

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
IM. STANISŁAWA LEŚCZYCKIEGO

Krzysztof Błażejczyk
Anna Kunert

BIOKLIMATYCZNE UWARUNKOWANIA REKREACJI I TURYSTYKI W POLSCE



MONOGRAFIE

INSTYTUT GEOGRAFII
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
IM. STANISŁAWA LESZCZYCKIEGO
PAN

POLISH ACADEMY OF SCIENCES
STANISŁAW LESZCZYCKI INSTITUTE OF GEOGRAPHY
AND SPATIAL ORGANIZATION
MONOGRAPHS, 13

Krzysztof Błażejczyk
Anna Kunert

BIOCLIMATIC PRINCIPLES
OF RECREATION AND TOURISM
IN POLAND

2nd edition
changed and completed



WARSZAWA 2011

<http://rcin.org.pl>

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
IM. STANISŁAWA LESZCZYCKIEGO
MONOGRAFIE, 13

Krzysztof Błażejczyk
Anna Kunert

**BIOKLIMATYCZNE UWARUNKOWANIA
REKREACJI I TURYSTYKI
W POLSCE**

Wydanie 2
poprawione i uzupełnione



WARSZAWA 2011

<http://rcin.org.pl>

Redakcja: prof. dr hab. Leszek Starkel
prof. dr hab. Teresa Kozłowska-Szczęsna
prof. dr hab. Piotr Korcelli

Opinia wydawnicza:
prof. dr hab. Teresa Kozłowska-Szczęsna
prof. dr hab. Krzysztof Fortuniak

PL ISSN 1643-2312
ISBN 978-83-61590-47-7

Fotografie na okładce:
Anna Kunert, Krzysztof Błażejczyk

Opracowanie redakcyjne: Ludmiła Kwiatkowska
Skład, łamanie: Aleksandra Deręgowska

© Copyright by Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN
im. Stanisława Leszczyckiego, Warszawa 2011

Druk i oprawa: Drukarnia Klimiuk
ul. Foksal 11, 00-372 Warszawa

<http://rcin.org.pl>

SPIS TREŚCI

Przedmowa.....	9
I. WIADOMOŚCI WSTĘPNE.....	11
1. Wprowadzenie	11
2. Bodźce klimatyczne	13
2.1. Zespół bodźców fizycznych	15
2.1.1. Bodźce radiacyjne	15
2.1.2. Bodźce termiczno-wilgotnościowe	16
2.1.3. Bodźce mechaniczne	17
2.1.4. Bodźce elektryczne.....	17
2.1.5. Bodźce akustyczne.....	18
2.2. Zespół bodźców chemicznych.....	18
2.3. Zespół bodźców biologicznych	19
II. METEOROLOGICZNE PODSTAWY REKREACJI I TURYSTYKI.....	23
3. Znaczenie poszczególnych elementów pogody dla rekreacji i turystyki	24
3.1. Promieniowanie słoneczne	24
3.1.1. Promieniowanie UV.....	28
3.1.2. Promieniowanie widzialne.....	37
3.1.3. Promieniowanie podczerwone	42
3.2. Promieniowanie długofalowe.....	46
3.3. Usłonecznienie	47
3.3.1. Usłonecznienie rzeczywiste	48
3.3.2. Usłonecznienie względne	49
3.4. Zachmurzenie	49
3.5. Temperatura powietrza	51
3.6. Wilgotność powietrza	52
3.7. Ruch powietrza.....	56
3.8. Ciśnienie atmosferyczne	57
3.9. Zjawiska meteorologiczne	58

4. Analiza warunków pogodowych jako podstawa oceny klimatu dla rekreacji i turystyki	62
4.1. Klasyfikacje warunków pogodowych	62
4.1.1. Klasyfikacje biosynoptyczne	63
4.1.2. Biometeorologiczne typologie pogody	63
4.1.3. Diagram informacji klimatyczno-turystycznej (CTIS).....	65
4.1.4. Klimatyczny wskaźnik dla turystyki (CIT).....	66
4.1.5. Lokalne oznaki pogody	68
4.2. Biotermiczno-meteorologiczna klasyfikacja pogody.....	68
4.2.1. Podstawy klasyfikacji	72
4.2.2. Typy pogody	72
4.2.3. Podtypy pogody	74
4.2.4. Klasy pogody	75
4.2.5. Kalendarz warunków pogodowych	78
III. FIZJOLOGICZNE PODSTAWY REKREACJI I TURYSTYKI.....	81
5. Gospodarka cieplna organizmu	81
5.1. Ogólny model bilansu cieplnego człowieka	82
5.2. Źródła ciepła dla organizmu.....	82
5.2.1. Metaboliczna produkcja ciepła	82
5.2.2. Pochłonięte promieniowanie słoneczne	87
5.3. Transport ciepła wewnątrz organizmu	95
5.4. Oddawanie ciepła do otoczenia.....	96
5.4.1. Parowanie (<i>E</i>)	96
5.4.2. Oddychanie (<i>Res</i>)	99
5.4.3. Unoszenie (<i>C</i>)	99
5.4.4. Przewodzenie (<i>Kd</i>)	103
5.4.5. Promieniowanie długofalowe (<i>L</i>)	103
5.5. Saldo wymiany ciepła (<i>S</i>)	103
5.6. Mechanizmy regulacji temperatury ciała.....	105
5.6.1. Termoregulacja w środowisku zimnym.....	108
5.6.2. Termoregulacja w środowisku gorącym	111
5.7. Znaczenie skóry w wymianie ciepła.....	114
5.8. Znaczenie odzieży w wymianie ciepła.....	116
6. Gospodarka wodna i mineralna organizmu	118
IV. METODY OCENY WARUNKÓW BIOKLIMATYCZNYCH DLA REKREACJI I TURYSTYKI	123
7. Wskaźniki biometeorologiczne	123
7.1. Wskaźniki wyznaczane metodami pomiarowymi	124
7.2. Wskaźniki zespołowe, wyznaczone metodami obliczeniowymi...	126
7.2.1. Wskaźnik ochładzania wiatrem (<i>WCI</i>)	128
7.2.2. Temperatura ochładzania wiatrem (<i>WCT</i>).....	130
7.2.3. Wskaźnik <i>Humidex</i>	132
7.2.4. Temperatura efektywna (<i>TE</i>)	134
7.2.5. Temperatura radiacyjno-efektywna (<i>TRE</i>)	137

7.2.6.	Ekwiwalent temperatury standardowej (<i>SST</i>)	139
7.2.7.	Częstotliwość tętna (<i>HR</i>) i dopuszczalny poziom aktywności fizycznej (<i>MHR</i>)	139
7.2.8.	Przewidywana termoizolacyjność odzieży (<i>Iclp</i>)	142
7.2.9.	Zawartość tlenu w powietrzu (<i>Ov</i>)	143
7.2.10.	Wskaźnik <i>WBGT</i>	144
7.2.11.	Temperatura pozorna (<i>AT</i>)	145
8.	Wskaźniki biotermiczne.....	147
8.1.	Modele proste bilansu cieplnego człowieka.....	147
8.1.1.	MENEX_2005 – kompleksowy model wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem	150
8.2.	Modele wielowęzłowe bilansu cieplnego człowieka.....	152
8.2.1.	Model Fiali	153
8.3.	Przegląd wskaźników biotermicznych.....	155
8.3.1.	Stres termofizjologiczny (<i>PhS</i>).....	156
8.3.2.	Temperatura odczuwana fizjologicznie (<i>PST</i>)	159
8.3.3.	Straty wody (<i>SW</i>).....	161
8.3.4.	Ryzyko wychłodzenia lub przegrzania organizmu.....	161
8.3.5.	Uniwersalny wskaźnik obciążeń cieplnych (<i>UTCI</i>).....	164
8.3.6.	Uproszczona formuła uniwersalnego wskaźnika obciążeń cieplnych (<i>UTCI*</i>)	172
8.3.7.	Wskaźnik stresu cieplnego (<i>HSI</i>).....	174
8.3.8.	Ryzyko odmrożenia (<i>FR</i>)	175
9.	Wskaźniki bioklimatyczne	176
9.1.	Wskaźnik klimatyczno-turystyczny (<i>TCI</i>)	176
9.2.	Wskaźniki kontrastowości bioklimatu	180
9.2.1.	Wskaźnik kontrastowości warunków bioklimatycznych (<i>BCI</i>).....	181
9.3.	Ocena przydatności pogody do różnych form rekreacji (<i>WSI</i>) ...	183
9.4.	Kompleksowy wskaźnik oceny pogody dla rekreacji (<i>WRI</i>)	186
V.	WARUNKI BIOKLIMATYCZNE POLSKI A MOŻLIWOŚĆ REKREACJI I TURYSTYKI	191
10.	Regionalne zróżnicowanie bodźców klimatycznych	191
10.1.	Bodźce radiacyjne	193
10.2.	Bodźce termiczno-wilgotnościowe	198
10.3.	Bodźce mechaniczne	207
10.4.	Zjawiska meteorologiczne	213
11.	Regionalne zróżnicowanie warunków pogodowych	222
11.1.	Główne cechy warunków pogodowych	222
11.1.1.	Typy pogody.....	222
11.1.2.	Podtypy pogody.....	223
11.1.3.	Klasy pogody	236
11.2.	Przydatność pogody do różnych form rekreacji (<i>WSI</i>)	244
11.3.	Ogólna ocena warunków pogodowych dla rekreacji (<i>WRI</i>).....	247
11.4.	Diagram informacji klimatyczno-turystycznej (<i>CTIS</i>).....	249

12. Regionalne zróżnicowanie warunków biotermicznych	253
12.1. Temperatura odczuwana fizjologicznie (<i>PST</i>)	253
12.2. Obciążenia cieplne	257
12.2.1. Stres cieplny organizmu (<i>HSI</i>)	257
12.2.2. Stres termofizjologiczny (<i>PhS</i>).....	263
12.2.3. Obciążenia cieplne organizmu (<i>UTCI</i>)	266
13. Zakończenie	272
LITERATURA	275
ZAŁĄCZNIKI	297
A. Szczegółowe algorytmy modelu wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem MENEX_2005	297
B. Wskaźniki oceny pogody (<i>WSI</i>) dla różnych form aktywności człowieka	306
BIOCLIMATIC PRINCIPLES OF RECREATION AND TOURISM IN POLAND (summary).....	323
Spis tabel	327
Spis rycin i fotografii	333
Wykaz symboli	349
Wykaz wzorów	356
Skorowidz rzeczowy.....	358
CONTENTS	363

Przedmowa

Pierwsze wydanie opracowania pt. „Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce”, przygotowane przez K. Błażejczyka, ukazało się w 2004 r., jako nr 192 serii Prace Geograficzne IGiPZ PAN. Nakład wyczerpał się szybko, a do redakcji napływały pytania, czy planowany jest jego dodruk. Autor doszedł jednak do wniosku, że dodruk jest nieodpowiednim sposobem reakcji na pytania czytelników. W ostatnim siedmioleciu powstały bowiem nowe metody i wskaźniki, które mogą być stosowane w badaniach relacji 'klimat–rekreacja–turystyka'. Poszerzyła się także nasza wiedza na temat oddziaływania środowiska atmosferycznego na człowieka.

