

WARUNKI BIOTERMICZNE W TATRACH POLSKICH

Sebastian Pełech

Biothermal conditions in the Polish Tatra Mountains

Abstract: The paper covers a study of biothermal conditions in the Polish Tatra Mountains using daily values of the Subjective Temperature Index (*STI*) from three weather stations: Zakopane (foot of the mountains), Hala Gąsienicowa (tree line) and Kasprowy Wierch (summits), recorded during the period 2001–2010. The paper discusses the frequency of various thermal sensations in individual months and seasons. Biothermal conditions were demonstrated to follow an expected vertical pattern of change resembling that of the fall in air temperature. The higher the altitude the fewer *STI* classes remained, from six at Zakopane to four at Kasprowy Wierch, the more frequent were the sensations of cold (“cold”, “cool”) and the less frequent those linked to warmth (“hot”, “very hot”). At Zakopane and Hala Gąsienicowa the dominant thermal sensation during the year was “cool” (44 and 45%, respectively), while “cold” dominated at Kasprowy Wierch (48%). Zakopane had the best biothermal conditions of the three stations with “cool”, “comfortable” and “warm” sensations, regarded as suitable for outdoor activities (sports and recreation) recorded throughout nearly all the year. At the opposite end of the scale were the conditions at Kasprowy Wierch, which had the highest number of days with the “cold” sensation, up to 70% on average in winter. These conditions require special clothing with a high thermal insulation factor and hand and face protection against potential frostbite.

Keywords: Subjective Temperature Index, biothermal conditions, Polish Tatra Mts.

Zarys treści: Warunki biotermiczne Tatr Polskich scharakteryzowano na podstawie codziennych wartości temperatury odczuwalnej (*STI*) na 3 stacjach meteorologicznych (Zakopane, Hala Gąsienicowa, Kasprowy Wierch) w latach 2001–2010. Omówiono częstość rodzajów odczucia cieplnego w poszczególnych miesiącach oraz porach roku. Wykazano, że wraz ze wzrostem wysokości spada liczba klas odczucia cieplnego (*STI*) od 6 w Zakopanem do 4 na Kasprowym Wierchu. Najkorzystniejszymi warunkami biotermicznymi cechuje się Zakopane, a najmniej

korzystnymi Kasprowy Wierch, gdzie występuje duża częstość dni z odczuciem „zimno” i „chłodno”. Wzrost częstości odczuć związanych z chłodem wraz z wysokością jest konsekwencją spadku temperatury powietrza.

Słowa kluczowe: temperatura odczuwalna, warunki biotermiczne, Tatry Polskie

Wprowadzenie

Badania bioklimatologiczne skupiają się na warunkach pogodowych i ich wpływie na organizm. W ostatnich latach coraz częściej stosuje się wskaźniki, w których uwzględnia się składniki bilansu cieplnego człowieka. Zwraca się przy tym uwagę na czynniki wpływające na stan homeostazy. Czynniki te dzieli się na środowiskowe i fizjologiczne. Pierwsze z nich wynikają z warunków pogodowych (m.in. temperatura powietrza, prędkość wiatru, wilgotność powietrza, promieniowanie słoneczne), a drugie stanowią reakcje organizmu na te warunki (m.in. wydzielanie potu, zmiany krążenia krwi). Wskaźnikiem, w którym uwzględniono zarówno czynniki pogodowe, jak i czynniki fizjologiczne kształtujące bilans cieplny człowieka, jest temperatura odczuwalna (*STI*). Temperaturę tę wykorzystano w tej pracy do opisu warunków biotermicznych Tatr Polskich.

Warunki biotermiczne w całej Polsce scharakteryzowali Krawczyk (1988) i Błażejczyk (2003). Istnieją także prace dotyczące obszarów górskich. Limanówka (1988) badała wpływ sytuacji synoptycznych na warunki bioklimatyczne w profilu wysokościowym Karpat. Obrębska-Starkłowa i Bąbka (1992) badały warunki bioklimatyczne Karpat Polskich na podstawie klasyfikacji Daniłowej, pod kątem aktywności rekreacyjnej na podstawie danych z Krakowa, Zakopanego, Hali Gąsienicowej i Kasprowego Wierchu. Bioklimat Tatr scharakteryzowali Błażejczyk i Kunert (2010). Celem ich badań było opisanie obciążeń cieplnych człowieka podczas letnich i zimowych wędrówek po Tatrach. Na podstawie danych meteorologicznych z Hali Gąsienicowej policzyli trzy wskaźniki biotermiczne: temperaturę odczuwaną fizjologicznie (*PST*), wskaźnik obciążeń cieplnych (*UTCI*) i wskaźnik przewidywanej termoizolacyjności odzieży (*Iclp*). Dokonali także oceny warunków pogodowych tego obszaru na potrzeby różnych form turystyki i rekreacji, wykorzystując biotermiczno-meteorologiczną klasyfikację pogody Błażejczyka (2005). Wyniki obliczeń uzupełnili o fizjologiczne reakcje i odczucia turystów badanych podczas wędrówek górskich. Zwrócili uwagę na procesy termoregulacji organizmu człowieka po wysiłku i wskazywali na okres zimowy jako szczególnie niebezpieczny ze względu na obciążenia cieplne.

