



Warunki biometeorologiczne w rejonie Forlandsundet (NW Spitsbergen) w okresie od 11 lipca do 31 sierpnia 2010 r.*

*Biometeorological conditions in the Forlandsundet area
(NW Spitsbergen) from 11 July to 31 August 2010*

ANDRZEJ ARAŻNY

Instytut Geografii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika,
87-100 Toruń, ul. Gagarina 9; andy@umk.pl

Zarys treści. W artykule przedstawiono warunki biometeorologiczne, na tle meteorologicznych, w rejonie Forlandsundet (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 2010 r. Przeanalizowano zróżnicowanie tych warunków w 8 punktach badawczych przy różnych sytuacjach pogodowych, w zależności od: wysokości nad poziom morza, odległości od morza i charakteru podłoża. Warunki biotermiczne omówiono na podstawie wartości wskaźników biometeorologicznych: wielkości ochładzającej powietrza, temperatury ochładzania wiatrem oraz przewidywanej termoizolacyjności odzieży. Stwierdzono znaczne zróżnicowanie przestrzenne warunków meteorologicznych i biometeorologicznych w badanym okresie.

Słowa kluczowe: Arktyka, Spitsbergen, warunki biometeorologiczne, bioklimat lokalny, sezon letni.

Wstęp

Cechy klimatu Spitsbergenu decydują o kształtowaniu się silnie bodźcowych warunków bioklimatycznych, niekorzystnych z punktu widzenia organizmów stałocieplnych. Głównymi czynnikami decydującymi o kształtowaniu się specyficznych warunków klimatu odczuwalnego na tym obszarze są uwarunkowania astronomiczne i silnie rozwinięta cyrkulacja atmosferyczna oraz oceaniczna.

Jednym z podstawowych celów badań topoklimatycznych i biotopoklimatycznych jest określenie zróżnicowania przestrzennego różnych elementów klimatu lub warunków biotermicznych w skali lokalnej. Głównym celem niniejszej pracy jest przedstawienie przestrzennego zróżnicowania warunków biometeorologicznych, na tle warunków meteorologicznych, panujących w rejonie Forlandsundet

* Opracowanie wykonano w ramach polsko-norweskiego projektu badawczego PNRF-22-AI-1/07 pt. „Klimat Arktyki i środowisko mórz nordyckich oraz rejonu Spitsbergen-Grenlandia (AWAKE)”.

(NW Spitsbergen) w sezonie letnim 2010 r. Dodatkowo omówiono wpływ czynników lokalnych na przebieg warunków biometeorologicznych w tym rejonie Spitsbergenu.

Dotychczas powstała tylko jedna kompleksowa monografia z zakresu bioklimatologii dotycząca Arktyki Norweskiej (Araźny, 2008). Przegląd stanu literatury w tym zakresie (do 2004 r.) przedstawił A. Araźny (2008). W ostatnich latach z bioklimatologii arktycznej ukazały się prace R. Przybylaka i A. Araźnego (2005), A. Araźnego i K. Błażejczyka (2007), A. Araźnego i innych (2009, 2010), E. Bednorz i L. Kolendowicza (2010) i S. Sikory i innych (2010, 2011).

O warunkach biometeorologicznych na Równinie Kaffiøyra jest mowa tylko w dwóch opracowaniach: K. Marciniak (1983) przedstawił charakterystykę wskaźników biometeorologicznych (wielkość ochładzająca powietrza, ochładzania wiatrem i wielkości izolacji odzieży zapewniającej komfort cieplny) w sezonie letnim 1979 r., zaś A. Araźny i K. Błażejczyk (2007) scharakteryzowali warunki biometeorologiczne na Równinie Kaffiøyra oraz w regionie Lodowca Waldemara dla sezonu letniego 2005 r., wykorzystując następujące wskaźniki: wielkość ochładzająca powietrza, temperatura ochładzania wiatrem, przewidywana termoizolacyjność odzieży oraz miernik odczucia ciepła B.A. Ajzenštata. W niniejszym opracowaniu po raz pierwszy podjęto próbę przedstawienia zróżnicowania warunków biotermicznych większego obszaru Arktyki.

Materiały i metody

Badania prowadzone były w sezonie letnim (od 11 lipca do 31 sierpnia) 2010 r. w 8 punktach w rejonie Forlandsundet (tab. 1, ryc. 1). Wykorzystano m.in. automatyczne stacje meteorologiczne Davis Vantage Pro2. Przeanalizo-

Tabela 1. Stanowiska meteorologiczne działające latem 2010 r. w rejonie Forlandsundet
Meteorological sites operating during summer 2010 in the Forlandsundet area

Stanowiska / Sites		φ	λ	h (m n.p.m. / m a.s.l.)
KH	Kaffiøyra-Heggodden	78°40'34" N	11°49'38" E	11
SAT	Sarstangen	78°43'38" N	11°28'50" E	2
ATA	ATA	78°40'31" N	11°59'30" E	137
GF	Gråfjellet	78°39'59" N	12°00'33" E	345
LW1	Lodowiec Waldemara (przedpole) <i>Waldemar Glacier (tongue)</i>	78°40'31" N	12°00'01" E	130
LW2	Lodowiec Waldemara (pole firnowe) <i>Waldemar Glacier (cirque)</i>	78°40'54" N	12°05'16" E	375
PK3	Prins Karls Forland-Klubben	78°32'46" N	11°14'42" E	8
SJ2	St. Jonsfjord-Hus	78°31'36" N	12°51'53" E	4



Ryc. 1. Położenie stanowisk meteorologicznych wykorzystanych w opracowaniu na podkładzie mapy topograficznej Norweskigo Instytutu Polarnego.

A, B i C – poligony badawcze, nazwy stanowisk w tabeli 1

Locations of meteorological sites used in this study, as shown on a topographic map produced by the Norwegian Polar Institute.

A, B and C – research zones, for names of sites see Table 1

wano zróżnicowanie warunków biometeorologicznych przy różnych sytuacjach pogodowych, w zależności m.in. od: wysokości nad poziom morza, odległości od morza i charakteru podłoża.