Dlatego postanowiono przygotować nowe wydanie dzieła. Do współpracy przy tworzeniu obecnej monografii zaproszono mgr Annę Kunert. W wyniku uwag czytelników pierwszego wydania oraz własnych przemyśleń zmieniono układ poszczególnych rozdziałów. Dzięki temu łatwiejsze będzie znalezienie interesujących czytelnika zagadnień. W książce znalazły się obszernie fragmenty wcześniejszego opracowania, odnoszące się do podstaw meteorologicznych i termofizjologicznych rekreacji i turystyki. Uzupełniają je opisy nowych metod i nowe materiały obserwacyjne, powstałe po roku 2004. Zarówno dotychczasowe, jak i nowe metody zostały zastosowane do oceny warunków bioklimatycznych w regionach bioklimatycznych Polski.

Autorzy mają nadzieję, że prezentowana książka pozwoli rozwinąć badania bioklimatyczne w Polsce. Przyczyni się to do racjonalnego wykorzystania zasobów klimatu w Polsce do rekreacji i turystyki.

Krzysztof Błażejczyk, Anna Kunert

Warszawa, 2011

I. WIADOMOŚCI WSTĘPNE

1. Wprowadzenie

Rekreacja i turystyka są bardzo ważnym składnikiem życia, zarówno poszczególnych osób, jak i różnych grup społecznych, gdyż zaspokajają one trzy istotne potrzeby człowieka: poznawania otaczającego nas świata, regeneracji organizmu i profilaktyki zdrowotnej. Dlatego z roku na rok wzrasta liczba osób korzystających z różnych form spędzania wolnego czasu.

Mianem rekreacji określa się wszelkie formy spędzania przez człowieka czasu wolnego. Mówiąc inaczej, rekreacja obejmuje te formy aktywności, które mają przynieść człowiekowi zadowolenie i odprężenie. Toteż w każdej kulturze w historii ludzkości istniał obyczaj rekreacji. Nie była ona obca żadnemu z zakonów chrześcijańskich, które sprowadziły ją – obok modlitwy i pracy – do codziennych obowiązków zakonników. Samo słowo rekreacja składa się z dwóch części re- i kreacja. Przedrostek re- odnosi się do ponownego podejmowania jakiejś czynności, a kreacja oznacza tworzenie czegoś. Rekreacja jest więc niejako ponownym tworzeniem własnego organizmu, jego sił i sprawności psychofizycznej.

Mianem turystyki określa się natomiast praktykę podróżowania – zbiorowego lub indywidualnego – poza miejsce stałego zamieszkania oraz wędrowek po obcym terenie, mających cele krajoznawcze lub rekreacyjne.

Na możliwość korzystania z rekreacji i turystyki składa się wiele czynników – począwszy od kosztów, poprzez podstawową infrastrukturę, aż po odpowiednią organizację i logistykę. W przypadku tych form rekreacji i turystyki, które wiążą się z przebywaniem człowieka na wolnym powietrzu należy uwzględnić kolejny czynnik, jakim są warunki pogodowe. Można powiedzieć, że pogoda i klimat są zasobami naturalnymi wykorzystywanymi w rekreacji i turystyce. W bardzo wielu przypadkach czynnik pogodowy jest tym, co uniemożliwia przebywanie człowieka poza pomieszczeniami zamkniętymi. Z drugiej strony, niedostateczna wiedza o wpływie warunków biometeorologicznych na organizm człowieka sprawia, że nie potrafimy dostatecznie i należycie wykorzystać wszystkich walorów otaczającego nas środowiska.

W odniesieniu do problemów planowania rekreacji i ruchu turystycznego (proponowane regiony i okresy pobytu), niezbędna jest wiedza o typowych dla danego obszaru i okresu stanach atmosfery, obserwowanych w długim czasie. Bioklimat – a więc klimat rozpatrywany z perspektywy jego oddziaływania na organizmy żywe, w tym także człowieka – jest jedną z cech środowiska geograficznego danego obszaru. Bioklimat jest kształtowany przez globalne i regionalne czynniki radiacyjne oraz cyrkulacyjne, które na badanym obszarze ulegają modyfikacjom – niekiedy znacznym – spowodowanym przez lokalne czynniki środowiska geograficznego (np. rzeźbę terenu, szatę roślinną, rodzaj podłoża, stopień urbanizacji terenu).

Aby efektywnie korzystać w rekreacji i turystyce z zasobów klimatu konieczna jest także wiedza na temat oddziaływania różnych fizycznych cech atmosfery na organizm człowieka. Rodzaj i intensywność tych oddziaływań często decyduje o tym, czy oczekiwany efekt odpoczynku i regeneracji wystąpi, czy też pobyt w danym miejscu i czasie spowoduje dodatkowy, niepożądany stres dla organizmu.

Wszystko to powoduje, że w społeczeństwach dostrzega się wyraźny wzrost zainteresowania zagadnieniami bioklimatycznymi, nie tylko w odniesieniu do zagadnień naukowych, ale także z punktu widzenia konkretnych osób. Niektóre informacje bioklimatyczne (np. o usłonecznieniu, temperaturze powietrza czy opadach) są wykorzystywane w folderach turystycznych, choć najczęściej mówią one tylko o pozytywnych aspektach klimatu, skrętnie pomijając wszelkie jego elementy, które stanowią ograniczenia dla rekreacji i turystyki.

Prezentowana książka jest efektem wieloletnich doświadczeń autorów związanych z badaniem wpływu warunków atmosferycznych na organizm oraz na kształtowanie warunków bioklimatycznych. Zawiera podsumowanie stanu wiedzy w tej dziedzinie, przedstawiając najnowsze propozycje metodyczne w odniesieniu do zagadnień związanych z badaniami relacji pomiędzy warunkami klimatycznymi i bioklimatycznymi a rekreacją i turystyką.

Monografia podzielona jest na 4 główne części, poprzedzone obszernym wstępem, w którym ogólnie scharakteryzowano bodźce atmosferyczne oddziałujące na organizm człowieka.

Część pierwsza zawiera omówienie klimatycznych uwarunkowań rekreacji i turystyki. Przedstawiono tu rolę poszczególnych elementów klimatu (promieniowania słonecznego, usłonecznienia, zachmurzenia, temperatury i wilgotności powietrza, wiatru, ciśnienia i zjawisk meteorologicznych) oraz stanów pogody w korzystaniu z różnych form wypoczynku i turystyki.

Część druga dotyczy fizjologicznych podstaw rekreacji i turystyki. Zawiera ona informacje, jakie reakcje fizjologiczne zachodzą w organizmie człowieka pod wpływem bodźców atmosferycznych. Skoncentrowano się na uwarunkowaniach gospodarki cieplnej, wodnej i mineralnej podczas przebywania w terenie otwartym przy różnej aktywności fizycznej.

W części trzeciej zebrano metody służące do oceny warunków bioklimatycznych. Obejmują one wskaźniki biometeorologiczne i biotermiczne oraz wskaźniki bioklimatyczne. Pierwsze dwie grupy wskaźników opierają się na chwilowych informacjach o stanie atmosfery, natomiast wskaźniki bioklimatyczne wykorzystują wieloletnie informacje o różnych cechach klimatu.

Część czwarta zawiera informacje o warunkach bioklimatycznych panujących w różnych regionach bioklimatycznych Polski. Są tu przedstawione, z punktu widzenia rekreacji i turystyki, ogólne cechy klimatu. Szczególną uwagę zwrócono jednak na charakterystykę bioklimatu, opartą na niektórych wskaźnikach biometeorologicznych i bioklimatycznych.

Książka jest adresowana do szerokiego grona odbiorców. Naukowcy, nauczyciele akademicy i studenci znajdą w niej szczegółowe informacje o związkach pomiędzy człowiekiem a środowiskiem atmosferycznym oraz o metodach badania tych związków. Organizatorom turystyki i wszystkim odpowiedzialnym za zapewnienie zdrowego i efektywnego wypoczynku dostarczy zaś wiadomości o zróżnicowaniu przestrzennym i sezonowym warunków bioklimatycznych, a także o sytuacjach szkodliwych i niebezpiecznych dla zdrowia rekreantów i turystów. Pozwoli to na racjonalne planowanie strumieni ruchu turystycznego oraz pomoże zapewnić gościom kurortów zdrowy, bezpieczny i efektywny pobyt. Z książki mogą także korzystać ci wszyscy, którzy chcą poznać funkcjonowanie mechanizmów fizjologicznych swego organizmu, związanych z przebywaniem w zmiennych warunkach otoczenia. Ułatwi to im świadome wypoczywanie w terenie otwartym, bez narażania się na stres lub niebezpieczeństwo dla zdrowia, a niekiedy także życia.

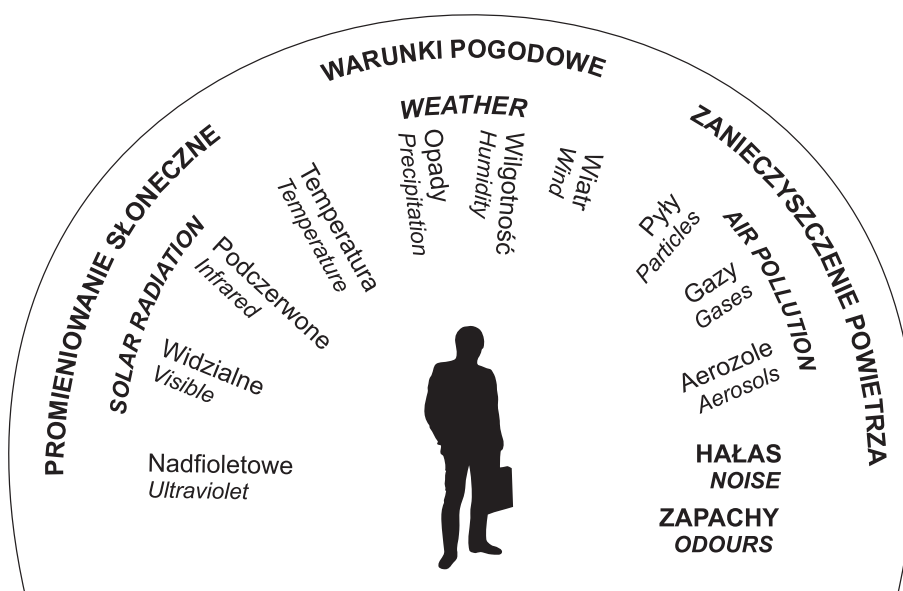
2. Bodźce klimatyczne

Na organizm człowieka oddziałuje w sposób nieprzerwany całe środowisko atmosferyczne. Według Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO, 892) składają się nań nie tylko podstawowe elementy meteorologiczne (promieniowanie słoneczne i usłonecznienie, temperatura i wilgotność powietrza, ciśnienie atmosferyczne oraz ruch powietrza i opady), ale także zanieczyszczenia pyłowe i gazowe powietrza, jonizacja powietrza, natężenie pól elektromagnetycznych, zawartość pierwiastków śladowych (w tym także radioaktywnych) w powietrzu, hałas, wibracje oraz zapachy itp. (ryc. 2.1).