W ostatnich latach do oceny warunków bioklimatycznych często wykorzystuje się temperaturę odczuwalną *STI*, opartą na analizie bilansu cieplnego człowieka. Podstawy metodyczne zastosowania *STI* jako elementu biotermiczno-meteorologicznej klasyfikacji pogody opisał Błażejczyk (2004, 2005). Wykorzystał ją do opisu

warunków bioklimatycznych dla celów turystyki i rekreacji w Warszawie. Warunki biotermiczne środkowozachodniej Polski na podstawie *STI* zbadali Mąkosza i Michalska (2010). Posługując się średnimi rocznymi wartościami *STI* wyznaczyli trendy zmian oraz przedstawili miesięczne i sezonowe częstości rodzaju odczucia ciepłego. Częstość klas odczucia według *STI* zbadali w Lublinie i Lesku Wereski i współpracownicy (2010). Zmienność warunków biotermicznych w Gdyni badała Owczarek (2007). Wykorzystała dane meteorologiczne z godziny 12 UTC do obliczenia *STI*, a następnie zbadła częstość poszczególnych subiektywnych rodzajów odczucia ciepłego oraz ich zmienność w wieloleciu 1951–2005. Wskaźnik *STI* posłużył również Chaborowi i Owczarek (2009) do oceny bioklimatu polskiego wybrzeża Bałtyku. Przeprowadzili oni analizę warunków kąpieliskowych w ciepłej połowie roku. Zaproponowali wskaźnik, w którym jest uwzględniona temperatura wody, średnia dobowa temperatura powietrza, wystąpienie opadu w ciągu dnia oraz wartość *STI*. Wykorzystując go, wyznaczyli sezony kąpieliskowe na polskim wybrzeżu oraz określili obszary o najlepszych warunkach do kąpieli. Błażejczyk i Sitek (2003) dokonali porównania odczucia ciepłego wyrażonego za pomocą *STI* z odczuciem badanych turystów w sezonie letnim w Tatrach. Wskaźnik *STI* policzyli na podstawie danych meteorologicznych z Hali Gąsienicowej i Kasprowego Wierchu, a badania ankietowe turystów przeprowadzili w Kuźnicach i na Kasprowym Wierchu w ciągu dwóch dni lipca. Stwierdzili, że rodzaje odczucia ciepłego według *STI* i odczucia ciepłe badanych turystów są w dużym stopniu podobne, a różnice, jakie wystąpiły, zależały głównie od rodzaju odzieży i indywidualnych cech organizmu (szybkości i intensywności procesów termoregulacji). Dowodzi to, że temperatura odczuwalna *STI* jest dobrym wskaźnikiem opisującym rodzaje odczucia ciepłego człowieka.

Celem tej pracy jest charakterystyka warunków biotermicznych w Tatrach Polskich na podstawie temperatury odczuwalnej *STI* w latach 2001–2010.

Materiały źródłowe i metody

Podstawą opracowania wskaźnika temperatury odczuwalnej *STI* są rzeczywiste reakcje termoregulacyjne człowieka. Gdy organizm jest poddany działaniu niskiej temperatury, termoreceptory skórne wiernie oddają odczucie zimna. Podczas działania gorąca odczucie ciepła jest zaburzone, ponieważ bezpośrednie otoczenie termoreceptorów jest „sztucznie” ochładzane przez parujący z powierzchni skóry pot. Uwzględnienie obniżonej w wyniku parowania potu temperatury skóry jest ważne przy prawidłowym obliczeniu bilansu wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem. Sygnały wysyłane z receptorów na skórze decydują o subiektywnych odczuciach ciepłych człowieka. Podczas odczuć zimna organizm reaguje zwężeniem naczyń krwionośnych w skórze, które ma na celu zmniejszenie strat ciepła. Podczas