Do oceny bodźcowości warunków meteorologicznych użyto kilku wskaźników. Warunki biotermiczne oceniono m.in. na podstawie dobowych kontrastów termicznych, które ukazano według wartości dobowej amplitudy temperatury ($dt=t_{\max}-t_{\min}$). Według T. Kozłowskiej-Szczęsnej i innych (1997) dt poniżej $4,0^{\circ}\text{C}$ jest odczuwana jako bodźce obojętne, od $4,0$ do $7,9^{\circ}\text{C}$ – bodźce słabo odczuwalne, od $8,0$ do $11,9^{\circ}\text{C}$ – silnie odczuwalne, a powyżej $11,9^{\circ}\text{C}$ jako ostre.

Do oceny warunków wilgotnościowych posłużyła wilgotność względna powietrza (Bokša i Boguckij, 1980; za: Kozłowska-Szczęsna i inni, 1997). Według przyjętej klasyfikacji wilgotność względna poniżej 56% – to powietrze suche, od 56 do 70% umiarkowanie suche, od 71 do 85% wilgotne, a powyżej 85% – bardzo wilgotne.

Do analizy wpływu warunków wietrznych na człowieka w tym rejonie Arktyki wykorzystano klasyfikację prędkości wiatru K. Knocha (Jankowiak i Parczewski, 1978). Wiatr w przedziale $0-1\text{ ms}^{-1}$ jest odczuwany jako cisza, od powyżej 1 do 4 ms^{-1} jako słaby, od powyżej 4 do 8 ms^{-1} jako umiarkowany i powyżej 8 ms^{-1} jako silny.

Przeanalizowano trzy wskaźniki biometeorologiczne: wielkość ochładzającą powietrza (H), temperaturę ochładzania wiatrem (WCT) oraz przewidywaną termoizolacyjność odzieży ($Iclp$). Do oceny warunków biometeorologicznych użyto wartości chwilowych (co 1 godzinę) danych meteorologicznych z okresu 11.07–31.08.2010 r. Wskaźniki te obliczono za pomocą programu BioKlima 2.6 (www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/BioKlima.htm).

Do zbadania odczuć zimna i oceny stopnia zagrożenia organizmu człowieka odmrożeniem na NW Spitsbergenie zastosowano temperaturę ochładzania wiatrem (Nelson i inni, 2002). Na podstawie wartości WCT stosowana jest skala zagrożenia warunkami meteorologicznymi. Wartościom WCT można przypisać następujące oceny odczucia zimna: niewielkie ($0\div-10^{\circ}\text{C}$), umiarkowane ($-10,1\div-25^{\circ}\text{C}$), znaczne ($-25,1\div-45^{\circ}\text{C}$), duże ($-45,1\div-60^{\circ}\text{C}$) i bardzo duże ($>-60^{\circ}\text{C}$).

Wielkość ochładzająca powietrza określa utratę ciepła z powierzchni ciała w jednostce czasu. Wskaźnik H jest przydatny do oceny odczuć cieplnych ludzi w ruchu, ubranych stosownie do pory roku. Obliczone wartości H przedstawiono w postaci rozkładu ich częstości w skali odczucia cieplnego M. Petroviča i S. Kacvinsky'ego (Kozłowska-Szczęsna i inni, 1997). W zależności od wartości H odczucia cieplne kształtują się następująco: 'nieznośnie zimno i wietrznie' ($>2100,1\text{ Wm}^{-2}$); 'bardzo zimno' ($1680,1-2100,0\text{ Wm}^{-2}$); 'zimno' ($1260,1-1680,0\text{ Wm}^{-2}$); 'chłodno' ($840,1-1260,0\text{ Wm}^{-2}$); 'przyjemnie chłodno' ($630,1-840,0\text{ Wm}^{-2}$); 'łagodnie' ($420,1-630,0\text{ Wm}^{-2}$); 'gorąco' ($210,1-420,0\text{ Wm}^{-2}$) i 'upalnie' ($<210,0\text{ Wm}^{-2}$).

Wskaźnik przewidywanej izolacyjności odzieży został opracowany przez A.C. Burtona i O.G. Edholma (1955) do badań termofizjologicznych warunków pracy w terenie otwartym. Do obliczeń wartości *Iclp* przyjęto wartości metabolizmu 135 Wm^{-2} dla człowieka poruszającego się z prędkością 4 km h^{-1} . Następnie określono (w danych warunkach meteorologicznych) przewidywaną izolacyjność odzieży (w clo). Wartościom *Iclp* przypisuje się następującą ocenę warunków termicznych: bardzo ciepłe ($<0,30 \text{ clo}$), ciepłe ($0,31\text{--}0,80 \text{ clo}$), neutralne ($0,81\text{--}1,20 \text{ clo}$), chłodne ($1,21\text{--}2,00 \text{ clo}$), zimne ($2,01\text{--}3,00 \text{ clo}$), bardzo zimne ($3,01\text{--}4,00 \text{ clo}$), arktyczne ($>4,00 \text{ clo}$).

Wyniki

Temperatura powietrza

Na analizowanym obszarze w sezonie letnim 2010 r., najwyższą średnią temperaturę powietrza ($4,5^\circ\text{C}$) zanotowano we wschodniej części wyspy Prins Karls Forland (PK3, tab. 2). Na wszystkich badanych stanowiskach znajdujących się powyżej 100 m npm. średnia temperatura jest niższa od $4,0^\circ\text{C}$. Najchłodniejsze

Tabela 2. Średnie, najwyższe i najniższe (max abs, min abs) wartości elementów meteorologicznych w rejonie Forlandsundet w okresie 21.07–31.08.2010 r.