Pod ich wpływem zachodzą w organizmie człowieka zmiany czynnościowe, metaboliczne i morfologiczne, które mają zapewnić zachowanie równowagi psychofizycznej. Zachowaniu tej równowagi sprzyja odpowiednia kondycja. Dlatego różnorodne formy aktywności rekreacyjnej w terenie otwartym są nie do przecenienia w zachowaniu i poprawianiu kondycji organizmu oraz w usprawnieniu procesów fizjologicznych.

Stopień bodźcowości klimatu ocenia się na podstawie skrajnych wartości podstawowych elementów meteorologicznych oraz ich zespołów. Ilustrują one zakres zmian na jakie organizm ludzki musi być w danym środowisku przygotowany. Intensywność bodźców określa się na podstawie ich natężenia lub długości ich trwania, dynamikę bodźcowości ocenia się natomiast biorąc pod uwagę

zmiennosc różnych stanów atmosfery (opisaną na przykład poprzez typy pogody). Działanie poszczególnych bodźców może być zwiększone, między innymi przez ich współdziałanie (synergizm) (Kozłowska-Szczęсна i inni 1997).



Ryc. 2.1. Człowiek i środowisko atmosferyczne

Fig. 2.1. Man in the atmospheric environment

Źródło / Source: WMO - No 892.

Bodźce atmosferyczne oddziałują na organizm przez skórę, drogi oddechowe, układ nerwowy oraz narządy: węchu, smaku, słuchu, dotyku i wzroku (Kozłowska-Szczęсна i inni 1997). Można je połączyć w trzy podstawowe zespoły:

- bodźców fizycznych,
- bodźców chemicznych,
- bodźców biologicznych.

Opierając się na badaniach G. Flemminga (1983) można stwierdzić, że zależnie od swej intensywności bodźce te mają różnorodne działanie:

- bodźce słabe – powodują utratę przystosowania lub wydzielakanie organizmu,
- umiarkowane – działają pobudzająco i hartująco (co sprzyja podwyższaniu kondycji i odporności organizmu), a także leczniczo,
- silne – powodują obciążenie lub przeciążenie organizmu, prowadzące niekiedy do pogorszenia kondycji i odporności, a nawet do powstawania stanów chorobowych.

Publikacje dotyczące wpływu warunków pogodowych oraz ogólnych cech klimatu danego regionu na zdrowie i samopoczucie człowieka oraz na liczbę zgonów powodowanych czynnikami pogodowymi są już liczne. Przegląd tych badań znaj-

duje się m.in. w pracach K. Błażejczyka i T. Kozłowskiej-Szczęsnej (2008), K. Błażejczyka (2009) czy T. Kozłowskiej-Szczęsnej i innych (2004). W większości badań zwraca się uwagę na duży wzrost liczby zachorowań i zgonów podczas fali gorąca, które są wynikiem wysokiej temperatury i wilgotności powietrza oraz dużego natężenia promieniowania słonecznego. Przykładem może być katastrofalna w skutkach fala upałów w 2003 r. w południowo-zachodniej Europie. Szacuje się, że przyczyniła się ona do śmierci ponad 30 tysięcy osób, w tym około 14 tysięcy we Francji (Bono i inni 2004; Laaidi i inni 2006). W umiarkowanych i wysokich szerokościach geograficznych stwierdzane są natomiast komplikacje zdrowotne związane z niskimi wartościami temperatury powietrza, a szczególnie z falami mrozów (Błażejczyk i McGregor 2008). Bezpośrednie przyczyny zgonów są oczywiście różne.

Na zróżnicowanie bodźców atmosferycznych wpływają – poza czynnikami klimatycznymi (np. radiacyjnymi, cyrkulacyjnymi) – takie czynniki geograficzne jak: rzeźba terenu, rodzaj podłoża, szata roślinna, stosunki wodne i użytkowanie terenu. Dzięki nim bodźcowość klimatu zmienia się, zarówno w czasie, jak i w przestrzeni, nawet na niewielkim obszarze. Zmienność bodźcowości klimatu jest cechą pozytywną (jeśli chodzi o wykorzystanie klimatu w rekreacji), gdyż pozwala na dozowanie bodźców w zależności od indywidualnych wymagań różnych osób.

W świetle powyższego stwierdzenia bardzo ważne są nawet krótkotrwałe wyjazdy poza stałe miejsce zamieszkania. Zmiana klimatu związana ze zmianą miejsca pobytu może działać na organizm pobudzająco oraz obciążająco, a okres aklimatyzacji do nowych warunków zależy od stopnia bodźcowości klimatu, kontrastowości nowych warunków klimatycznych w porównaniu z miejscem zamieszkania, jak również od kondycji, stanu zdrowia i wrażliwości osobniczej.

Działanie bodźców atmosferycznych na organizm było w ostatnich latach wielokrotnie prezentowane w różnych publikacjach (np. Kozłowska-Szczęsna i inni 1997, 2002, 2004; Błażejczyk 2004a), dlatego w obecnym opracowaniu przypomniano tylko najważniejsze wiadomości z tego zakresu.

2.1. Zespół bodźców fizycznych

2.1.1. Bodźce radiacyjne

W grupie bodźców fizycznych ważną rolę odgrywa promieniowanie słoneczne, które stymuluje procesy fizjologiczne zachodzące w organizmie, co jest odpowiedzią całego organizmu na ten bodziec (Błażejczyk 1995; Kozłowska-Szczęsna, Błażejczyk 1998). Intensywne działanie promieniowania słonecznego obejmuje skórę, narządy wewnętrzne, a także układ nerwowy.

Najaktywniejsza biologicznie jest nadfioletowa część promieniowania słonecznego (UV). Ma ona właściwości bakteriobójcze i hartujące, pobudza czynności krwiotwórcze, zwiększa odporność organizmu na zakażenia, wywołuje zmiany

czynnościowe układu nerwowego, stymuluje gruczoły wydzielania wewnętrznego oraz ma działanie przeciwkrzywicze (Wolska 2006). W wyniku działania promieniowania UV w skórze tworzy się substancja wywołująca rumień słoneczny i pigmentację skóry. Zbyt wielkie dawki promieniowania UV mogą natomiast powodować ujemne skutki, z których najbardziej niebezpieczne są nowotwory skóry i oczu. W USA około 90% rozpoznanych nowotworów skóry wynika z nadmiernego opalania (Lucas i inni 2006, Lityńska i inni 2001, Nurkowska 1997).

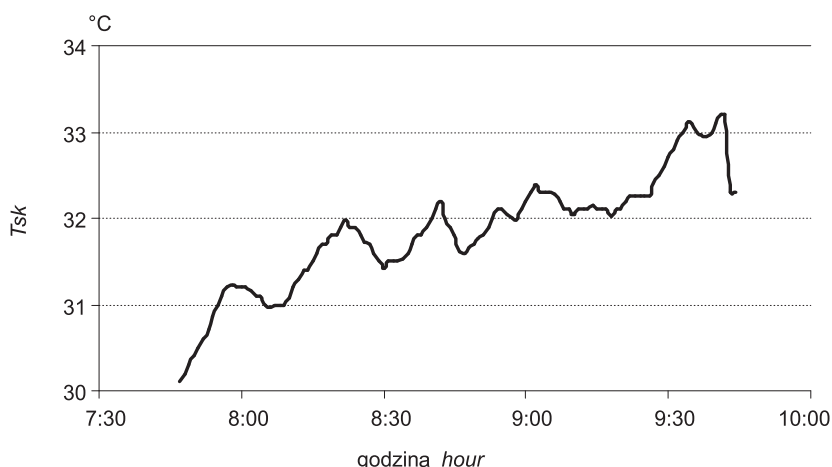
Widzialna część promieniowania słonecznego działa przede wszystkim na światłoczułe komórki oka. Reguluje także cykl dobowy organizmu, poprzez oddziaływanie na wytwarzanie przez szyszynkę melatoniny, która jest nazywana „hormonem snu”. Zagadnienie to jest szczególnie istotne w dobie szybkich podróży lotniczych do odległych stref czasowych, o różnych warunkach radiacyjnych (Błażejczyk, Morita i inni 2005, 2008; Maroszek i inni 2010).

Promieniowanie podczerwone ma właściwości cieplne. Ciepło uzyskane tą drogą przyspiesza przemianę materii i zwiększa zapotrzebowania na tlen. Ponadto łagodzi ból oraz ułatwia zachowanie równowagi cieplnej organizmu (homeotermii).

2.1.2. Bodźce termiczno-wilgotnościowe

Bodźce termiczno-wilgotnościowe oddziałują na receptory ciepła i zimna w skórze człowieka. Organizm człowieka ma duże zdolności dostosowania swoich procesów fizjologicznych do różnych termicznych warunków otoczenia (Kozłowski 1986). Podstawowymi reakcjami fizjologicznymi na „zimne” warunki otoczenia są obniżenie temperatury skóry oraz zmniejszenie peryferycznego przepływu krwi. Efektem ubocznym tego procesu jest wzrost ciśnienia krwi, który w skrajnych sytuacjach może być niebezpieczny dla zdrowia. Dodatkowym fizjologicznym procesem dostosowawczym organizmu do zimnego otoczenia jest tzw. drżenie mięśniowe.

W warunkach gorąca następuje rozszerzenie naczyń krwionośnych i wzrost peryferycznego przepływu krwi, przy jednoczesnym obniżeniu ciśnienia tętniczego i zwiększeniu tętna. Rośnie temperatura skóry, a bezpośrednim tego skutkiem jest uaktywnienie gruczołów potowych. Parujący pot obniża temperaturę skóry, zwiększając w ten sposób różnicę temperatury pomiędzy wnętrzem ciała a jego powłoką. Fazy nagrzewania się suchej powierzchni ciała, wydzielania potu i obniżania się temperatury skóry w wyniku jego parowania następują cyklicznie, w przybliżeniu co 20 minut (ryc. 2.2). Zjawisko to nasila się wyraźnie wtedy, gdy człowiek jest w ruchu lub wykonuje jakąś pracę fizyczną (Błażejczyk 1998a; Malchaire 1991). Duża wilgotność otoczenia utrudnia parowanie potu i pojawia się uczucie parności, które jest szczególnie uciążliwe dla osób z chorobami układów oddechowego i krążenia. Zasygnalizowane wyżej termoregulacyjne zmiany fizjologiczne prowadzą do zachowania na stałym poziomie temperatury wewnętrznej człowieka, która wynosi około 37°C. Zagadnienia z tym związane omówiono bardziej szczegółowo w rozdziale 3.



Ryc. 2.2. Cykliczne zmiany temperatury skóry człowieka (T_{sk}) podczas wysokiej temperatury powietrza i ekspozycji na działanie promieniowania słonecznego, 14 lipca 1996 r., Borowa Góra

Fig. 2.2. Periodic changes in skin temperature (T_{sk}) during high air temperature and intensive insolation, 14 July 1996, Borowa Góra

Opracowanie własne. / Own elaboration.

2.1.3. Bodźce mechaniczne

Bodźce mechaniczne związane są z dwoma elementami meteorologicznymi: ruchem powietrza i ciśnieniem atmosferycznym. Korzystne działanie wiatru polega na wykonywaniu swoistego mikromasażu powierzchni ciała i usprawnianiu w ten sposób mechanizmów termoregulacji. Z drugiej strony silny wiatr utrudnia oddychanie, zmniejsza zdolność do wysiłku, powoduje niepokój i zaburza sen.