odczuć ciepła następuje rozszerzenie naczyń krwionośnych, powodujące zwiększenie ilości ciepła oddawanego z powierzchni skóry. Nasilają się procesy wydzielania i parowania potu. Temperatura odczuwalna określa zatem warunki termiczne, jakie panują w otoczeniu receptorów ciepła i zimna w skórze człowieka. Wskaźnik *STI* (°C) jest wynikiem oddziaływania na te receptory tzw. średniej temperatury promieniowania (*Mrt*) i wynikowej wartości salda wymiany ciepła (S^*) (Błażejczyk 2004). Bilans wymiany ciepła wykorzystany przy obliczaniu *STI* został wyznaczony za pomocą modelu MENEX_2005 (Błażejczyk, Błażejczyk 2006). Uwzględnia się w nim następujące składniki: metaboliczną produkcję ciepła (*M*), bilans radiacyjny człowieka (*Q*), straty ciepła w wyniku parowania (*E*), wymianę ciepła przez unoszenie (*C*), straty ciepła w wyniku oddychania (*Res*). Szczegółowy opis składników bilansu i sposobu ich obliczania jest zawarty w pracy Błażejczyka i Kunert (2011) oraz w pliku pomocy programu BioKlima 2.6. Zyski ciepła dla organizmu pochodzą głównie z przemian metabolicznych oraz pochłoniętego promieniowania słonecznego. Straty ciepła są wynikiem parowania, oddychania, unoszenia, przewodzenia, promieniowania długofalowego i pracy mięśni. O tym, jakie zależności cechują te elementy, decydują warunki pogodowe, cechy osobnicze organizmu oraz termoizolacyjność odzieży. Odzież zabezpiecza organizm zarówno przed nadmiernymi stratami ciepła, jak i zbyt dużym dopływem promieniowania słonecznego do powierzchni skóry. W warunkach pogodowych cechujących się odczuciem zimna należy stosować odzież o termoizolacyjności powyżej 1,5 *clo* w celu zapobieżenia nadmiernym utratom ciepła. Obszary górskie charakteryzują się większym udziałem ciepła traconego przez drogi oddechowe. Straty przez unoszenie wynoszą 20–40%, a przez promieniowanie długofalowe 20–30%. Zmiany temperatury skóry w największym stopniu są zależne od temperatury powietrza i promieniowania pochłoniętego. Prędkość wiatru ma w warunkach górskich istotny wpływ na temperaturę skóry głównie w sezonie letnim, kiedy to większa powierzchnia ciała jest odsłonięta i przez to narażona na bezpośredni jego wpływ. Zimą przy odpowiednim ubiorze rola ta jest niewielka (2%), a najbardziej narażone są dłonie i twarz (Błażejczyk 1993). Badania Krawczyk (1993) wykazały istnienie różnicy w rocznym udziale poszczególnych elementów bilansu cieplnego człowieka między Zakopanem a Kasprowym Wierchem (12 UTC). Przy umiarkowanym wysiłku fizycznym w stanie komfortu termicznego na Kasprowym Wierchu jest większy o 10% udział strat ciepła jawnego, mniejszy o 3% udział strat ciepła utajonego przez parowanie, mniejszy o 8% udział strat ciepła przez promieniowanie długofalowe skóry i większy o 1% udział strat ciepła przez oddychanie.

W tym opracowaniu wyznaczono codzienne wartości temperatury odczuwalnej (*STI*) o godzinie 12 UTC (2001–2010). Podstawę do jej obliczenia stanowiły dane meteorologiczne (temperatura i wilgotność względna powietrza, prędkość wiatru, wielkość zachmurzenia), pochodzące ze Stacji Hydrologiczno-Meteorologicznej im. Józefa Fedorowicza w Zakopanem (49°17'38"N, 19°57'37"E, H=855 m n.p.m.), Stacji

Badań Specjalnych na Hali Gąsienicowej (49°14'39"N, 20°00'21"E, H=1520 m n.p.m.) oraz Wysokogórskiego Obserwatorium Meteorologicznego na Kasprowym Wierchu (49°13'57"N, 19°58'55"E, H=1991m n.p.m.). Na podstawie *STI* obliczono częstość dni z różnymi rodzajami odczucia cieplnego w każdym miesiącu i porach roku. Wykorzystano następującą skalę klas odczucia cieplnego człowieka (Błażejczyk 2004) *STI* (°C):

- <-38,0 – bardzo zimno
- 38,0 do -0,5 – zimno
- 0,4 do 22,5 – chłodno
- 22,6 do 32,0 – komfortowo
- 32,1 do 46,0 – ciepło
- 46,1 do 55,0 – gorąco
- >55,0 – bardzo gorąco