Mean, highest and lowest (max abs, min abs) values for meteorological elements in the Forlandsundet area in the period 21 July–31 August 2010

Stanowisko Site	T_i ($^\circ\text{C}$)	$T_{\text{max abs}}$ ($^\circ\text{C}$)	$T_{\text{min abs}}$ ($^\circ\text{C}$)	v (ms^{-1})	$v_{\text{max abs}}$ (ms^{-1})	f (%)
KH	4,1	11,4	-0,4	5,3	17,9	89
SAT	4,3	10,4	-0,2	5,3	14,8	95
ATA ^a	3,9	12,1	-1,1	2,2	10,7	86
GF ^b	2,2	12,1	-3,7	5,1	23,7	94
LW1 ^a	3,7	12,1	-1,1	1,8	10,7	88
LW2 ^a	1,6	9,8	-3,9	1,6	10,3	89
PK3	4,5	13,8	0,1	3,1	10,7	91
SJ2	4,3	10,7	-1,0	1,6	7,2	88

^a 13.07–31.08; ^b 14.07–31.08; T – temperatura powietrza / air temperature; v – prędkość wiatru / wind speed; f – wilgotność względna / relative air humidity.

Opracowanie własne. / Authors' own calculations.

miejsce to pole firnowe Lodowca Waldemara (LW2; $1,6^\circ\text{C}$). Niska temperatura powietrza ($2,2^\circ\text{C}$) była również na stanowisku Gråfjellet (GF), na 345 m npm. Ochłodzenie na tym stanowisku prawdopodobnie jest związane z faktem częstego znajdowania się tego grzbietu górskiego w chmurach *St* lub *Sc* o niedu-

żej grubości (Przybylak i inni, 2011). Skrajne absolutne wartości temperatury powietrza wahały się od $-3,9^{\circ}\text{C}$ na stanowisku lodowcowym LW2, do $13,8^{\circ}\text{C}$ na stanowisku PK3 położonym blisko otwartego morza (tab. 2, ryc. 1).

Istotne znaczenie z biometeorologicznego punktu widzenia ma dobową amplituda temperatury powietrza (dt), która określa bodźcowość termiczną danego środowiska. W analizowanym regionie Forlandsundet na wszystkich stacjach wyraźnie dominowały bodźce termiczne obojętne ($dt \leq 4,0^{\circ}\text{C}$) lub słabo odczuwalne ($4,0^{\circ}\text{C} < dt < 8,0^{\circ}\text{C}$). Bodźce termiczne obojętne najczęściej (90%) notowano w SAT, a najmniej (55%) ich było w SJ2. Odwrotną sytuację obserwowano w rozkładzie częstości bodźców słabo odczuwalnych – od 10% w SAT do 45% w SJ2.

Wilgotność względna

W sezonie letnim 2010 r. najwyższe wartości (95–94%) zanotowano na stanowiskach blisko morza (SAT) lub położonych w górach i bardziej oddalonych od morza (GF). Na stanowiskach wyżej położonych, z racji występowania tam niższych wartości temperatury powietrza oraz częstszego zalegania chmur piętra niskiego, obserwowano podwyższoną wilgotność względną (Araźny i inni, 2011). Najmniejsze nasycenie powietrza parą wodną (86%) wystąpiło na stanowisku ATA, położonym u czoła Lodowca Waldemara, o podłożu z suchą i kamienną moreną (tab. 2). Niska wilgotność na tym stanowisku była również związana z adyabatycznym ogrzewaniem mas powietrza przynoszonych przez wiatry lodowcowe (Kejna i inni, 2010).

Na podstawie średnich dobowych wartości wilgotności względnej wykonano analizę częstości dni o różnych charakterystycznych wartościach. Według tej klasyfikacji, przeważało powietrze bardzo wilgotne (77% dni). Najrzadziej (60% dni w sezonie) występowało ono na ATA – stanowisku usytuowanym na podłożu skalistym i morenowym, które silnie nagrzewało się, szczególnie w okresach pogody słonecznej. Powietrze bardzo wilgotne wyraźnie dominowało (95%) na stanowisku SAT, zlokalizowanym blisko morza. Duża częstość występowania powietrza bardzo wilgotnego na tym obszarze w okresie letnim jest spowodowana zwiększonym parowaniem z odkrytych powierzchni wodnych. Latem w 2010 r. powietrze wilgotne notowano średnio w 18% dni na całym obszarze – najrzadziej na stanowiskach zlokalizowanych na szczytach górskich i położonych wyżej npm. (kilka dni), natomiast najczęściej (15 dni) w ATA. Dni z powietrzem umiarkowanie suchym na całym obszarze było tylko 4% w 2010 r. Powietrze suche w rejonie Forlandsundet występowało bardzo rzadko w pojedynczych dniach, tylko na większych wysokościach npm., z dala od wpływu morza (Araźny i inni, 2011).

Prędkość wiatru

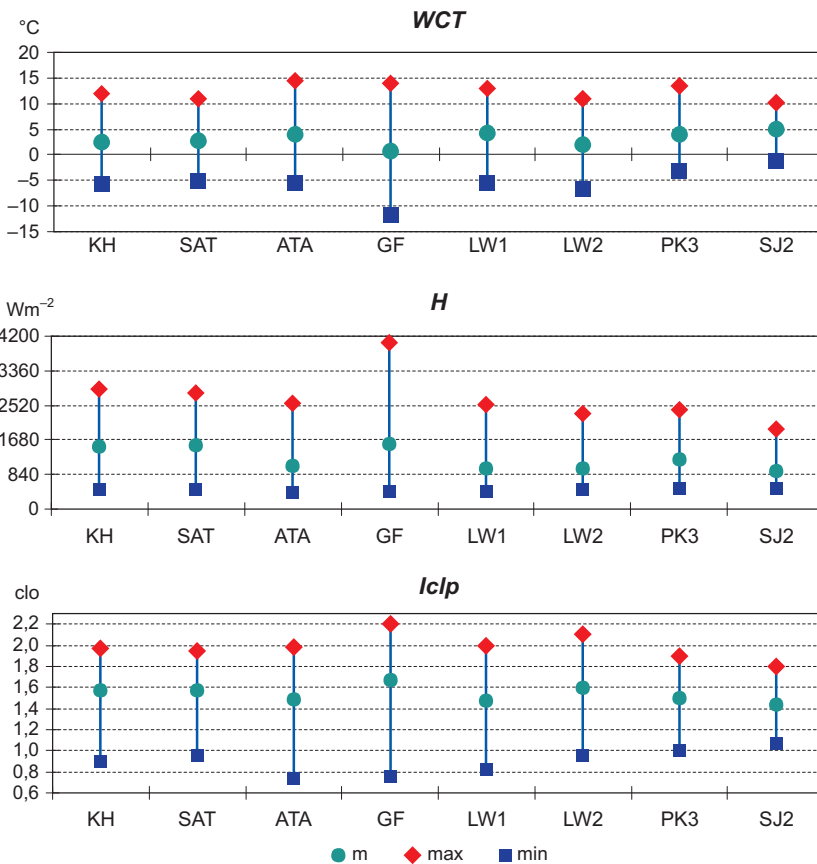
W analizowanym okresie największe średnie prędkości wiatru ($5,3 \text{ ms}^{-1}$) wystąpiły na Kaffiøyrze (KH) i na półwyspie Sarstangen (SAT) (tab. 2), czyli miejscach w najbardziej otwartym terenie. Nieco mniejszą prędkość wiatru ($5,1 \text{ ms}^{-1}$) zanotowano na wierzchowinie Gråfjelletu (GH), położonej na wysokości 345 m npm., gdzie teoretycznie stan powinien być najbardziej zbliżony do wolnej atmosfery. Prędkość wiatru na stanowiskach KH i SAT jest zwiększona przez efekt tunelowy obserwowany wzdłuż Forlandsundet. Większość pozostałych obszarów badawczych cechują niższe prędkości wiatru. Szczególnie niskie są one na Lodowcu Waldemara i w jego bezpośrednim sąsiedztwie (np. LW1 i LW2) oraz w St. Jonsfjorden (SJ2).