Z kolei okresowe wzrosty i obniżanie się ciśnienia atmosferycznego powodują rozprężanie i sprężanie powietrza w uchu środkowym, przez co błony bębenkowe ulegają odkształceniu. Jest to odczuwane jako ucisk, kłucie i dzwonięcie w uszach. Niekiedy obserwuje się nawet przejściowe osłabienie słuchu (Jankowiak, red. 1976).

2.1.4. Bodźce elektryczne

Przez elektryczność atmosferyczną rozumiemy: pole elektryczne atmosfery, jonizację, przewodnictwo elektryczne, prądy elektryczne w atmosferze, ładunki elektryczne chmur i opadów oraz elektryczność burzową (Kielczewski, Bogucki 1972). Działanie bodźców elektrycznych na organizm człowieka jest dotychczas dość słabo poznane. Na przypomnienie zasługuje jedynie pozytywne działanie

jonów ujemnych. Ich zwiększona koncentracja obserwowana jest w pobliżu strumieni górskich, wodospadów czy też nad brzegiem mórz i jezior, co wywołuje odczucie świeżości powietrza. Dlatego spacerowanie brzegiem morza lub jeziora sprzyja – pomimo większego narażenia na chłodne bodźce termiczne – dobremu samopoczuciu. W efekcie długotrwałego uprawiania tej formy rekreacji możemy liczyć na poprawę naszej sprawności i odporności psychofizycznej (Tyczka 1969).

2.1.5. Bodźce akustyczne

Bodźce akustyczne oddziałują przede wszystkim na narząd słuchu. Obserwuje się wyraźny związek natężenia bodźców akustycznych z warunkami pogodowymi. Natężenie hałasu nasila się w sposób znaczący wraz ze wzrostem prędkości wiatru i wilgotności powietrza (Błażejczyk, Lipska 1980).

Gdy dźwięk ma zbyt wysoki poziom lub jest niepożądany, odczuwamy go jako hałas. Jego szkodliwość zależy od amplitudy i częstotliwości fal akustycznych, czasu działania i charakteru zmian w czasie. Nadmierny hałas powoduje zmęczenie, drażliwość, podwyższenie ciśnienia krwi, ból i zawroty głowy. Hałas o szczególnie silnym natężeniu może nawet spowodować trwałe uszkodzenie błony bębenkowej i utratę słuchu (Kalinowski 1969). Stosowana w Polsce definicja hałasu mówi, że są to wszystkie niepożądane, nieprzyjemne, dokuczliwe lub szkodliwe drgania mechaniczne ośrodka sprężystego działające za pośrednictwem powietrza na organ słuchu i inne elementy organizmu człowieka

2.2. Zespół bodźców chemicznych

Bodźce te wiążą się z oddziaływaniem na człowieka różnych składników atmosfery, naturalnych i antropogenicznych. Do naturalnych, stałych składników powietrza należą: tlen, azot, dwutlenek węgla i para wodna oraz wodór, ozon i gazy szlachetne. Spośród domieszek trzeba wymienić z jednej strony zanieczyszczenia (gazowe, pyłowe i aerozole), z drugiej natomiast – różnego rodzaju substancje (aerozole, olejki eteryczne), wzbogacające powietrze w cenne mikroskładniki o działaniu tonizującym, a nawet leczniczym.

Biologiczne działanie tlenu (O_2) zależy od jego ciśnienia cząsteczkowego. Spadek ciśnienia cząsteczkowego tlenu w powietrzu następuje wraz ze wzrostem wysokości (Silbernagl, Despopoulos 1994) oraz podwyższaniem się temperatury i wilgotności powietrza (Skrzypski 1978). Początkowo działa to pobudzająco na organizm ludzki, który musi kompensować zmniejszającą się ilość tlenu zwiększeniem przepływu krwi. Gdy ciśnienie cząsteczkowe tlenu spadnie poniżej wartości krytycznej dochodzi do zaburzeń funkcji mózgu wskutek hipoksji (niedotlenienia) (Silbernagl, Despopoulos 1994).

Ozon (O_3) jest trzatomową formą tlenu. Występuje on w dwóch warstwach atmosfery: stratosferze i dolnej troposferze. Ozon stratosferyczny ma podstawowe

znaczenie dla istnienia życia na Ziemi, zatrzymuje bowiem skrajną część promieniowania nadfioletowego (UV-C), która uszkadza wnętrza komórek organizmów żywych (porównaj rozdział 3.1.1). Tworzenie ozonu następuje w wyniku różnorodnych procesów fotochemicznych (Kožuchowski 1998; Woś 1996). W warunkach naturalnych ukształtowała się równowaga procesów tworzenia i rozpadu się ozonu w stratosferze – stworzyło to swoisty „parasol ochronny” zabezpieczający przed promieniowaniem UV-C.

Ozon troposferyczny tworzy się przy powierzchni ziemi w obecności w powietrzu tlenków azotu, tlenku węgla i innych związków chemicznych powstających w procesach produkcji przemysłowej oraz emitowanych w spalinach samochodowych. Cząstki ozonu troposferycznego są zanieczyszczeniem powietrza. Według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) stężenie ozonu przekraczające 30 ppb działa drażniąco na układ oddechowy ludzi i zakłóca proces fotosyntezy roślin.

Pozytywne znaczenie dla rekreacji mają aerozole zawierające chlorek sodu i inne sole. Powstają one w sposób naturalny w obrębie plaż nadmorskich, w bezpośrednim sąsiedztwie tężni (np. w Ciechocinku, Inowrocławiu i Konstancinie), czy też w komorach powyroboiskowych w kopalniach soli (np. w Wieliczce i Bochni). Mają one szerokie zastosowanie w leczeniu chorób układu oddechowego i tarczycy.

Różnego rodzaju zanieczyszczenia powietrza stanowią niekorzystne dla człowieka bodźce chemiczne. Szczególnie niebezpieczne są związki siarki i azotu, tlenek węgla, węglowodory oraz fluor i wspomniany już ozon troposferyczny. W ocenie jakościowej istotne są właściwości toksyczne, alergizujące i ewentualnie rakotwórcze poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń (Tyczka 1975, 1980). Mgła w połączeniu z zanieczyszczeniami tworzy w wielu miastach świata nadzwyczaj szkodliwą i niebezpieczną dla zdrowia, a nawet życia człowieka mieszaninę zwaną smogiem.

Na zakończenie należy podkreślić, że rekreacją może być już samo przebywanie w czystym powietrzu z domieszką aerozoli. Powietrze zawierające zanieczyszczenia, mimo korzystnego niekiedy poziomu bodźców fizycznych, nie sprzyja natomiast regeneracji organizmu, a nawet może być dla niego szkodliwe.

2.3. Zespół bodźców biologicznych

W powietrzu unoszą się organizmy żywe (aeroplankton), takie jak: bakterie, wirusy, pierwotniaki, grzyby, a także zarodniki, cząstki roślin i pyłki kwiatowe. U osób wrażliwych wywołują one objawy alergiczne, np. katar sienny czy ataki astmy. Lotne substancje wydzielane przez rośliny (fitoncydy) charakteryzują natomiast silne działanie bakteriobójcze. Spośród roślin i zbiorowisk roślinnych najwięcej takich substancji wydzielają: drzewa iglaste (sosna, świerk, jodła), jałowiec i dąbrowy świetliste. Znaczny wpływ na jakość i ilość wydzielanych substancji eterycznych mają warunki pogodowe oraz skład gatunkowy zbiorowiska roślinnego, stan zdrowotny roślin i żywność siedliska (Krzymowska-Kostrowicka

Tabela 2.1. Właściwości lecznicze niektórych zbiorowisk roślinnych
 Table 2.1. Therapy features of selected plant communities

Właściwości lecznicze <i>Therapy features</i>	Zbiorowisko roślinne <i>Plant community:</i>								
	bór suchy <i>dry coniferous forest</i>	bór świeży <i>fresh coniferous forest</i>	bór mieszany świerkowy <i>mixed fir forest</i>	bór mieszany sosnowy <i>mixed pine forest</i>	dąbrowa świetlista <i>oak forest</i>	grąd typowy <i>deciduous forest</i>	buczyna trawiaста <i>beech forest</i>	murawa kserotermiczna <i>dry meadow</i>	łąka rajgrasowa <i>fresh meadow</i>
Rozszerzające naczynia krwionośne i obniżające ciśnienie krwi <i>Decreasing of blood pressure</i>	xxx	xxx	x	x	o	ooo	oo		
Zwężające naczynia krwionośne i podwyższające ciśnienie krwi <i>Increasing of blood pressure</i>	ooo	ooo			x	xx	xx		
Przeciwastmatyczne <i>Anti asthmatic</i>	xx	xxx	x	xx			oo		
Przeciwgruźlicze <i>Anti tuberculosis</i>	xxx	xxx	xx	xx	x	x		x	
Przeciwbronchitowe <i>Anti bronchitis</i>	xxx	xxx	xx	xx	xx	x	o	xx	
Odkazające <i>Desinfected</i>	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xx	x	xxx	
Uspokajające <i>Calming</i>	xxx	xxx	x	x	o	oo	oo		
Pobudzające <i>Stimulative</i>	ooo	ooo	o		xxx	xxx	xx	xxx	
Wzmagające odporność organizmu <i>Increasing immunity</i>	x	xx	xx	xx	xxx	xxx	xx	xxx	xx

Działanie pozytywne *Positive features*: xxx – znaczące *significant*, xx – umiarkowane *moderate*, x – słabe *weak*.

Działanie negatywne *Negative features*: ooo – znaczące *significant*, oo – umiarkowane *moderate*, o – słabe *weak*.

Źródło / Source: Krzymowska-Kostrowicka (1997).

1997). Właściwości terapeutyczne i rekreacyjne szaty roślinnej są stosunkowo słabo poznane. Na podstawie nielicznych prac można stwierdzić, że przebywanie w borze sosnowym sprzyja uspokojeniu i obniżeniu ciśnienia krwi, a także działa leczniczo na drogi oddechowe. Grądy wpływają natomiast na pobudzenie ośrodków nerwowych, wzmagają aktywność, usuwają zmęczenie oraz podnoszą

ciśnienie krwi (Beer, Mączak 1977; Kostrowicki 1970; Krzymowska-Kostrowicka 1997) (tab. 2.1).

Przedstawione wyżej uwagi na temat bodźców biologicznych wskazują, jak ważny jest dobór zieleni we właściwym kształtowaniu warunków sprzyjających regeneracji organizmu podczas rekreacji.

II. METEOROLOGICZNE PODSTAWY REKREACJI I TURYSTYKI

Każdy z elementów meteorologicznych w mniejszym lub większym stopniu wpływa na możliwość uprawiania różnych form rekreacji i turystyki. Często też bywa, że poszczególne składniki warunków pogodowych mają pozytywne znaczenie w przypadku jednych form wypoczynku, a utrudniają inne (np. bezchmurne niebo umożliwia korzystanie z kąpeli słonecznych, ale silna insolacja, zwłaszcza przy wysokiej temperaturze powietrza, utrudnia aktywne formy rekreacji).

Należy także pamiętać, że na człowieka przebywającego w terenie otwartym oddziałuje cały zespół elementów pogody, dlatego bardzo cenne jest całościowe spojrzenie na konkretne kompleksy pogodowe i określenie w jaki sposób wpływają na możliwość rekreacji i turystyki.