Częstość klas odczucia cieplnego

W rozpatrywanym 10-leciu 2001–2010 wystąpiło duże zróżnicowanie wartości temperatury odczuwalnej na badanych stacjach zarówno w ciągu roku, jak i w poszczególnych latach. Średnia roczna wartość *STI* z godziny 12 UTC w Zakopanem wyniosła 13,8°C, Hali Gąsienicowej 7,0°C, a Kasprowym Wierchu 0,5°C. Najniższa wartość *STI* wystąpiła na Kasprowym Wierchu i wyniosła -39,6°C (12 lutego 2004), na Hali Gąsienicowej wyniosła -30,5°C (również 12 lutego 2004), a w Zakopanem -29,6°C (3 stycznia 2002). Należy zaznaczyć, że w Polskich Karpatkach Zachodnich najniższe wartości temperatury minimalnej występują zwykle na obszarach położonych niżej w styczniu, a w partiach wyższych w lutym (Hess 1965). Skrajnie niskim wartościom *STI* na tym obszarze odpowiada odczucie ciepłe „zimno”, a w przypadku Kasprowego Wierchu „bardzo zimno”. Sytuacje takie są niekorzystne dla organizmu człowieka, który dąży wtedy do zwiększenia termoizolacyjności tkanki skórnej w celu zmniejszenia strat ciepła. Następuje wówczas zwiększenie ciśnienia krwi oraz drżenie mięśni. Przebywanie człowieka przy takiej pogodzie w otwartym terenie wymaga stosowania odpowiedniej odzieży i wzrostu aktywności fizycznej, która zwiększy produkcję ciepła metabolicznego. Najwyższa wartość *STI* wystąpiła w Zakopanem (11 czerwca 2010) i wyniosła 62,3°C. Na pozostałych stacjach wartości te wyniosły: 55,7°C na Hali Gąsienicowej (17 lipca 2007) i 49,0°C Kasprowym Wierchu (również 17 lipca 2007). Odczucie ciepłe przy tych warunkach pogodowych określono jako „bardzo gorąco” (Zakopane, Hala Gąsienicowa) i „gorąco” (Kasprowy Wierch). Warunki te skutkują uaktywnieniem mechanizmów termoregulacji mających na celu usunięcie jak największej ilości ciepła z organizmu. Następuje obniżenie ciśnienia tętniczego, zwiększenie tętna i nasilenie wydzielania potu. Duże różnice skrajnych

wartości *STI* między stacjami są wynikiem istotnej roli wysokości nad poziomem morza w kształtowaniu warunków termicznych.

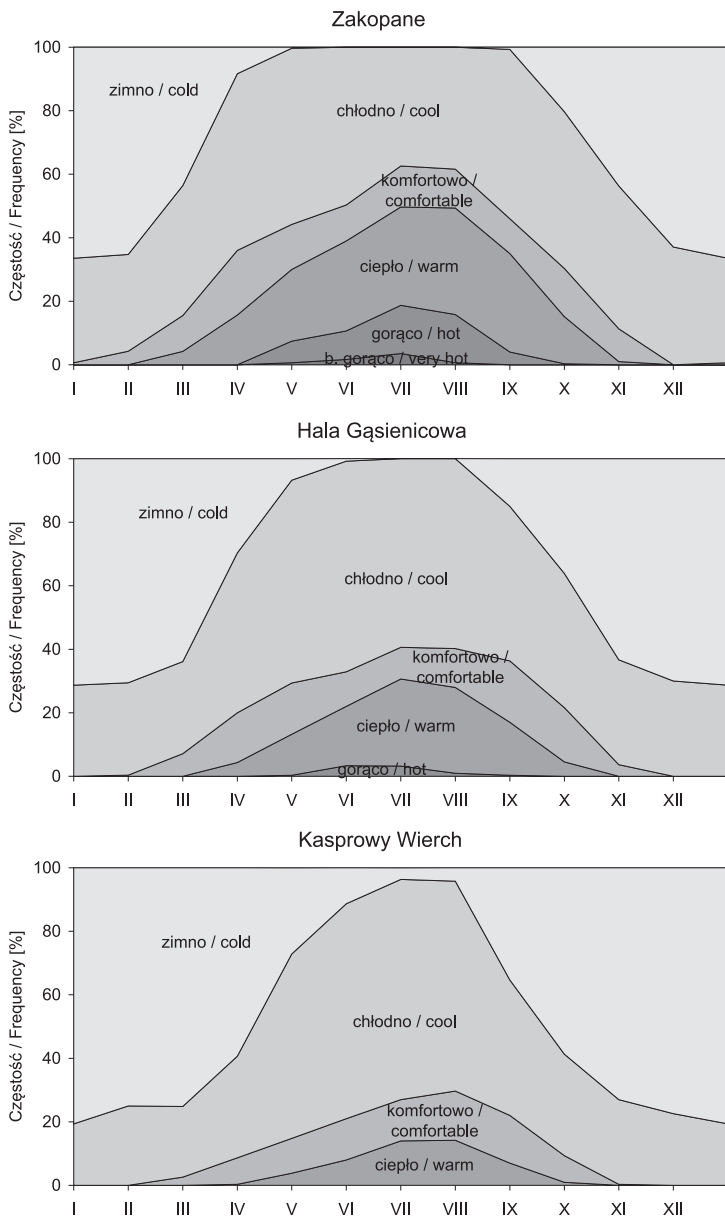
W ciągu całego okresu badań dominującymi rodzajami odczucia były „chłodno” i „zimno”. W Zakopanem i Hali Gąsienicowej najczęściej było odczucie „chłodno”, które stanowiło odpowiednio 44% i 45% dni w roku; na Kasprowym Wierchu było to odczucie „zimno” (48%). „Bardzo zimno” wystąpiło tylko w jednym dniu na Kasprowym Wierchu. Odczucie „bardzo gorąco” wystąpiło także tylko 1 raz na Hali Gąsienicowej, a w Zakopanem było 20 takich dni.