Według klasyfikacji prędkości wiatru Knocha, w sezonie letnim 2010 r. najwięcej (41%) cisz ($0-1 \text{ ms}^{-1}$) występowało w SJ2 i na Lodowcu Waldemara (38%; w LW1 i LW2), natomiast najmniej (11–12%) obserwowano ich na stanowiskach nadmorskich zlokalizowanych wzdłuż Forlandsundet (SAT i KH). Najczęściej występował wiatr słaby ($>1-4 \text{ ms}^{-1}$), szczególnie (w 54–57% dni) w LW2, LW1, SJ2 i ATA. Wiatr określany jako umiarkowany ($>4-8 \text{ ms}^{-1}$) przeważał (38–41%) w punktach położonych blisko Forlandsundet (KH i SAT). Wiatry silne ($>8 \text{ ms}^{-1}$) z największą częstością pojawiały się na stacjach GF i KH (20%) oraz SAT (18%); nie wystąpiły tylko na stanowisku SJ2.

Temperatura ochładzania wiatrem

W okresie lata odczucie zimna (poniżej 0°C WCT) na Spitsbergenie występuje sporadycznie (Araźny, 2008). Potwierdzają to wartości dekadowe w rejonie Forlandsundet w sezonie letnim 2010 r. (tab. 3). Ryzyko niewielkich odczuć zimna, według wartości WCT, występowało tylko w drugiej dekadzie sierpnia na stanowisku górskim GF. W okresie porównawczym (21.07–31.08) najniższą chwilową wartość WCT ($-11,5^\circ\text{C}$) na badanym obszarze zanotowano 16 sierpnia o godz. 7.00 na stanowisku górskim Gråfjellet (ryc. 2). Na tę wartość temperatury ochładzania wiatrem miała wpływ głównie bardzo duża prędkość wiatru ($23,7 \text{ ms}^{-1}$) (tab. 2). Najwyższa terminowa wartość WCT ($14,4^\circ\text{C}$), wystąpiła 20 sierpnia o godz. 13.00 na stanowisku ATA o podłożu morenowym na przedpolu Lodowca Waldemara (ryc. 2), przy temperaturze powietrza $>11^\circ\text{C}$, w warunkach bezwietrznych.

Przebieg dobowy wskaźnika WCT jest odzwierciedleniem przebiegu dobowego prędkości wiatru i temperatury powietrza. W okresie porównawczym największą ($1,9^\circ\text{C}$) uśrednioną dobową amplitudę wskaźnika WCT zanotowano na stanowisku SJ2, a najmniejszą ($0,8^\circ\text{C}$) w PK3 (ryc. 3). Wartości WCT w większym stopniu zależą od termiki powietrza niż jej dynamiki. W rejonie Forlandsundet mała amplituda WCT jest odzwierciedleniem małych zmian tempera-



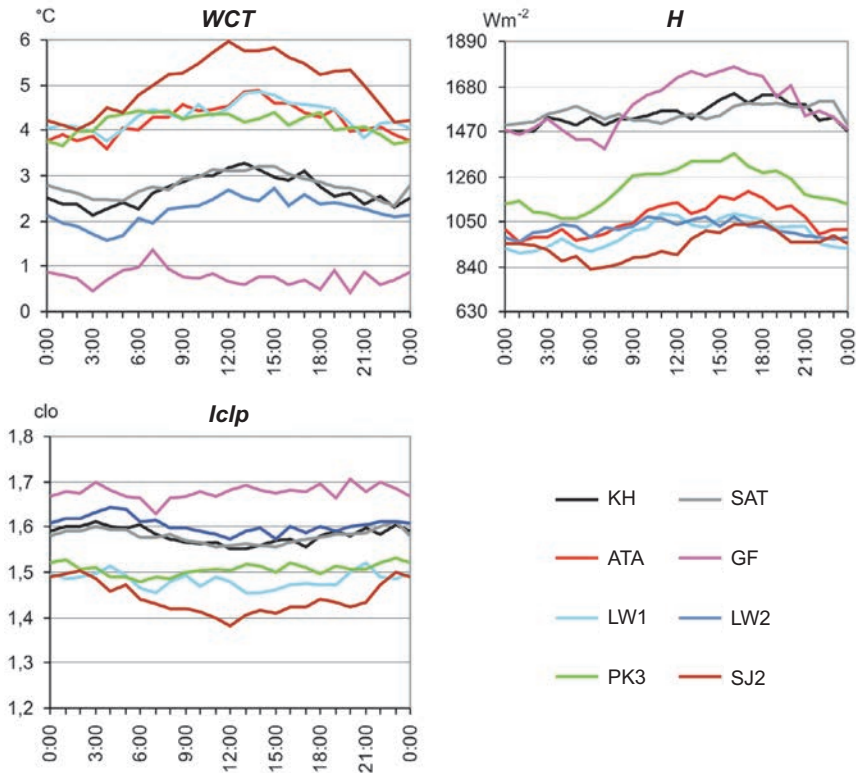
Ryc. 2. Średnie (m), najwyższe (max) oraz najniższe (min) wartości wskaźników biometeorologicznych (*WCT*, *H* i *Iclp*) w regionie Forlandsundet w okresie 21.07–31.08.2010 r. Oznaczenia stanowisk jak w tabeli 1