Dla różnych form turystyki i rekreacji ważne są odmienne zestawy elementów i charakterystyk meteorologicznych. Według A. Matzarakisa (2006) dla turystyki zimowej ważnym elementem pogody jest pokrywa śnieżna (jej grubość i długość zalegania oraz duża zdolność odbijania promieni słonecznych), a także odpowiednie warunki termiczne i wietrzne. W przypadku turystyki letniej lista ważnych elementów pogody jest znacznie dłuższa – są to: usłonecznienie, natężenie promieniowania słonecznego, stopień zachmurzenia, temperatura i wilgotność powietrza, prędkość wiatru, komfort cieplny oraz bezpieczeństwo związane z promieniowaniem UV. Przy letnim wypoczynku nad morzem lub jeziorem powinniśmy również uwzględnić temperaturę i albedo plaży oraz temperaturę wody.

W tej części przedstawiono zarówno indywidualne spojrzenie na poszczególne elementy meteorologiczne, jak i ocenę całych kompleksów pogodowych w kontekście ich oddziaływania na różne formy wypoczynku w terenie otwartym.

3. Znaczenie poszczególnych elementów pogody dla rekreacji i turystyki

3.1. Promieniowanie słoneczne

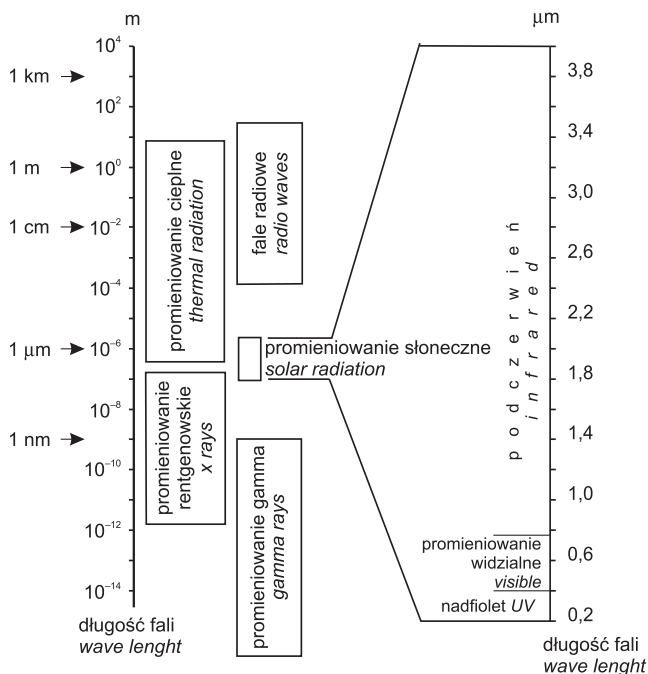
Promieniowanie słoneczne jest formą promieniowania elektromagnetycznego o długości fal od 0,1 do 4,0 μm (ryc. 3.1). Emitowane jest ono przez Słońce w wyniku reakcji termojądrowych przemian wodoru w hel zachodzących w jego jądrze. Promieniowanie o długości fali mniejszej od 0,1 μm i większej od 4,0 μm , a także promieniowanie korpuskularne, stanowią łącznie zaledwie około 1% promieniowania emitowanego przez tarczę słoneczną. Przyjmuje się zatem, że promieniowanie słoneczne jest promieniowaniem krótkofalowym, a obydwa te terminy są używane zamiennie.

Stosunkowo wąskie pasmo fal promieniowania słonecznego dzieli się na trzy zakresy: nadfiolet, promieniowanie widzialne i podczerwień (tab. 3.1). Ogólnie biorąc na górnej granicy atmosfery na nadfiolet przypada około 7% dochodzącej od Słońca energii, na promieniowanie widzialne – 48%, a na podczerwień – około 45% (Niedźwiedz, red. 2003). Podczas przechodzenia przez atmosferę większość promieniowania UV zostaje pochłonięta. Znacznemu rozproszeniu oraz odbiciu ulega także promieniowanie widzialne. Do powierzchni Ziemi dociera go o około 8% mniej w porównaniu z ilością na górnej granicy atmosfery. Sprawia to, że w dolnej troposferze udział promieniowania podczerwonego zwiększa się do około 58%.

Natężenie promieniowania słonecznego docierającego do górnej granicy atmosfery określa się mianem stałej słonecznej. Według *Słownika meteorologicznego* (Niedźwiedz, red. 2003) jej najbardziej prawdopodobna wartość wynosi 1353 (± 20) $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ¹. Odnosi się ona do powierzchni prostopadłej do promieni słonecznych. Podczas przechodzenia przez kolejne warstwy atmosfery ziemskiej natężenie promieniowania zmienia się w wyniku różnorodnych procesów pochłaniania, rozpraszania i odbijania (ryc. 3.2).

Ogólnie biorąc, powierzchnia Ziemi pochłania średnio tylko około 50% promieniowania słonecznego docierającego do górnej granicy atmosfery. Przy dużej przezroczystości atmosfery ilość promieniowania docierającego do jej warstwy przygruntowej może jednak stanowić nawet 85-90% stałej słonecznej. Około 26% promieni słonecznych jest odbijane przez atmosferę oraz górną powierzchnię chmur (zwarta, rozległa powłoka chmur może jednak powodować odbicie większości promieni słonecznych). Kolejne 16% promieniowania jest pochłaniane przez atmosferę (głównie przez parę wodną i dwutlenek węgla), a 3% przez cząstki wody tworzące chmury. Średnio około 16% promieni słonecznych jest rozpra-

¹ W piśmiennictwie można także spotkać inne wartości stałej słonecznej, od 1353 do 1395 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ (Paltridge, Platt 1976). Komisja ds. Instrumentów i Metod Obserwacji CIMO/WMO zaleca wartość stałej słonecznej = 1367 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ($\pm 0,70$).



Ryc. 3.1. Podział widma fal elektromagnetycznych

Fig. 3.1. Spectrum of electromagnetic waves

Źródło: Niedźwiedź, red. (2003). / Source: Niedźwiedź, ed. (2003).

szane przez molekuly powietrza oraz zawieszone w nim krople wody i aerozole. Stopień rozproszenia zależy od długości fali promieniowania.

Jednym z pożądaných, wizualnych walorów otaczającej nas atmosfery jest kolor nieba. Obserwowana przez nas barwa nieba jest wynikiem rozpraszania promieni słonecznych przez molekuly powietrza oraz zawieszone w nim krople wody i aerozole. Stopień rozproszenia zależy od długości fali promieniowania. Zgodnie z prawem Rayleigha intensywność rozpraszania jest odwrotnie proporcjonalna do czwartej potęgi długości fali (λ). Względne rozpraszanie różnych długości fal wynosi:

	Kolor					
	fioletowy	niebieski	zielony	żółty	pomarańczowy	czerwony
Długość fali (μm)	0,42	0,48	0,52	0,56	0,60	0,68
$1 / \lambda^4$	32,1	18,8	13,7	10,2	7,7	4,7

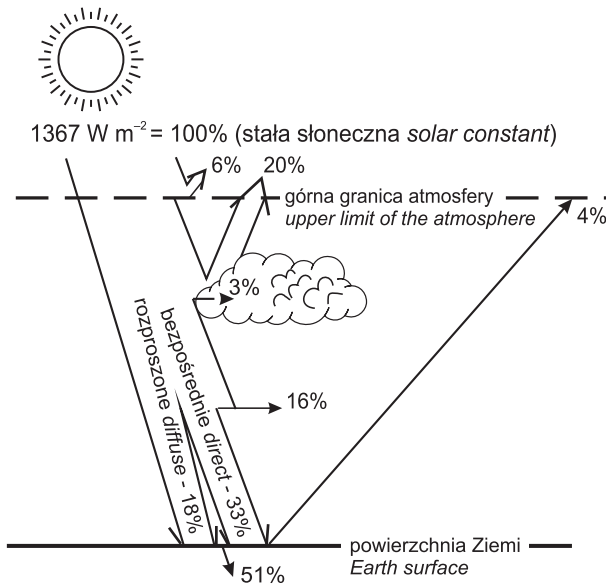
Niebieski kolor nieba zawdzięczamy temu, że największe rozproszenie występuje przy kolorach o falach krótkich (fiolet, niebieski, zielony), a najmniejsze – przy kolorach o falach długich (czerwony). W wyniku mieszania się kolorów w proporcjach podanych w dolnym wierszu powyższego zestawienia powstaje niebieski kolor nieba, tak lubiany nie tylko przez turystów.

Tabela 3.1. Podział widma promieniowania słonecznego

Table 3.1. Spectrum of solar radiation

Zakres Range	Długość fali Wave length (μm)	Udział w ogólnej ilości energii (%) Rate of total energy amount		
		poza atmosferą outside atmosphere	przy powierzchni Ziemi at Earth surface	
Nadfiolet próżniowy Vacuum ultraviolet	< 0,200	0	0	
Nadfiolet daleki (UVC) Far ultraviolet	0,200–0,280	}	0	
Nadfiolet średni (UVB) Middle ultraviolet	0,281–0,315		}	2
Nadfiolet bliski (UVA) Near ultraviolet	0,316–0,400			
Promieniowanie widzialne Visible radiation	0,401–0,760	48	40	
Podczerwień bliska Near infrared	0,761–2,500	}	}	
Podczerwień średnia Middle infrared	2,501–4,000			45	58

Źródło: Niedźwiedz, red. (2003). / Source: Niedźwiedz, ed. (2003).



Ryc. 3.2. Przenikanie promieniowania słonecznego przez atmosferę

Fig. 3.2. Transfer of solar radiation through the atmosphere

Opracowanie własne. / Own elaboration.

Część promieniowania (średnio 4%) jest odbijana przez powierzchnię ziemi, choć przy niektórych rodzajach powierzchni, takich jak piasek czy śnieg, ilość promieniowania odbitego jest znacznie większa. Ta właściwość różnych powierzchni ma duże znaczenie podczas rekreacji. Podczas dużej insolacji przebywanie na obszarach o dużych zdolnościach odbijania promieniowania słonecznego (suchy piasek, beton) może istotnie powodować nasilenie nieprzyjemnych odczuć ciepłych gorąca. Natomiast zimą, na obszarach pokrytych śniegiem odbite od niego promienie słoneczne łagodzą odczucie zimna.

Do powierzchni ziemi promieniowanie słoneczne dociera w postaci dwóch strumieni: promieniowania bezpośredniego (K_{dir}) i rozproszonego (K_{dif}). Natężenie promieniowania bezpośredniego i rozproszonego jest uzależnione od czynników zarówno globalnych (astronomicznych, geograficznych, cyrkulacyjnych), jak i lokalnych (zasłonięcie horyzontu, zacienienie, zanieczyszczenie powietrza). Proporcja K_{dir} do K_{dif} zależy od wielu czynników, z których najważniejsze to: zawartość pary wodnej w powietrzu, masa optyczna atmosfery (czyli grubość warstwy powietrza, przez którą muszą przeniknąć promienie słoneczne) i jej przezroczystość oraz rodzaj i wielkość zachmurzenia. Wszystkie one podlegają zmianom sezonowym. Łącznie strumienie K_{dir} i K_{dif} stanowią tzw. promieniowanie całkowite (K_{glob}). Największe sumy promieniowania całkowitego obserwuje się na półkuli północnej w czerwcu lub lipcu, a najmniejsze – w okresie od listopada do stycznia (tab. 3.2). Na obszarze Europy występuje ogromne zróżnicowanie sum promieniowania słonecznego. Jest ono w decydującym stopniu uwarunkowane rozciągłością południkową kontynentu. Roczne sumy promieniowania całkowitego na północy Półwyspu Skandynawskiego (Lulea) są ponad dwukrotnie mniejsze niż na południu Półwyspu Iberyjskiego (Murcia). W miesiącach letnich różnice te nie są aż tak duże jak w skali całego roku.

