godz.: a) 06 GMT, b) 12 GMT, c) 18 GMT, 1991–2000

Fig. 5. Clothing required to keep thermal comfort in man in months X–V in Hornsund at :a) 06 GMT, b) 12 GMT, c) 18 GMT , 1991–2000

Według Polskiej Normy PN-EN 31092 (za: Centralny Instytut Ochrony Pracy) opór cieplny odzieży przeznaczonej do prac w temperaturze -15 do -30°C powinien wynosić co najmniej $0.4 \text{ Km}^2\text{W}^{-1}$ (co odpowiada około 3.0 clo). Wymagania dotyczące termoizolacyjności odzieży w Hornsundzie w większości przypadków przekraczają więc znacznie minimalne wymogi powyższej normy. Jednakże stosowane obecnie technologie podczas projektowania i produkcji odzieży ciepłochronnej i wiatrochronnej, stwarzają możliwość komponowania zestawów zapewniających komfort termiczny w warunkach sprzyjających hipotermii. Według informacji producentów korzystnym rozwiązaniem jest np. zastosowanie naturalnego puchu pod membraną (np. rodzaju Thermoactive, czy Gore-tex) (na podstawie Małachowski 2003), a także zastosowanie przekładek w postaci warstw powietrza (za: Centralny Instytut Ochrony Pracy).

6. Podsumowanie

Warunki odczuwalności cieplej w Hornsundzie w okresie zimy termicznej w większości przypadków rozpatrywanych obserwacji powodują dyskomfort termiczny w kierunku wychłodzenia: warunki „komfortu” termicznego według skali ochładzającej siły wiatru nie przekraczają 10%, a „brak ryzyka wychłodzenia” według wskaźnika ochładzania wiatrem tylko w październiku i maju występował w kilkunastu procentach obserwacji, w pozostałych miesiącach nie przekraczając kilku procent. Przez cały analizowany okres wymagane jest stosowanie odzieży co najmniej zimowej zwykłej. Warunki stwarzające dyskomfort lub zagrożenie wychłodzeniem przy długotrwałym przebywaniu przeważają w każdym z omawianych miesięcy: odczucie „zimno” według wskaźnika WCI stanowiło 60 do 80% przypadków, a częstość występowania „małego” lub „średniego” zagrożenia wychłodzeniem według wskaźnika WCTI wynosiła od około 60 do 90%. Warunki stwarzające zagrożenie odmrożeniem nieosłoniętych części ciała, szczególnie odkrytej twarzy, wystąpić mogą w Hornsundzie w okresie od listopada do kwietnia z częstością kilku do kilkunastu procent, przy czym wyniki uzyskane według wskaźnika WCI wskazują na większą surowość warunków

termicznych, niż uzyskane z użyciem wskaźnika WCTI (udział warunków stwarzających zagrożenie odmrożeniem jest w pierwszym przypadku o około 2 do 4% wyższy), co potwierdza założenie przyjęte przez autorów wskaźnika WCTI (Environment Canada). Najsurowsze warunki odczuwalności w Hornsundzie wystąpić mogą w lutym: w tym miesiącu wartości terminowe wskaźnika WCI są najwyższe: średnie miesięczne wynoszą ponad 1280 Wm⁻², a maksymalne prawie 2200 Wm⁻², warunki stwarzające zagrożenie odmrożeniem występują najczęściej (do ponad 18%), istnieje ryzyko wystąpienia odmrożenia w czasie 2 do 5 minut ciągłego przebywania na wolnym powietrzu (do 0.4%).

Bioklimat Hornsundu cechuje bardzo silna bodźcowość warunków termicznych zarówno ze względu na wysoką częstość występowania obciążających warunków odczuwalności, jak i na nie będącą przedmiotem tego opracowania, lecz podkreślaną w literaturze dużą zmienność temperatury powietrza z dnia na dzień (Kierzkowski 1996). Bodźcowość ta może być prawdopodobnie złagodzona przez małe zróżnicowanie wartości wskaźników między poszczególnymi terminami obserwacyjnymi. Aby uniknąć skutków występowania niekorzystnych warunków odczuwalności osoby planujące pobyt na omawianym obszarze powinny być zdrowe, podczas planowania długości pobytu powinien być uwzględniony okres aklimatyzacji (według Blanca, za: Błażejczyk 1993, u osób zaaklimatyzowanych do zimnych warunków otoczenia obserwuje się nawet o połowę większy metabolizm podstawowy oraz termooizolacyjne właściwości skóry i tkanki podskórnej, niż u osób niezaaklimatyzowanych), stosowana powinna być wiatrochronna odzież o wysokiej (najczęściej ponad 5 clo, a nawet ponad 7 clo) ciepłochronności, a czas ciągłego przebywania na wolnym powietrzu powinien być ograniczany, szczególnie w przypadku wystąpienia zagrożenia odmrożeniem.

Wyniki tej pracy mogą stanowić informacje klimatyczną dla osób przebywających lub planujących pobyt na Spitzbergenie, szczególnie w okresie zimy. Mogą służyć także porównywaniu cech klimatu i bioklimatu innych rejonów Spitzbergenu, a także pozostałych regionów polarnych oraz obszarów wysokogórskich. Z uwagi na zasadniczy wpływ, jaki w kształtowaniu klimatu Spitzbergenu odgrywa cyrkulacja atmosferyczna, analizowany przez Niedźwiedzia (1997 i inne) oraz Przybyłaka (1992) niniejsze opracowanie powinno być kontynuowane i poszerzone o analizę związku między odczuwalnością cieplną a sytuacją synoptyczną.