Mean (m), highest (max), and lowest (min) values for biometeorological indices (*WCT*, *H* and *Iclp*) in the Forlandsundet area in the period 21 July–31 August 2010. For names of sites, see Table 1

Opracowanie własne. / Authors' own calculations.

tury powietrza w ciągu doby (Przybylak i inni, 2011). Na analizowanych stanowiskach w ciągu doby najniższe uśrednione wartości rejestrowano przeważnie około godz. 1.00–3.00, natomiast najwyższe o godz. 12.00–16.00 (ryc. 3).

W sezonie letnim 2010 r. w rejonie Forlandsundet rzadko zdarzały się odczucia zimna u ludzi znajdujących się na badanych stanowiskach. W okresie od 21 lipca do 31 sierpnia, częstość odczucia zimna wahała się od <1% w punkcie SJ2 do 46% na stanowisku górskim GF (ryc. 4). Były to z reguły niewielkie odczucia zimna, natomiast umiarkowane na całym obszarze badań wystąpiły jedynie w GF (<1%).

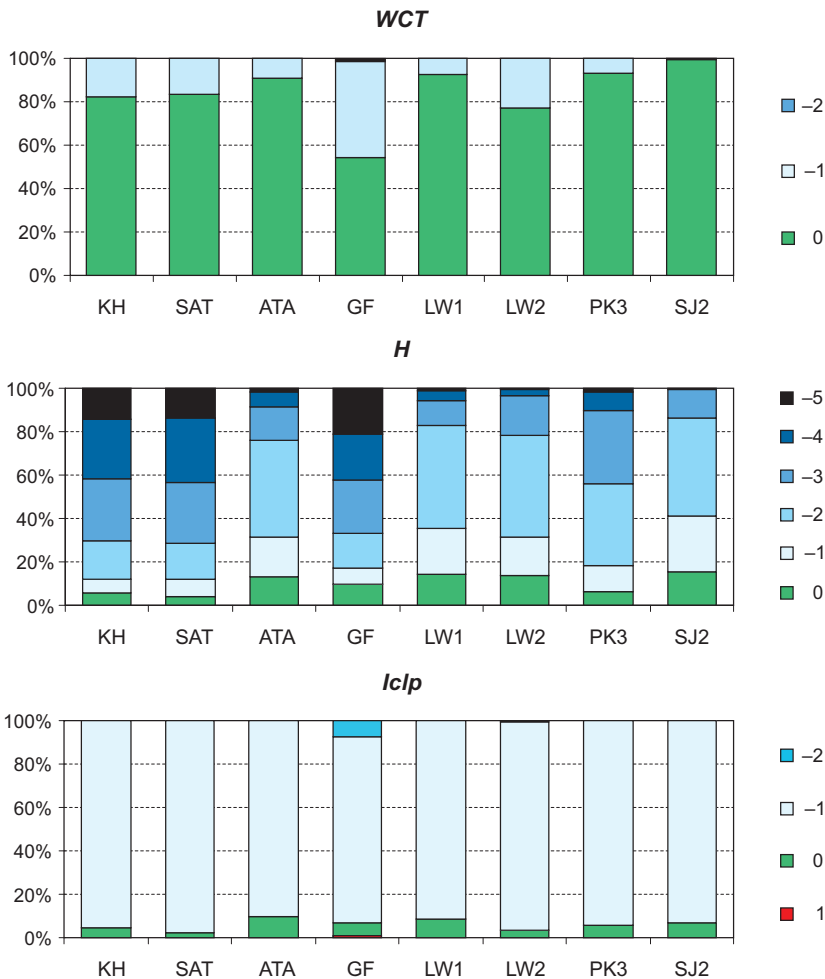


Ryc. 3. Średni przebieg dobowy temperatury ochładzania wiatrem (*WCT*), przewidywanej izolacyjności odzieży (*Iclp*) przy umiarkowanym wysiłku fizycznym (metabolizm = 135 Wm^{-2}) oraz wielkości ochładzającej powietrza (*H*) w rejonie Forlandsundet w okresie 21.07–31.08.2010 r. Oznaczenia stanowisk jak w tabeli 1. Opracowanie własne

Mean diurnal courses for wind chill temperature (*WCT*), cooling power (*H*) and predicted insulation of clothing (*Iclp*) at moderate physical activity (metabolic heat production = 135 Wm^{-2}) in the Forlandsundet area in the period 21 July–31 August 2010. For names of sites, see Table 1. Authors' own elaboration

Wielkość ochładzająca powietrza

Wskaźnik *H*, jak wspomniano we wstępie, jest przydatny w ocenie odczuć ciepłych ludzi uprawiających zajęcia ruchowe na wolnym powietrzu. Stwierdzono znaczne różnice odczucia ciepłego między poszczególnymi stanowiskami badawczymi w rejonie Forlandsundet latem 2010 r. Najłagodniejsze odczucia termiczne w skali M. Petroviča i S. Kacvinsky'ego stwierdzono w badanym regionie w trzeciej dekadzie sierpnia w SJ2 i na Lodowcu Waldemara (LW1



Ryc. 4. Częstość (%) poszczególnych charakterystyk biometeorologicznych określonych na podstawie temperatury ochładzania wiatrem (*WCT*), wielkości ochładzającej powietrza (*H*) i przewidywanej izolacyjności odzieży (*Iclp*) przy umiarkowanym wysiłku fizycznym (metabolizm = 135 Wm^{-2}) w regionie Forlandsundet w okresie 21.07–31.08.2010 r.