W Zakopanem odczucie „zimno” występowało najczęściej od grudnia do lutego (63–66%), nie występowało natomiast zupełnie od czerwca do sierpnia (ryc. 1). Odczucie „chłodno” pojawiało się we wszystkich miesiącach, od 30% w lutym do 66% w czerwcu. Odczucie „komfortowo” najczęściej było w kwietniu (20%). Od grudnia do lutego nie występowało odczucie „ciepło”, które dominowało od lipca do września (30–24%).

Odczucie „gorąco” pojawiało się tylko od maja do października, a najczęściej w lipcu i sierpniu (po 15%). Odczucie „bardzo gorąco” występowało jedynie od maja do sierpnia, z częstością od 1 do 4% (lipiec). W porównaniu z pozostałymi stacjami występują tutaj najłagodniejsze warunki biotermiczne. Jest najmniej dni z klasą odczucia „zimno”, a okres korzystny dla wypoczynku i turystyki jest najdłuższy.

Na Hali Gąsienicowej odczucie „zimno” najczęściej było od grudnia do lutego (70–71%). Często również występowało w marcu (64%) i listopadzie (63%), a miesiącami bez takich warunków były lipiec i sierpień. Odczucie „chłodno” występowało często we wszystkich miesiącach, szczególnie w cieplej połowie roku, od 29% w styczniu, lutym i marcu, do 68% w czerwcu. Warunki „komfortowo” były najczęściej odczuwane we wrześniu (21%), a miesiącami bez tego odczucia były grudzień i styczeń. Odczucie „ciepło” występowało jedynie od kwietnia do października, z największą częstością w sierpniu (34%). Odczucie „gorąco” występowało w pięciu miesiącach, z częstością 3% w czerwcu i lipcu, 1% w sierpniu oraz poniżej 1% w maju i wrześniu. W porównaniu z Zakopanem stacja ta odznacza się większym udziałem odczucia „chłodno”, a mniejszym „ciepło”. Okres z występowaniem odczucia „zimno” jest dłuższy niż w Zakopanem, a częstość odczucia „gorąco” jest znacznie mniejsza. Oznacza to, że istnieją tu lepsze warunki do dłuższego utrzymywania się pokrywy śnieżnej o grubości umożliwiającej uprawianie narciarstwa, a warunki do aktywnej turystyki pieszej w sezonie letnim są łagodniejsze dla organizmu. Na Hali Gąsienicowej nie zdarzają się dni z odczuciem „bardzo gorąco”.

Wyraźne zmiany częstości rodzaju odczucia zaznaczają się na Kasprowym Wierchu, położonym w partii szczytowej Tatr. Odczucie „zimno”, w odróżnieniu od niżej położonych stacji, występuje także w miesiącach letnich, co świadczy o surowości klimatu wysokogórskiego. Odczucie „ciepło” zdarza się rzadko, wyłącznie od kwietnia do października i stanowi wtedy nie więcej niż 10% dni, z największą częstością w lipcu



Ryc. 1. Częstość (%) rodzajów odczucia cieplnego według temperatury odczuwalnej (*STI*) w Tatrach Polskich (2001–2010)

Fig. 1. Frequency (%) of occurrence of thermal sensations according to the Subjective Temperature Index (*STI*) in the Polish Tatra Mts. (2001–2010)

i sierpniu (po 14%), podobnie jak odczucie „komfortowo” – o największej częstotliwości we wrześniu (16%). Pozostałe dni w roku są zdominowane przez klasy odczucia „chłodno” i „zimno”. Odczucie „zimno” najczęściej było w miesiącach zimowych, w tym najczęściej w styczniu (81%), a najrzadziej w lipcu i sierpniu (po 4%); jedynie w okresie od maja do września występowało rzadziej niż przez 50% dni. Częstością powyżej 50% dni z odczuciem „chłodno” odznaczał się okres od maja do sierpnia. Najczęściej odczucie to występowało w lipcu (69%), a najrzadziej w styczniu (19%). Surowe warunki biotermiczne, można uznać za niekorzystne dla uprawiania turystyki i rekreacji na tym terenie, jeśli nie zastosuje się odzieży o odpowiedniej termoizolacyjności. Warunki te, sprzyjają jak najbardziej turystyce narciarskiej, gdyż korzystnie wpływają na długotrwałe utrzymywanie się grubej pokrywy śnieżnej.