Część promieni słonecznych odbija się od powierzchni terenu. Natężenie promieniowania odbitego (K_{ref}) jest zmienne i zależy od fizycznych właściwości podłoża, głównie od jego barwy, szorstkości i uwilgotnienia. Miarą zdolności podłoża do odbijania promieni słonecznych jest tzw. albedo, czyli stosunek promieniowania odbitego od podłoża do promieniowania całkowitego (tab. 3.3). Albedo różnego rodzaju powierzchni nie podlega w zasadzie zmianom w czasie. Jedynie podczas bardzo niskich położań Słońca jest ono podwyższone w stosunku do wartości średnich (Kozłowska-Szczęśna 1973).

Bilans radiacyjny w zakresie krótkofalowym, czyli ilość promieniowania słonecznego pochłoniętego (K) przez tzw. warstwę czynną, na którą składają się: przypowierzchniowa warstwa gruntu oraz szata roślinna i inne elementy zagospodarowania terenu (budynki, sztuczne nawierzchnie itp.) można wyrazić następującym wzorem:

$$K = K_{dir} + K_{dif} + K_{ref} \quad [3.1]$$

W równaniu tym wszystkie strumienie promieniowania docierające od atmosfery do warstwy czynnej (K_{dir} , K_{dif}) są oznaczone znakiem dodatnim, a strumień K_{ref} , skierowany od warstwy czynnej ku atmosferze, ma znak ujemny.

Strukturę składników promieniowania całkowitego w różnych miejscach Europy ilustruje rycina 3.3. Największy udział promieniowania bezpośredniego w promieniowaniu całkowitym, przekraczający w skali roku 60%, ma miejsce na południu kontynentu, w basenie Morza Śródziemnego. Wysoki, prawie 50% udział ma promieniowanie bezpośrednie na północy Europy (Helsinki). Odmienne proporcje K_{dir} obserwuje się w Dublinie, gdzie stanowi ono tylko 1/3 wartości K_{glob} . Tak mały udział promieniowania bezpośredniego jest tam spowodowany dużym zachmurzeniem. Na pozostałej części kontynentu proporcje K_{dir} do K_{dif} wynoszą jak 4 do 6.

Tabela 3.2. Miesięczne i roczne sumy całkowitego promieniowania słonecznego ($MJ \cdot m^{-2}$) w wybranych stacjach meteorologicznych w Europie, 1981–1990

Table 3.2. Monthly and annual sums of global solar radiation ($MJ \cdot m^{-2}$) at selected meteorological stations in Europe, 1981–1990

Miesiąc Month	Stacja Station									
	Lulea	Borlaenge	Helsinki	Dublin	Paryż Paris	Warszawa Warsaw	Murcia	Rzym Rome	Ateńy Athens	Zurych Zurich
I	13	37	29	72	86	64	287	209	238	102
II	65	104	87	116	150	126	344	264	269	165
III	201	257	233	252	265	249	522	442	375	295
IV	410	347	386	389	402	384	607	555	526	397
V	533	613	587	517	490	565	731	691	654	514
VI	604	614	645	518	542	534	759	728	721	544
VII	538	595	592	536	570	570	806	777	766	611
VIII	372	458	442	410	493	479	694	683	720	520
IX	200	264	246	298	340	290	550	513	560	363
X	78	134	115	177	212	187	421	364	383	220
XI	18	52	34	83	117	83	270	228	238	106
XII	5	24	16	51	70	46	252	179	190	80
Rok Year	3024	3497	3402	3402	3717	3560	6206	5607	5607	3906

Źródło / Source: METEONORM 4.0.

3.1.1. Promieniowanie UV

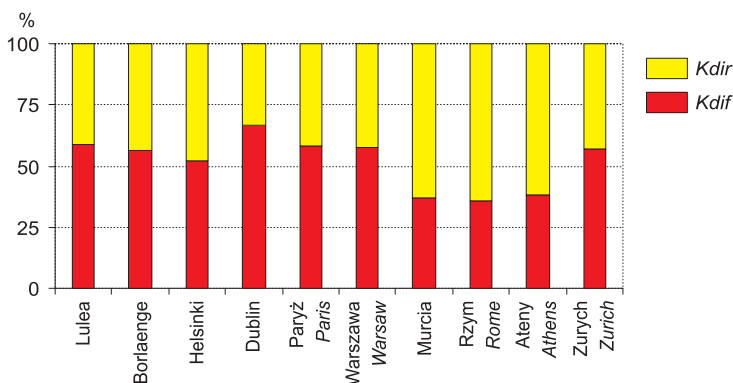
Jedną z głównych form rekreacji są tzw. kąpiele słoneczne, tj. przebywanie w bezruchu w miejscach nasłonecznionych w lekkiej lub bardzo lekkiej odzieży. Kąpiele słoneczne odgrywają także ważną rolę w procesie klimatoterapii, czyli leczenia klimatycznego. Korzystanie z bodźców radiacyjnych przez kuracjuszy odbywa się na zalecenie i pod kontrolą lekarzy. Podczas rekreacji nie mamy z reguły możliwości stałego kontaktu z lekarzem, a kąpiele słoneczne zażywa-

Tabela 3.3. Średnie wartości albedo niektórych rodzajów powierzchni

Table 3.3. Mean values of albedo of selected surfaces

Rodzaj powierzchni Surface	Albedo (ag, %) Albedo
Sucha, szara gleba <i>Dry, grey soil</i>	25–30
Piasek żółty <i>Light sand</i>	35
Beton <i>Concrete</i>	30
Asfalt <i>Asphalt</i>	20
Chodniki <i>Trotuars</i>	18
Świeża trawa <i>Fresh grass</i>	26
Trawa przesuszona <i>Dry grass</i>	17–19
Pszenica <i>Wheat</i>	10–25
Las liściasty <i>Deciduous forest</i>	10–35
Las iglasty <i>Coniferous forest</i>	14–40
Świeży, gęsty, czysty śnieg <i>Fresh, clean snow</i>	85–95
Śnieg porowaty, zabrudzony <i>Dirty snow</i>	29–47

Źródło / Source: Kozłowska-Szczęśna (1973).



Ryc. 3.3. Udział promieniowania bezpośredniego (*Kdir*) i rozproszonego (*Kdif*) w całkowitym promieniowaniu słonecznym w różnych miastach Europy, 1981–1990

Fig. 3.3. Ratio of direct (*Kdir*) and diffuse (*Kdif*) radiation in global solar radiation in selected European cities, 1981–1990

Źródło / Source: METEONORM 4.0.

my często na własne „wycucie”, niekiedy aż do chwili pojawienia się niebezpiecznych dla zdrowia objawów (np. oparzeń słonecznych, utraty przytomności, zaburzeń wzroku).

Przebywanie w miejscach nasłonecznionych przynosi organizmowi wiele pożytku. Może jednak być też niebezpieczne dla organizmu. Nadmierne dawki promieniowania UV mogą powodować choroby skóry, oczu i zaburzenia układu

immunologicznego (Lucas i inni 2006). Spośród ostrych objawów można wymienić oparzenie słoneczne i świetlne zapalenie rogówki. Do chorób przewlekłych zalicza się: przedwczesne starzenie się skóry, nowotwory skóry oraz choroby oczu: zaćmę, skrzydlak i kropelkową keratopatię (Lityńska i inni 2001). Coraz częstszym problemem są także fotoalergie, czyli uczulenia na działanie promieniowania nadfioletowego (Kieć-Świerczyńska, Kręcisz 2008). Udział promieniowania UV w całym spektrum widma słonecznego jest niewielki – przy powierzchni Ziemi stanowi ono zaledwie 2% całego promieniowania. Praktycznie całość nadfioletu dalekiego (UV-C), którego obecność prowadzi do niszczenia komórek organizmów żywych i przyczynia się do powstawania chorób skóry, w tym raka, zostaje pochłonięta przez tzw. warstwę ozonową w stratosferze na wysokości około 20-25 km. Do powierzchni Ziemi dociera głównie nadfiolet bliski (UVA) oraz część nadfioletu średniego (UVB), którego znaczna część ulega pochłonięciu przez molekuły powietrza oraz zawieszane w nim aerozole i krople wody.

Należy pamiętać, że w niektórych warunkach terenowych (zbcza górskie) obecność pokrywy śnieżnej może znacznie zwiększyć całkowitą ilość promieniowania UV docierającego do człowieka (np. narciarza w górach). Śnieg może bowiem odbijać aż 80% padającego promieniowania UV. Około 95% promieni UV przenika do wody, a na głębokości około 3 m notuje się jeszcze 50% jego natężenia. Wraz ze wzrostem wysokości natężenie UV wzrasta o 6–8% na każde 1000 m. Dzieje się to na skutek większej przezroczystości powietrza i mniejszej masy optycznej atmosfery w górach niż na nizinach.

Znaczenie masy optycznej zaznacza się także w przebiegu dobowym promieniowania UV. Działanie biologiczne nadfioletu UVA występuje od 20° wysokości Słońca nad horyzontem, a UVB od 30°. W niskich szerokościach geograficznych (do 30 stopni) Słońce wznosi się ponad 30° nad horyzontem przez cały rok. Im dalej na północ, tym krótszy jest okres z tak wysokim położeniem Słońca i na szerokości geograficznej 80 stopni trwa tylko od 21 maja do 23 lipca. Wraz w przemieszczaniem się z południa na północ wydłuża się natomiast okres, w którym tarcza słoneczna znajduje się poniżej 20° nad linią horyzontu, a więc aktywne działanie promieni UV praktycznie nie występuje (tab. 3.4).

Odpowiednio wysokie położenie Słońca nad horyzontem (>30°) podczas przesilenia letniego trwa na większości obszaru Europy od około godziny 7 do 16 czasu miejscowego. Podczas przesilenia zimowego tarcza słoneczna znajduje się natomiast na wysokości >30° tylko przez krótki czas w ciągu dnia (od około godziny 10 do 13) na południu kontynentu, poniżej 35°N. W czasie równonocy wiosennej i jesiennej bakteriobójcze działanie promieni UV występuje w południowej części Europy pomiędzy godziną 8 i 15, a w części środkowej (do około 55°N) – od godziny 9 do 14. Na Półwyspie Skandynawskim warunki takie trwają tylko w południe, przez około dwie godziny (ryc. 3.4).

Wywołanie u człowieka określonej reakcji biologicznej jest funkcją tzw. czułości widmowej. Na podstawie funkcji czułości widmowej można obliczyć – dla określonej biologicznej reakcji – efektywne natężenie promieniowania UV w paśmie 0,28–0,40 μm . Dla określonego czasu ekspozycji wyznacza się natomiast tzw. efektywną dawkę promieniowania UV (w $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$), całkowając efektywne natężenie promieniowania w czasie ekspozycji.