WCT – odczucia zimna: brak (0), niewielkie (-1) i umiarkowane (-2); *H* – odczucia ciepłne: 'łagodnie' (0), 'przyjemnie chłodno' (-1), 'chłodno' (-2), 'zimno' (-3), 'bardzo zimno' (-4), 'nieznośnie zimno i wietrznie' (-5); *Iclp* – środowisko termiczne: ciepłe (1), neutralne (0), chłodne (-1), zimne (-2)

Frequency of occurrence (%) of particular biometeorological characteristics described on the basis of wind chill temperature (*WCT*), cooling power (*H*) and predicted insulation of clothing (*Iclp*) at moderate physical activity (metabolic heat production = 135 Wm^{-2}) in the Forlandsundet area in the period 21 July–31 August 2010

WCT – cold sensations: lack (0), 'slight cool' (-1), 'cool' (-2); *H* – thermal sensations: 'neutral' (0), 'slightly cool' (-1), 'cool' (-2), 'cold' (-3), 'very cold' (-4), 'extremely cold and windy' (-5); *Iclp* – thermal conditions: warm (1), neutral (0), cool (-1), cold (-2)

Opracowanie własne. / Authors' own elaboration.

i LW2) (tab. 3). Najwięcej ciepła natomiast człowiek stracił w drugiej dekadzie sierpnia na całym obszarze, co było wynikiem jednoczesnego działania bardzo silnego wiatru i relatywnie niskiej temperatury powietrza (tab. 2).

Średni przebieg dobowy wielkości ochładzającej powietrza jest mało zróżnicowany i naśladuje głównie przebieg dobowy prędkości wiatru. Średnia amplituda dobowa wskaźnika H waha się od 111,0 Wm^{-2} na nadmorskim SAT do 379,2 Wm^{-2} na stanowisku górskim GF (ryc. 3). Na analizowanych punktach w ciągu doby najniższe uśrednione wartości H zanotowano przeważnie około godz. 6.00–7.00, natomiast najwyższe około godz. 16.00 (ryc. 3).

W analizowanym okresie porównawczym (21.07–31.08), w rejonie Forlandsundet przeważały (51%) warunki odczuwalności cieplnej z dyskomfortem zimnym ('zimno', 'bardzo zimno' oraz 'nieznośnie zimno i wietrznie'). Warunki z komfortem zimnym ($H > 1260,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) były najczęstsze (71%) w KH i SAT (ryc. 4), a najmniej ich notowano w stacji SJ2 (14%). Odwrotną sytuację obserwowano w rozkładzie przestrzennym warunków z sytuacjami komfortowymi ('łagodnie' i 'przyjemnie chłodno'). Komfort termiczny dla człowieka (określony wartościami H od 420,1 do 840,0 Wm^{-2}) występował od 12% w KH i SAT do 41% w SJ2. Jest to efekt dwukrotnie większych prędkości wiatru wiejących wzdłuż osi Cieśniny Forland m.in. w KH i SAT w porównaniu z obszarami osłoniętymi orograficznie (jak SJ2) lub stacjami na Lodowcu Waldemara.

Pośród wskaźników biometeorologicznych, na Spitsbergenie najczęściej analizowano wielkość ochładzającą powietrza. W 2010 r. w rejonie Forlandsundet np. w sierpniu na badanych stanowiskach panowały warunki odczuwalności cieplnej określane jako 'chłodno' i 'zimno'. Dla tego miesiąca podobne warunki notowano np.: w 1986 w Calypsobyen (Gluza, 1988), w Ny-Ålesundzie (1981–2000), w Svalbard Airport (1976–2000) i w Hornsundzie (1979–2000) (Araźny, 2008), na Lodowcu Werenskiölda w 1957 r. (Wójcik, 1963), na Kaffiøyra w 1979 (Marciniak, 1983) i 2005 r. (Araźny i Błażejczyk, 2007) i w Hornsundzie w 1979 (Szczepankiewicz-Szmyrka i Pereyma, 1992) i 2007–2008 r. (Araźny i inni, 2009, 2010).

Przewidywana izolacyjność odzieży

Do oceny bioklimatu w rejonie Forlandsundet z punktu widzenia zapotrzebowania na odzież gwarantującą człowiekowi komfort cieplny posłużono się wskaźnikiem przewidywanej izolacyjności odzieży dla człowieka poruszającego się z prędkością 4 km na godzinę. W sezonie letnim 2010 r. za odzież o optymalnych właściwościach izolacyjnych dla człowieka poruszającego się w terenie uznano odzież sezonów przejściowych około 1,5 clo (tab. 3). Największe (1,7 clo) przy tej formie aktywności fizycznej zapotrzebowanie na termoizolacyjność odzieży wystąpiło na całym badanym obszarze na stanowisku górskim Gråfjellet (tab. 3). Natomiast człowiek stojący do utrzymania komfortu termicz-

Tabela 3. Średnie wartości wskaźników biometeorologicznych w rejonie Forlandsundet w sezonie letnim 2010 r.

Mean values for biometeorological indices in the Forlandsundet area during the 2010 summer season