Różnice w częstotliwości rodzajów odczuć cieplnych są także widoczne, biorąc pod uwagę poszczególne poru roku. Wiosna w Zakopanem charakteryzuje się dominacją dni z odczuciem „chłodno”, których częstość wynosi 51% (tab. 1). Odczucia klas „zimno”, „komfortowo” i „ciepło” występują średnio z częstością kilkunastu procent (13–17%). Odczucie „gorąco” w tej porze roku zdarza się sporadycznie (średnio 2 dni). Dominującym odczuciem w lecie jest klasa odczucia „chłodno”, którego częstość wynosi 42%. Stosunkowo dużo jest także wtedy dni z odczuciem „ciepło” (14%), „komfortowo” (12%) i „gorąco” (13%). Zakopane jest jedyną stacją, na której latem nie występuje odczucie „zimno”. Jesienią (wrzesień–listopad) również zdarza się najwięcej rodzaju odczucia „chłodno” (49%). Znacznie mniej występuje dni z klasami odczucia „zimno”, „komfortowo” i „ciepło”, odpowiednio – 22, 12 i 16%. Zimą dominują rodzaje odczucia związane ze stresem chłodu, a nie występują te związane ze stresem ciepła. Najwięcej zdarza się dni z odczuciem „zimno” (59%), a klasa „chłodno” występuje średnio przez 33% dni.

Na Hali Gąsienicowej w sezonie wiosennym także dominuje rodzaj odczucia „chłodno”, które występuje średnio przez 48% dni. Częstość odczucia „zimno” stanowi 34%, „komfortowo” – 13%, a „ciepło” – 6%. Latem najczęściej występuje odczucie „chłodno” (62%). Odczucie „ciepło” zdarza się średnio przez 6% dni, klasa „komfortowo” przez 11%, a „gorąco” tylko przez 2 dni. Jesień jest porą roku o przewadze odczucia „chłodno” (41%) oraz „zimno” (38%). Odczucie „komfortowo” i „ciepło” występuje znacznie rzadziej, kolejno przez 13 i 7% dni. Zimą zdecydowanie dominują odczucia „zimno” oraz „chłodno”. Występują one odpowiednio z częstością 63 i 32% dni.

Kasprowy Wierch wyróżnia się w porze wiosennej przewagą dni z odczuciem „zimno”. W godzinach okołopołudniowych warunki te występują przez 54% dni. Często zdarzają się także odczucia „chłodno” (38%), a znacznie rzadziej „komfortowo” – 7%. Odczucia związane ze stresem ciepła w zasadzie nie występują. Latem dominują klasy odczucia „chłodno” (69%), a „zimno”, „komfortowo” i „ciepło”

Tab. 1. Częstość (%) rodzajów odczucia cieplnego według *STI* w porach roku w Tatrach Polskich (2001–2010)Table 1. Frequency (%) of occurrence of thermal sensations according to the Subjective Temperature Index (*STI*) in the Polish Tatra Mts. (2001–2010)

Odczucia/ Sensations	Zimno/ Cold	Chłodno/ Cool	Komfortowo/ Comfortable	Ciepło/ Warm	Gorąco/ Hot
Wiosna / Spring					
Zakopane	17	51	15	14	2
Hala Gąsienicowa	34	48	13	6	0
Kasprowy Wierch	54	38	7	1	0
Lato / Summer					
Zakopane	–	42	12	14	13
Hala Gąsienicowa	0	62	11	6	3
Kasprowy Wierch	6	69	14	1	0
Jesień / Autumn					
Zakopane	22	49	12	16	1
Hala Gąsienicowa	38	41	13	7	0
Kasprowy Wierch	56	34	8	3	-
Zima / Winter					
Zakopane	59	33	1	–	–
Hala Gąsienicowa	63	32	0	–	–
Kasprowy Wierch	69	28	–	–	–

zdarzają się przez 14, 6 i 1% dni. Jesienią ponownie przeważają dni z odczuciem „zimno”, którego częstość wynosi 56%. „Chłodno” występuje przez 34% dni, a pozostałe odczucia rzadziej niż w 10% dni. Zima jest porą roku o zdecydowanej dominacji odczucia „zimno”. Występuje ono przez 69% dni, a przez pozostałe dni przeważa odczucie „chłodno”.

Partie szczytowe gór charakteryzują się większym nadoceanizmem klimatu. Wraz z wysokością n.p.m. wzrasta natężenie promieniowania słonecznego, a jego różnica między stacjami położonymi na różnych wysokościach staje się coraz większa. Jest to szczególnie widoczne zimą. Równocześnie zwiększają się straty ciepła przez promieniowanie ziemi. Saldo promieniowania maleje wraz z wysokością aż do granicy wiecznego śniegu, gdzie spada gwałtownie i przyjmuje wartości ujemne. Skutkuje to dużym spadkiem temperatury na tych obszarach, która jest najważniejszą składową wskaźnika *STI*. Jest to głównym powodem wzrostu częstości klasy odczucia „zimno” w szczytowych partiach gór. Warunki termiczne są zróżnicowane również ze względu na ekspozycję terenu oraz nachylenie stoków.

Różnice w wartościach *STI* na poszczególnych stacjach są zgodne z pionowym gradientem temperatury powietrza. Największe gradienty temperatury występują wiosną, czemu sprzyja dłuższe utrzymywanie się pokrywy śnieżnej. U podnóża gór są największe w kwietniu, a wraz z wysokością przesuwają się na maj i czerwiec.