Tabela 3.4. Okresy, w których tarcza słoneczna na poszczególnych szerokościach geograficznych półkuli północnej znajduje się na różnych wysokościach nad horyzontem

Table 3.4. Periods, in which Sun disk is over particular altitudes at different latitudes

Szerokość geograficzna <i>Latitude</i> (°)	Wysokość tarczy słonecznej nad horyzontem <i>Altitude of Sun disk over horizon</i>		
	>30°	>20°	<20°
0	1.01–31.12	1.01–31.12	–
10	1.01–31.12	1.01–31.12	–
20	1.01–31.12	1.01–31.12	–
30	1.01–31.12	1.01–31.12	–
40	24.01–20.11	21.11–23.01	–
50	24.02–8.10	23.01–20.11	21.11–22.01
60	22.03–22.09	25.02–18.10	19.10–24.02
70	17.04–27.08	22.03–23.09	24.09–21.03
80	21.05–23.07	17.04–27.08	28.08–16.04
90	–	21.05–28.07	29.07–20.05

Badania własne. / Own data.

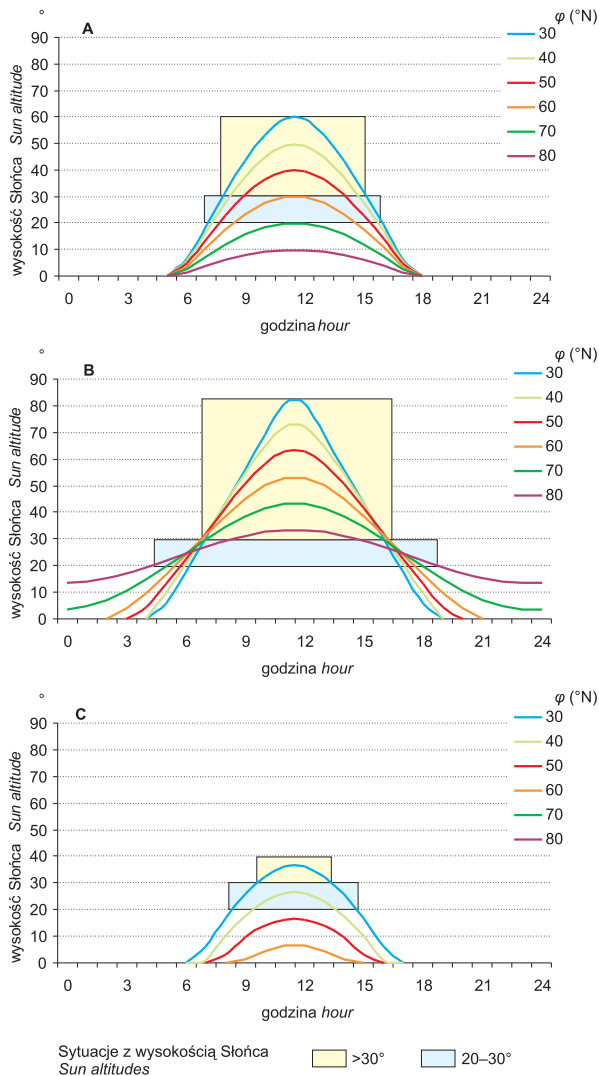
Do oszacowania rumieniotwórczego promieniowania UV używa się tzw. minimalnej dawki rumieniowej – *MED* (od ang. *Minimal Erythemat Dose*). Dawka równa 1 *MED* jest to efektywna dawka promieniowania UV, która powoduje powstanie rumienia (pigmentacji) na nieekspozowanej wcześniej skórze człowieka (każda kąpiel słoneczna zmniejsza wrażliwość człowieka na powtórne działanie promieniowania nadfioletowego). Z uwagi na różną pigmentację skóry poszczególni ludzie nie są jednakowo wrażliwi na promienie UV; dla Europejczyków wartość 1 *MED* wynosi od 200 do 500 J·m⁻². Wyróżnia się cztery podstawowe fototypy skóry dla populacji europejskiej (tab. 3.5).

Tabela 3.5. Charakterystyka podstawowych typów skóry dla populacji europejskiej

Table 3.5. Characteristics of main types of skin at European population

Typ skóry <i>Skin type</i>	Opalenizna występuje <i>Burning occurs</i>	Oparzenia występują <i>Sunburns</i>	Kolor włosów <i>Hair colour</i>	Kolor oczu <i>Eye colour</i>	1 <i>MED</i> (J·m ⁻²)
I	nigdy <i>never</i>	zawsze <i>always</i>	rude <i>red</i>	niebieskie <i>blue</i>	200
II	czasami <i>occasionally</i>	czasami <i>occasionally</i>	blond <i>blonde</i>	zielone, niebieskie <i>green, blue</i>	250
III	zawsze <i>always</i>	rzadko <i>rarely</i>	brązowe <i>brown</i>	szare, piwne <i>grey, brown</i>	350
IV	zawsze <i>always</i>	nigdy <i>never</i>	czarne <i>black</i>	piwne <i>brown</i>	450

Źródło: Lityńska i inni (2001). / Source: Lityńska et al. (2001).



Ryc. 3.4. Wysokość Słońca na różnych szerokościach geograficznych (φ) w Europie w wybranych dniach roku:

A – równonoc wiosenna i jesienna, B – przesilenie letnie, C – przesilenie zimowe

Fig. 3.4. Sun altitude at various latitudes (φ) in Europe in selected days of the year:

A – spring/autumn equinox, B – summer solstice, C – winter solstice

Badania własne. / Own data.

Określenie ilości promieniowania UV docierającego do powierzchni Ziemi w jednostkach energii jest trudne z powodu braku szczegółowych danych pomiarowych. Do oceny natężenia promieniowania nadfioletowego używa się

tw. wskaźnika *UVI* (*UV Index*), który jest jednostką miary promieniowania UV, ilustrującą jego oddziaływanie na skórę człowieka. *UVI* jest zdefiniowany jako „efektywne natężenie promieniowania UV otrzymane w wyniku całkowania natężenia promieniowania UV pomnożonego przez parametr wagowy funkcji czułości widmowej do 0,4 μm , znormalizowane do 1,0 dla czułości 0,297 μm ” (Lityńska i inni 2001).

Wartość *UVI* jest w wielu krajach europejskich i pozaeuropejskich podawana w prognozach meteorologicznych lub udostępniana w internecie. W Polsce zajmuje się tym Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, podając w okresie od maja do sierpnia prognozy *UVI* oraz zamieszczając informacje o nim na swojej stronie internetowej (<http://www.imgw.pl>). Informacje te dotyczą nieba zarówno bezchmurnego, jak i zachmurzonego.

W niektórych krajach – zwłaszcza w południowej Europie – podawane są wartości wskaźnika UV tylko dla nieba bezchmurnego (*UVI₀*). Często też są one odnoszone do poziomu morza. Aby uzyskać *UVI* dla nieba zachmurzonego (tab. 3.6) oraz dla danej wysokości nad poziomem morza stosuje się następujący wzór (Lityńska i inni 2001):

$$UVI = UVI_0 \cdot CMF \cdot (1 + 0,08 \cdot Hs) \quad [3.2]$$

Znając wartość *UVI* dla danych warunków zachmurzenia i danego miejsca można określić maksymalny czas bezpiecznego przebywania na słońcu (*MTSE*), po którym zacznie się pojawiać pigmentacja; mówiąc potocznie jest to czas bezpiecznego opalania się. Czas ten można określić dla każdego typu skóry za pomocą prostego diagramu (ryc. 3.5).

Maksymalny czas bezpiecznego przebywania na słońcu można również obliczyć korzystając z poniższych wzorów:

– typ I skóry (por. tab. 3.5)

$$MTSE = 119,99 \cdot UVI^{-0,923}, \quad [3.3]$$

– typ II skóry

$$MTSE = 170,84 \cdot UVI^{-1,0121}, \quad [3.4]$$

– typ III skóry

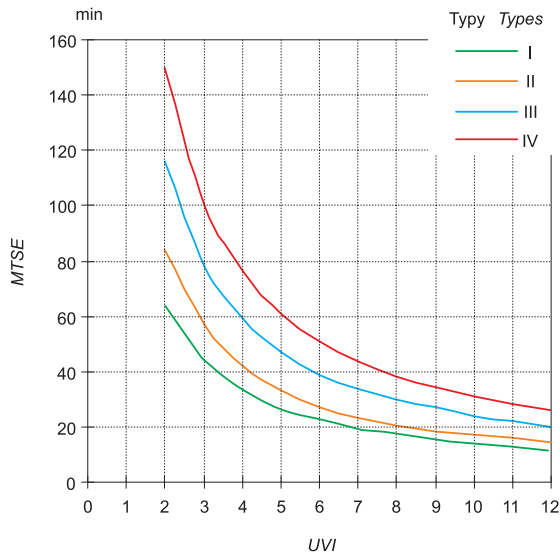
$$MTSE = 229,02 \cdot UVI^{-0,9774}, \quad [3.5]$$

– typ IV skóry

$$MTSE = 292,95 \cdot UVI^{-0,976}. \quad [3.6]$$

Aby przebywać w miejscach nasłonecznionych przez czas dłuższy niż wskazuje na to wartość *MTSE*, zwłaszcza podczas pierwszej ekspozycji słonecznej, należy zastosować odpowiednią ochronę skóry. Najlepszą jest odzież, która pochłania promienie słoneczne (w tym UV), nie przepuszczając ich do powierzchni ciała. Dlatego w dni słoneczne zalecane jest noszenie koszuli, spodni i nakrycia głowy. Nieosłonięte części ciała należy zabezpieczać przed promieniami nadfioletowymi specjalnymi kremami zawierającymi filtry słoneczne. Rodzaj kremu

powinien być dostosowany do wartości *UVI* i typu skóry (tab. 3.7). Musimy także pamiętać, że pigmentacja skóry następuje nie tylko w efekcie działania bezpośredniego promieniowania słonecznego. Promienie UV docierają do powierzchni ziemi i naszych organizmów także w promieniowaniu rozproszonym. Oczywiście, ich działanie biologiczne ma mniejsze natężenie niż w przypadku promieniowania bezpośredniego, a czas potrzebny do wywołania pigmentacji jest zdecydowanie dłuższy. Ten sposób „opalania się” jest polecany zwłaszcza osobom z I i II fototypem skóry, szczególnie narażonym na negatywne skutki działania promieni UV.



Ryc. 3.5. Maksymalny czas bezpiecznego przebywania na słońcu (MTSE, w min) osób z różnymi typami skóry (por. tab. 3.5) w zależności od wartości wskaźnika *UV*

Fig. 3.5. Maximal time of solar exposition (MTSE, in min) at subjects with various type of skin (see table 3.5) in relation to *UV* index

Źródło: Lityńska i inni (2001)./ Source: Lityńska et al. (2001).

Musimy również pamiętać o niebezpieczeństwach dla narządu wzroku, związanych z ekspozycją na promienie UV. Przy wysokich wartościach *UVI* należy używać okularów ochronnych ze szkłami pokrytymi warstwą specjalnych filtrów ochronnych. W większości przypadków zaleca się stosowanie szkieł z 3 kategorią ochrony przeciwsłonecznej, jednak podczas takich form rekreacji jak wspinaczka wysokogórska, narciarstwo czy żeglarstwo niezbędne jest korzystanie ze szkieł z 4 kategorii ochrony.