Literatura

- Araźny A., 2003, Variability of cooling power of the air in Hornsund (SW Spitsbergen) in the period 1979-2000. Acta Universitatis Wratislaviensis, 2542, Studia Geograficzne, 75: 447-461.
- Bała A., 1990, Klimat i bioklimat Hornsundu (południowy Spitzbergen) w okresie lipiec 1978 - lipiec 1988, Zakład Klimatologii UJ, maszynopis pracy magisterskiej.
- Bluestein M., Zecher J., 1999, A new approach to an accurate Wind Chill Factor. Bull. Amer. Meteor. Soc., vol.80: 1893-1899.
- Błażejczyk K., 1993, Wymiana ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem w różnych warunkach środowiska geograficznego, IGI PAN, Prace Geograficzne, 159.
- Centralny Instytut Ochrony Pracy, Odzież ciepłochronna, informacje zamieszczone na stronie: www.ciop.pl.
- Environment Canada, Wind Chill Program, informacje zamieszczone na stronie: www.msc.ec.gc.ca.
- Gluz A.F., 1988, Wyniki pomiarów ochładzania katatermometrycznego w lipcu i sierpniu 1986 r. w Calypsobyen (zachodni Spitsbergen). [w:] XV Sympozjum Polarne. Stan obecny i wybrane problemy polskich badań polarnych, Jahn A., Pereyma J, Szczepankiewicz-Szmyrka A. (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, 4.
- Gregorczyk M., 1978, Rozkład ochładzania na obszarze Antarktyki, Przegląd Geofizyczny, XXIII (XXXI), z.1: 45-58.

- Kierzkowski T., 1996, Cechy klimatu lokalnego stacji w Hornsundzie w oparciu o materiał z lat 1978-1995, *Problemy Klimatologii Polarnej*, 6: 66-82.
- Kluba M., 1991, Zagadnienie turystyki w rejonie Kaffiöra (NW Spitzbergen), XVIII Sympozjum Polarne, Szczecin-Swinoujście, 10-12 V 1991, streszczenia referatów.
- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1997, *Bioklimatologia człowieka*. IGIPZ PAN, monografie, 1.
- Małachowski A., 2003, Pracownia Sprzętu Alpinistycznego, Technologie, informacje zamieszczone na stronie www.malachowski.com.pl.
- National Weather Service, Wind Chill Temperature Index, informacje zamieszczone na stronie www.nws.noaa.gov.
- Niedźwiedz T., 1997, Wieloletnia zmienność wskaźników cyrkulacji atmosfery nad Spitzbergenem i ich rola w kształtowaniu temperatury powietrza. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 7: 19-39.
- Osczevski R.J., 1995, The basis of wind chill, *Arctic*, 48, p.372-382 (abstract).
- Osczevski R.J., 2000, Windward cooling: an overlooked factor in the calculation of Wind Chill, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, vol. 81: 2975-2981.
- Owczarek M., 2003, Odczuwalność cieplna w Gdyni według wybranych wskaźników, *Wiadomości IMGW, XXVI(XLVII)*, z.4: 37-58.
- Przybylak R., 1992, Stosunki termiczno-wilgotnościowe na tle warunków cyrkulacyjnych w Hornsundzie (Spitzbergen) w okresie 1978-1983, *Dokumentacja Geograficzna IGIPZ PAN*, z. 2.
- Rocznik Meteorologiczny Hornsund, 1990-2000, IMGW Oddział Morski w Gdyni.
- Szczepankiewicz-Szmyrka A., Pereyma J., 1992, Biometeorological conditions in Hornsund in 1979-1980. [w:] Opaliński K.W., Klekowski R.Z. (red.), *Landscape, life world and man in High Arctic*, Materiały sympozjum "Spitsbergen '84", Dziekanów Leśny, 1-2 marca 1984, Institute of Ecology Publishing Office, s.103-111.
- Tikusis P., Osczevski R.J., 2003, Facial cooling during cold air exposure. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, vol.84, 927-933.
- Zawiślak T., 1986 Preliminary characteristic of the bioclimatic conditions of the Spitzbergen West Coast, Results of investigations of the Polish Scientific Spitzbergen Expeditions, VI, Wrocław.

THERMAL SENSATIONS IN WINTER MONTHS OVER THE POLISH POLAR STATION IN HORNSUND AREA, 1991–2000

Summary

Evaluation of thermal conditions on polar station is the subject of this paper. Calculations based on the Polish Polar Station in Hornsund data at 06, 12 and 18 GMT in the period 1991-2000. Three biometeorological indices were analyzed: Wind Chill Index (WCI) according to Siple-Passel formula (1945), Wind Chill Temperature Index (WCTI) based on new American and Canadian formula (2002) and Insulation Predicted (Iclp) according to Burton-Edholm formula (1955). Hypothermic conditions were noticed most often (60-90%) during considered period. Comfortable thermal conditions took below 10% causes per month only. The risk of frostbite of exposed skin could be noticed from November to April from 1% to over 18% causes per moth. The most severe conditions were occurred in February. There is a necessary to use clothes of over 4 clo thermal insulation and wind-protectors for most of considered period. There is also the need for keeping active, covering exposed skin and being ready to short outdoor activities.