Małe gradienty występują wtedy, kiedy zimne powietrze zalega w zagłębieniach terenu. Może dojść do inwersji temperatury, czyli odwrócenia normalnego gradientu temperatury powietrza. Dochodzi wówczas do sytuacji, gdy na obszarach położonych niżej utrzymuje się niższa temperatura niż w tych położonych znacznie wyżej. Zjawisko takie najczęściej występuje zimą, ale może także się zdarzyć wiosną i jesienią, a rzadziej latem (Hess 1965). Sytuacje takie zdarzały się na badanym obszarze Tatr. Wartość *STI* w Zakopanem była niższa niż na Hali Gąsienicowej przez 9% dni całego okresu badań i niższa niż na Kasprowym Wierchu przez 5%, a na Hali Gąsienicowej przez 6% dni niż na Kasprowym Wierchu.

Na różnice w wartościach *STI* wpływ ma także prędkość wiatru; według Hessa (1965) średnia roczna prędkość wiatru zwiększa się trzykrotnie od podnóża do partii szczytowej Karpat. Wilgotność względna także wzrasta, ale tylko do poziomu kondensacji pary wodnej, który jest zmienny zależnie od pory roku i temperatury powietrza. Ma to odzwierciedlenie w wielkości zachmurzenia, która wzrasta wraz z wysokością aż do poziomu występowania chmur, a powyżej którego maleje. Wszystkie te prawidłowości kształtują indywidualność klimatu poszczególnych partii górskich, wpływając bezpośrednio na odczucie cieplne człowieka.

Podstawową cechą tych obszarów jest duża zmienność pogody, która decyduje o wpływie warunków pogodowych na działalność turystyczną i rekreacyjną, stanowiącą główny cel przyjazdu ludzi na ten obszar. Można uznać, że aktywności fizycznej na terenach górskich sprzyjają odczucia „chłodno”, „komfortowo” i „ciepło”. Odczucie „zimno” może być niekorzystne, jeżeli używa się odzieży o zbyt małej termoizolacyjności, a „gorąco” i „bardzo gorąco” – przy zbyt dużej termoizolacyjności odzieży i nadmiernym wysiłku fizycznym. Ogólnie najkorzystniejsze warunki występują w Zakopanem, gdzie jest najmniej dni z odczuciem „zimno”, najwięcej z odczuciem „komfortowo”, „chłodno” i „ciepło”. Należy podkreślić, że odniesienie się jedynie do samych warunków biotermicznych (*STI*) nie jest wystarczające do oceny przydatności pogody do celów turystyki i rekreacji, ale stanowi jedynie opis ogólnych subiektywnych odczuć cieplnych człowieka. Analizę należy uzupełnić między innymi danymi dotyczącymi opadów i grubości pokrywy śnieżnej, które odgrywają dużą rolę zwłaszcza na obszarach górskich.

Podsumowanie

Uwzględnione stacje reprezentują środowisko Tatr: od Zakopanego – podnóże gór przez Halę Gąsienicową – górną granicę lasu do Kasprowego Wierchu (partię szczytową). Na tym obszarze występuje zmiana warunków biotermicznych w profilu wysokościowym. Wraz ze wzrostem wysokości spada liczba klas odczucia cieplnego (*STI*) od 6 w Zakopanem do 4 na Kasprowym Wierchu. Częściej występują rodzaje odczucia związane z chłodem („zimno”, „chłodno”), a rzadziej – „gorąco” i „bardzo gorąco”. Podobne wyniki otrzymały Limanówka (1988) oraz Obrębska-Starkłowa i Bąbka (1992), które dowiodły, że wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza wzrasta częstość stanów obciążenia chłodem, a największe różnice występują w sierpniu, kiedy w piętrze klimatycznym bardzo chłodnym odczucie „za zimno” (klasyfikacja Daniłowej) pojawia się 5 razy częściej niż w piętrze umiarkowanie ciepłym. W wypadku odczuwalności według *STI* również widoczna jest różnica częstości występowania odczucia „zimno”, głównie w przejściowych porach roku. Okresy z dominacją tego odczucia zaczynają się wcześniej i trwają dłużej na Kasprowym Wierchu niż w Zakopanem. Ich częstość na Kasprowym Wierchu w kwietniu wynosi blisko 60%, podczas gdy w Zakopanem 8%, w październiku odpowiednio 36% i 2%. Należy podkreślić, że w miesiącach letnich klasa odczucia „zimno” występuje tylko na Kasprowym Wierchu (4–11%). Odwrotna sytuacja występuje w przypadku odczuć „gorąco” i „bardzo gorąco”, które na tej stacji w ogóle nie występują. Na badanym obszarze wyraźnie dominują odczucia „chłodno” i „zimno”. Najwyższą wartość temperatury odczuwalnej *STI* stwierdzono w Zakopanem (62,7°C); na Hali Gąsienicowej wyniosła ona 55,7°C, a Kasprowym Wierchu 49°C.