Wskaźnik <i>Index</i>	Stanowisko <i>Site</i>	11–20.07	21–31.07	1–10.08	11–20.08	21–31.08	21.07– 31.08
WCT (°C)	KH	4,4	3,3	2,9	1,4	2,9	2,7
	SAT	4,4	3,6	3,1	1,6	2,7	2,8
	ATA ^a	6,4	5,0	4,5	2,9	4,4	4,2
	GF ^b	2,2	0,6	0,8	-0,6	2,1	0,8
	LW1 ^a	5,8	4,9	4,9	3,0	4,5	4,3
	LW2 ^a	3,4	2,2	2,5	1,1	3,0	2,2
	PK3	6,0	4,7	4,1	3,1	4,6	4,2
	SJ2		6,0	5,6	3,7	4,8	5,0
H (Wm ⁻²)	KH	1514,9	1616,1	1657,7	1646,2	1303,7	1551,3
	SAT	1510,0	1576,7	1641,5	1674,5	1349,6	1555,9
	ATA ^a	897,8	1016,9	1100,3	1225,4	921,7	1061,5
	GF ^b	1522,8	1703,8	1626,9	1836,9	1232,9	1593,8
	LW1 ^a	915,9	990,5	946,4	1171,3	878,9	993,8
	LW2 ^a	1052,5	1074,9	1026,0	1104,1	872,4	1017,2
	PK3	1111,2	1254,6	1349,7	1299,1	962,1	1211,2
	SJ2		914,1	991,0	1051,6	814,8	939,1
Iclp (clo) M=135 Wm ⁻²	KH	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
	SAT	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6
	ATA ^a	1,3	1,4	1,5	1,6	1,5	1,5
	GF ^b	1,6	1,7	1,7	1,7	1,6	1,7
	LW1 ^a	1,4	1,5	1,5	1,6	1,5	1,5
	LW2 ^a	1,5	1,6	1,6	1,7	1,6	1,6
	PK3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,5	1,5
	SJ2		1,4	1,4	1,5	1,4	1,4

^a 13.07–31.08; ^b 14.07–31.08; WCT – temperatura ochładzania wiatrem / wind chill temperature; H – wielkość ochładzająca powietrza / cooling power; Iclp – przewidywana izolacyjność odzieży / predicted insulation of clothing; M – metabolizm / metabolic heat production.

Opracowanie własne. / Authors' own calculations.

nego potrzebowalby odzieży o dwukrotnie większej termoizolacyjności (Araźny, 2006, 2008). Wynika to z faktu, że metabolicznie wytwarzane ciepło przy tej aktywności ruchowej spada do 70 Wm⁻², czyli o około 100% w porównaniu z ilością produkowaną przez człowieka poruszającego się z prędkością 4 km godz⁻¹.

Największe chwilowe zapotrzebowanie na odzież gwarantującą człowiekowi komfort cieplny w ruchu na badanym obszarze dochodziło do 2,2 clo (ryc. 2).

Analizując średni przebieg dobowy przewidywanej izolacyjności odzieży dla człowieka przy umiarkowanym wysiłku fizycznym, stwierdzono niewielkie (0,1 clo) zmiany na wszystkich 8 stanowiskach (ryc. 3). Należy jednak pamiętać, że nawet tak małe wartości wskaźnika *Iclp* przekładają się na dodatkową warstwę izolacyjną odzieży dla człowieka (np. podkoszulek lub koszula).

Dla człowieka poruszającego się w terenie z prędkością 4 km godz.⁻¹ notowano dominację warunków środowiska termicznego określanego jako 'chłodne' – od 86% wszystkich przypadków w GF do 98% w SAT (ryc. 4). Warunki neutralne notowano na wszystkich stanowiskach (od 2% w SAT do 10% w ATA). Latem 2010 r. w okresie porównawczym, wystąpiły tylko 4 przypadki warunków określanych jako 'ciepłe' (w ATA i GF). Z pozostałych klas środowiska termicznego *Iclp* zanotowano jedynie warunki 'zimne' w GF (7%) i LW2 (1%).

Podsumowanie

W rejonie Forlandsundet (podobnie jak w innych rejonach Spitsbergenu) wykształcił się lokalny klimat oraz bioklimat związany m.in. z orografią terenu, zróżnicowanym podłożem (lodowce, tundra, sandry, moreny), cyrkulacją atmosferyczną itp. (Przybylak i inni, 2012). Okolice Forlandsundet można uznać za obszar silnie bodźcowy, ze względu na dużą dynamikę zmian m.in. temperatury powietrza, wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru.

W lecie 2010 r. wyraźnie ponad normę (w stosunku do okresów letnich 1975–2005) występowały typy z sektora północnego (ich anomalie wyniosły około 20% i 10% odpowiednio dla typu antycyklonalnego i cyklonalnego). W sezonie letnim 2010 r. szczególnie duże anomalie ujemne dotyczyły cyrkulacji o składowej wschodniej. Taki rodzaj cyrkulacji atmosferycznej był odpowiedzialny za wystąpienie chłodnego i bardzo wietrznego lata (Przybylak i inni, 2012).

Stwierdzono znaczne zróżnicowanie przestrzenne warunków biometeorologicznych w sezonie letnim 2010 r. Skrajne różnice między chwilowymi wartościami wskaźników biometeorologicznych wynosiły: 25,9°C dla temperatury ochładzania wiatrem, 3619,1 Wm⁻² dla wielkości ochładzającej powietrza i 1,5 clo dla przewidywanej termoizolacyjności odzieży (przy umiarkowanym wysiłku fizycznym). Najsilniejsze bodźce biotermiczne dla człowieka wystąpiły latem 2010 r. na stanowisku górskim Gråfjellet oraz w punktach nadmorskich: w okolicy Stacji Bazowej UMK w Kaffiøyra-Heggodden i na stanowisku Sarstangen. Najłagodniejsze bodźce natomiast stwierdzono w zacisznych, osłoniętych punktach (przy husie w St. Jonsfjord i na stanowisku ATA, położonym u czoła Lodowca Waldemara).