Najkorzystniejszymi warunkami biotermicznymi odznacza się Zakopane, gdzie w ciągu niemal całego roku występują odczucia „chłodno”, „komfortowo” i „ciepło”. Warunki te nie wpływają negatywnie na organizm człowieka i są odpowiednie do prowadzenia aktywności fizycznej (sportu, rekreacji). Niekorzystne mogą być natomiast, zwłaszcza przy intensywnym wysiłku fizycznym, warunki z odczuciami „gorąco” i „bardzo gorąco”, które zdarzają się tam w miesiącach letnich.

Szczególnie niekorzystne warunki panują na Kasprowym Wierchu, gdzie występuje najwięcej dni z odczuciem „zimno”; w zimie jest ich średnio 70%. Warunki takie wymagają szczególnego ubioru o dużej termoizolacyjności oraz ochrony dłoni i twarzy, gdyż może zaistnieć ryzyko odmrożenia nieosłoniętych części ciała.

Literatura

- BioKlima ©2.6. Pakiet programu, www.igipz.pan.pl/klimatr/blaz/bioklima.html (dostęp: 10 września 2012)
- Błażejczyk K., 1993, *Wymiana ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem w różnych warunkach środowiska geograficznego*, Prace Geograficzne, 159.
- Błażejczyk K., 2003, *Bi termiczne cechy bioklimatu Polski*, Przegląd Geograficzny, 75, 4, 535–554.
- Błażejczyk K., 2004, *Bioklimatyczne uwarunkowania turystyki i rekreacji w Polsce*, Prace Geograficzne IGIPZ PAN, 192.
- Błażejczyk K., 2005, *Bi termiczno-meteorologiczna klasyfikacja pogody jako narzędzie oceny warunków bioklimatycznych* [w:] Z. Babiński (red.), *Środowisko przyrodnicze w badaniach geografii fizycznej*, Promotio Geografica Bydgosiensia, 2, 89–127.
- Błażejczyk K., Błażejczyk M., 2006, *MENEX_2005 - the updated version of man-environment heat exchange model*, http://www.igipz.pan.pl/tl_files/igipz/ZGiK/opracowania/indywidualne/blazejczyk/MENEX_2005.pdf. (dostęp: 10 września 2012)
- Błażejczyk K., Kunert A., 2010, *Obciążenie cieplne organizmu człowieka podczas letnich i zimowych wędrowek po Tatrach* [w:] Z. Krzan (red.), *Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem*, Materiały IV Konferencji nt. „Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a Człowiek”, 14–16.10.2010, Zakopane, t. III, Nauki o Ziemi, TPN-PTPNoZ, Zakopane, 61–68.
- Błażejczyk K., Kunert A., 2011, *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*, 2 wyd., Monografie IGIPZ PAN, 13.
- Błażejczyk K., Sitek M., 2003, *La température ressentie par les touristes en montagne en été*, [w:] K. Błażejczyk, A. B. Adamczyk (red.), *Les relations Climat-Homme-Climat*, Dokumentacja Geograficzna 29, 61–64.
- Chabior M., Owczarek M., 2009, *Ocena warunków kąpieliskowych polskiego wybrzeża Bałtyku*, *Balneologia Polska*, 51, 2 (116), 148–155.
- Hess M., 1965, *Piętra klimatyczne w Polskich Karpatach Zachodnich*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 11.
- Krawczyk B., 1988, *Uciążliwość warunków bi termicznych w Polsce*, Problemy Uzdrawiskowe, 9–10, 83–93.
- Krawczyk B., 1993, *Typologia i ocena bioklimatu Polski na podstawie bilansu cieplnego człowieka*, Prace Geograficzne, 160.
- Limanówka D., 1988, *Wpływ sytuacji synoptycznych na zróżnicowanie wybranych wskaźników bioklimatycznych w profilu wysokościowym Karpat*, Maszynopis w Zakładzie Klimatologii UJ.
- Mąkosza A., Michalska B., 2010, *Ocena warunków bi termicznych w Polsce środkowozachodniej na podstawie temperatury odczuwalnej (STI)*, *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis*, 279 (15), 53–62.
- Obrębska-Starkłowa B., Bąbka M., 1992, *Cechy bioklimatu Karpat Polskich (w świetle typów pogód dla potrzeb rekreacji)*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 90, 113–145.

- Owczarek M., 2007, *Zmienność warunków biotermicznych w Gdyni (1951–2005)*, [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, IGiGP UJ, 297–305.
- Wereski S., Dobek M., Wereski S., 2010, *Częstość występowania poszczególnych odczuć ciepłych w Lublinie i w Lesku na podstawie temperatury odczuwalnej (STI) w latach 1991–2005*, [w:] A. Rychling (red.), *Krajobrazy rekreacyjne – kształtowanie, wykorzystanie, transformacja*, *Problemy Ekologii Krajobrazu*, 27, 371–377.

Sebastian Pelech

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej

Uniwersytet Jagielloński

ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków

e-mail: sebastian.pelech@uj.edu.pl