Piśmiennictwo

- Araźny A., 2006, *Variability of the predicted insulation index of clothing in the Norwegian Arctic for the period 1971–2000*, Polish Polar Research, 27, 4, s. 341–357.
- , 2008, *Bioklimat Arktyki Norweskiej i jego zmienność w okresie 1971–2000*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń.
- Araźny A., Błażejczyk K., 2007, *Warunki biometeorologiczne na Równinie Kaffiøyra i w regionie Lodowca Waldemara (NW Spitsbergen) w okresie od 16 lipca do 20 września 2005 r.*, [w:] R. Przybylak, M. Kejna, A. Araźny, P. Głowacki (red.), *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005–2006 w warunkach globalnego ocieplenia*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń, s. 67–87.
- Araźny A., Migala K., Sikora S., Budzik T., 2010, *Meteorological and biometeorological conditions in the Hornsund area (Spitsbergen) during the warm season*, Polish Polar Research, 31, 3, s. 217–238.
- Araźny A., Migala K., Sikora S., Budzik T., Puczko D., 2009, *Warunki meteorologiczne i biometeorologiczne w rejonie Hornsundu w ciepłej połowie roku 2007 i 2008*, Problemy Klimatologii Polarnej, 19, s. 203–222.
- Araźny A., Przybylak R., Kejna M., 2011, *Zróżnicowanie wilgotności względnej i opadów atmosferycznych w rejonie Forlandsundet (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 2010*, Problemy Klimatologii Polarnej, 21, s. 155–172.
- Bednorz E., Kolendowicz L., 2010, *Summer 2009 thermal and bioclimatic conditions in Ebba Valley, central Spitsbergen*, Polish Polar Research, 31, 4, s. 327–348.
- Bioklima 2.6, program komputerowy – www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/BioKlima.
- Burton A.C., Edholm O.G., 1955, *Man in a Cold Environment*, Edward Arnold Publisher, London.
- Gluza A.F., 1988, *Wyniki pomiarów ochładzania katatermometrycznego w lipcu i sierpniu 1986 r. w Calypsobyen (Zachodni Spitsbergen)*, [w:] XV Sympozjum Polarne, Wrocław, 19–21.05, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław, s. 207–211.
- Jankowiak J., Parczewski W. (red), 1978, *Bioklimat uzdrowisk polskich*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Kejna M., Przybylak R., Araźny A., Jankowska J., Maszewski R., Wyszyński P., 2010, *Warunki topoklimatyczne w sezonach letnich w rejonie Kaffiøyry (NW Spitsbergen) w latach 2005–2009*, Problemy Klimatologii Polarnej, 20, s. 63–81.
- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1997, *Bioklimatologia człowieka*, Monografie IGIPZ PAN, 1, Warszawa.
- Marciniak K., 1983, *Attempt of evolution of thermic conditions perceptible in summer at the Kaffiøyra (NW Spitsbergen)*, Acta Universitatis Nicolai Copernici, 18, Geografia, 56, Toruń, s. 125–145.
- Nelson C.A., Tew M., Phetteplace G., Schwerdt R., Maarouf A., Osczevski R., Bluestein M., Shaykewich J., Smarsh D., Derby J.C., Petty R.C., Berger M., Quayle R.G., Santee W.R., O'Lenic E., Lupo A. R., Browne K., 2002, *Joint development and implementation by the United States and Canada of a new Wind Chill Temperature (WCT) index*, [w:] 15th International Conference on Biometeorology and Aerobiology, Kansas City. *Proceedings*, s. 172–176.
- Przybylak R., Araźny A., 2005, *Porównanie warunków klimatycznych i bioklimatycznych północnej części Ziemi Oskara II z innymi obszarami zachodniego wybrzeża Spitsbergenu w okresie 1975–2000*, Problemy Klimatologii Polarnej, 15, s. 119–131.

- Przybylak R., Arażny A., Kejna M., Pospieszńska A., 2011, *Zróżnicowanie warunków termicznych w regionie Forlandsundet (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 2010*, Prace i Studia Geograficzne, 47, s. 451–462.
- Przybylak R., Arażny A., Kejna M. (red.), 2012, *Topoclimatic Diversity in the Forlandsundet Region (NW Spitsbergen) in Global Warming Conditions*, Turpress, Toruń.
- Sikora S., Arażny A., Budzik T., Migała K., Puczko D., 2010, *Warunki meteorologiczne i biometeorologiczne okolic Hornsundu (Spitsbergen Zachodni) w roku 2009*, Problemy Klimatologii Polarnej, 20, s. 83–101.
- Sikora S., Budzik T., Migała K., Puczko D., 2011, *Warunki meteorologiczne i biometeorologiczne południowo-zachodniego Svalbardu w 2010 roku*, Problemy Klimatologii Polarnej, 21, s. 213–228.
- Szczepankiewicz-Szmyrka A., Pereyma J., 1992, *Biometeorological conditions in Hornsund, in 1979–1980*, [w:] K.W. Opaliński, R.Z. Klekowski (red.), *Landscape, Life World and Man in High Arctic*, Institute of Ecology, Polish Academy of Science, Warszawa, s. 103–111.
- Wójcik G., 1963, *O wielkości ochładzania bioklimatologicznego na Spitsbergenie*, Biuletyn Komisji MRG, 1/32, Warszawa, s. 73–80.

[Wpłynęło: luty; poprawiono: czerwiec 2012 r.]

ANDRZEJ ARAŻNY

BIOMETEOROLOGICAL CONDITIONS IN THE FORLANDSUNDET AREA (NW SPITSBERGEN) FROM 11 JULY TO 31 AUGUST 2010

This paper describes the biometeorological conditions occurring in the area around Forlandsundet (NW Spitsbergen), the spatial differentiation to those conditions and the changes occurring over the summer season of 2010. Specifically, meteorological and biometeorological parameters were measured from 11 July to 31 August 2010, at 8 points in the Forlandsundet area. Analysis concerned hourly and daily data for air temperature (including daily maxima and minima), relative humidity and wind speed.

Spatial differentiation as regards meteorological and biometeorological conditions was studied in relation to elevation, ground cover and distance from the sea. During summer 2010, the highest means for air temperature were recorded on the coast of Prins Karls Forland (PK3, 4.5°C), while the coldest place was the firn field of the Waldemar Glacier (LW2, 1.6°C). In the analysed summer seasons, the highest average wind speeds (5.3 ms⁻¹) were recorded at the Kaffiøyra site (KH) and on the Sarstangen Peninsula (SAT). Higher values for relative humidity were recorded at sites located near the sea (SAT and SAO), or in the mountains, at a distance from the sea (Gråfjellet – GF). The indices used to define biometeorological conditions were in turn: cooling power (*H*), wind chill temperature (*WCT*) and predicted insulation of clothing (*Iclp*). Significant temporal and spatial differences for the indices studied were noted. The most severe stimuli were observed on the most-elevated mountain ridge (Gråfjellet – GF), and on the coast of Forlandsundet (at the Base Station – KH and on the Sarstangen Peninsula – SAT). Relatively mild conditions were noted during sunny hours.