Rozkład przestrzenny wskaźnika *UVI* jest silnie uzależniony od szerokości geograficznej i pory roku. Jego największe wartości (powyżej 13) obserwuje się w strefie okołorównikowej. W wysokich szerokościach geograficznych wartość *UVI* spada do 1–2. Najwyższe wartości wskaźnika notowane są w miesiącach

Tabela 3.6. Chmurowy współczynnik modyfikujący natężenie UV w zależności od wielkości zachmurzenia (*N*) oraz rodzaju chmur i opadów atmosferycznych

Table 3.6. Cloud coefficients reducing UV intensity depending on cloudiness (*N*) and precipitation type

N (oktanty <i>octas</i>)	Rodzaj chmur <i>Cloud type</i>			Rodzaj opadu <i>Precipitation type</i>	
	wysokie <i>high</i>	średnie <i>middle</i>	niskie <i>low</i>	mgła <i>fogg</i>	deszcz <i>rain</i>
0–2	1,0	1,0	1,0	–	–
3–4	1,0	1,0	0,8	–	–
5–6	1,0	0,8	0,5	–	–
7–8	0,9	0,5	0,2	0,4	0,2

Źródło: Lityńska i inni (2001). / Source: Lityńska et al. (2001).

Tabela 3.7. Zalecany numer filtra słonecznego (SPF) dla różnych typów skóry przy różnych wartościach wskaźnika UV

Table 3.7. Recommended number of Sun protected factor (SPF) for various types of skin at different values of UV Index

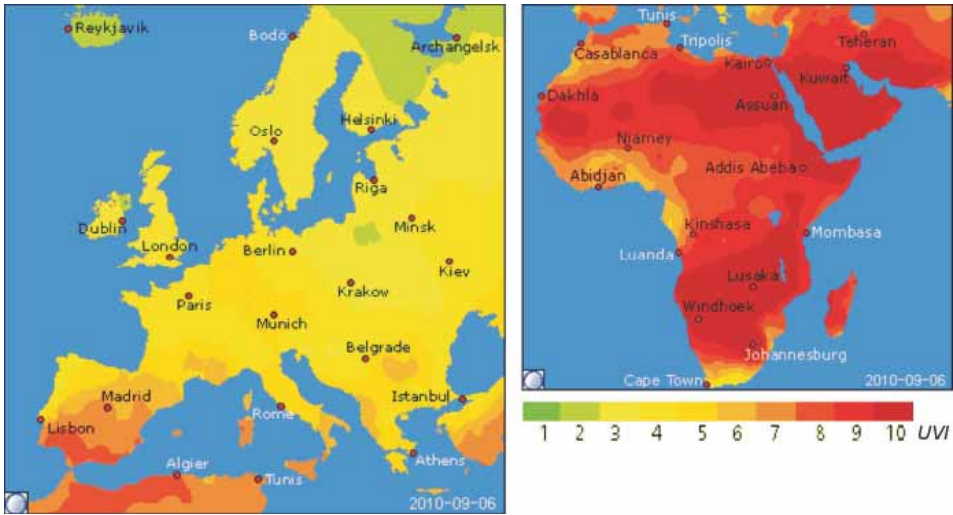
Typ skóry <i>Skin type</i>	UVI			
	1–3	4–6	7–9	> 9
I	15	30	50	60
II	12	25	40	50
III	9	15	30	40
IV	6	12	20	30

Źródło: Lityńska i inni (2001). / Source: Lityńska et al. (2001).

letnich, jedynie w pasie szerokości od 10°N do 10°S kulminacja *UVI* przypada na miesiące wiosenne i jesienne. Przykład rozkładu wskaźnika *UVI* na obszarze Europy i Afryki w dniu 9 września 2010 r. ilustruje rycina 3.6. W przykładowym dniu *UVI* zmieniało się od 2 na północnych krańcach kontynentu do 8 na południu Półwyspu Iberyjskiego. W tym samym czasie w północno-wschodniej Afryce, a zwłaszcza w Egipcie i chętnie odwiedzanym przez turystów europejskich wybrzeżu Morza Czerwonego *UVI* osiągnął wartość 10.

Zgodnie z zaleceniami WHO i WMO (*Global Solar UV Index*, 2002) stosuje się specjalną skalę oceny wskaźnika *UVI* (tab. 3.8). Według niej wartości *UVI* obserwowane 6 września 2010 r. na południu Hiszpanii oraz na wybrzeżu afrykańskim Morza Śródziemnego i w basenie Morza Czerwonego mieszczą się w kategorii bardzo dużego ryzyka dla zdrowia podczas przebywania na słońcu.

Obserwowane od roku 1975 zmniejszanie się warstwy ozonowej, zwłaszcza w wysokich szerokościach geograficznych sprawia, że do powierzchni Ziemi dociera nadfiolet daleki (UV-C). Największe nasilenie i rozmiar „dziury” ozonowej



Ryc. 3.6. Przykład rozkładu wskaźnika *UV* w Europie i Afryce w dniu 6 września 2010 r.

Fig. 3.6. Example of *UVI* distribution in Europe and Africa at 6 September 2010

Źródło / Source: www.weatheronline.co.uk/cgi-app

Tabela 3.8. Skala oceny *UVI* oraz rekomendacje dotyczące ochrony przed szkodliwym działaniem promieniowania nadfioletowego

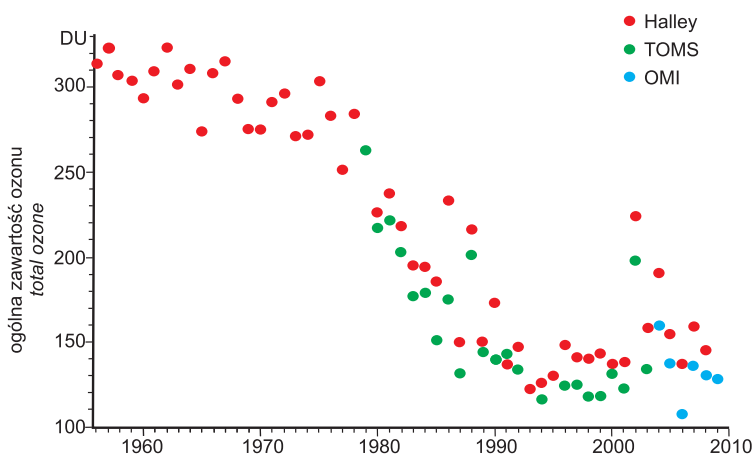
Table 3.8. Evaluation scale of *UVI* and recommendations for protection against UV radiation

<i>UVI</i>	Opis <i>Characteristic</i>	Rodzaj ochrony <i>Protection necessary</i>
0–2	brak zagrożeń dla zdrowego człowieka	noszenie okularów przeciwsłonecznych; noś je, jeśli leżący na ziemi śnieg odbija promieniowanie słoneczne lub jeśli masz bardzo wrażliwą skórę
3–5	średnie zagrożenie podczas dłuższego przebywania na słońcu	noś okulary przeciwsłoneczne; ochraniaj ciało ubraniami i nakryciem głowy; w południe, gdy promieniowanie jest najintensywniejsze, poszukaj zacienionego miejsca
6–7	wysokie i bardzo wysokie zagrożenie podczas dłuższego przebywania na słońcu	noś okulary przeciwsłoneczne; używaj kremów z filtrem SPF 15 lub wyższym; ochraniaj ciało jasnymi ubraniami oraz nakryciami głowy; ograniczaj czas przebywania na słońcu od 2-3 godzin przed i po górowaniu Słońca (od około 11:00 do 16:00 w lecie)
8–10	bardzo wysokie zagrożenie podczas przebywania na słońcu	ochrona w sposób podany powyżej; dodatkowo należy jeszcze bardziej troszczyć się o skórę, gdyż może wystąpić bardzo szybkie opalenie, a nawet oparzenie
>10	ekstremalne zagrożenie podczas przebywania na słońcu	stosuj wszelkie metody ochrony wliczając w to: okulary przeciwsłoneczne, kremy z filtrem i inne; ochraniaj ciało nosząc koszulki z długim rękawem oraz spodnie; noś szerokie, jasne kapelusze; ograniczaj czas przebywania na słońcu do minimum

Źródło / Source: <http://www.epa.gov/sunwise/uviscale.html>

obserwuje się na przełomie zimy i wiosny, kiedy górne warstwy atmosfery są najbardziej wychłodzone. Począwszy od ostatnich lat XX wieku obserwuje się stopniowe wyhamowanie tempa powiększania się dziury ozonowej (ryc. 3.7), niemniej w dalszym ciągu ubocznym skutkiem tego zjawiska jest wyraźny wzrost zachorowań na raka i inne choroby skóry, obserwowany zwłaszcza w południowych częściach Australii, Afryki i Ameryki Płd. Na półkuli północnej zmniejszanie się warstwy ozonowej w stratosferze zaznacza się słabiej niż w rejonie Antarktydy (Kožuchowski 1998).

Powiększanie się dziury ozonowej stało się wyzwaniem dla polityków, którzy na konferencji klimatycznej w Montrealu w 1987 r. stworzyli mechanizmy polityczne i gospodarcze sprzyjające zahamowaniu tego procesu. Monitorowaniem konsekwencji wprowadzenia Protokołu Montrealskiego dla środowiska i zdrowia człowieka zajmują się obecnie różne grupy naukowców i lekarzy.



Ryc. 3.7. Ogólna zawartość ozonu stratosferycznego nad Antarktyką w okresie 1955–2009; pomiary naziemne (Obserwatorium w Zatoce Halleya) oraz dane z urządzeń zainstalowanych na satelitach: TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) i OMI (Ozone Monitoring Instrument)

Fig. 3.7. Stratospheric ozone volume over Antarctica, 1955–2009; ground measurements (Halley Bay Observatory), satellite data from the Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) and Ozone Monitoring Instrument (OMI)

Źródło / Source: <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/history.html>

3.1.2. Promieniowanie widzialne

Widzialna część promieniowania słonecznego obejmuje fale o długości od 0,40 do 0,76 μm . Oddziałuje ono przede wszystkim na światłoczułe komórki oka. Dzięki temu odbieramy wrażenia wizualne. Zależnie od długości fali promieniowanie

widzialne ma różne barwy: fioletową – przy długości fali około 0,4 μm , niebieską – około 0,5 μm , zieloną około 0,53 μm , żółtą około 0,57 μm lub czerwoną – przy fali o długości ponad 0,65 μm . Światło docierające do wnętrza oka pada na znajdujące się tam czopki i pręciki, które są wrażliwymi na nie receptorami siatkówki. Czopki występują w liczbie około 120 milionów, a pręciki – 7 milionów. Pręciki zawierają specjalną substancję chemiczną, zwaną rodopsyną (czerwienią wzrokową), która jest bardzo czuła na ilość światła dochodzącego do oka, ale nie na jego kolor. Dzięki temu nawet w nocy jesteśmy w stanie rozróżniać przedmioty w naszym otoczeniu. Przy jasnym świetle rodopsyna ulega odbarwieniu, a pręciki stają się ślepe; uaktywniają się szybko przy ponownym nastaniu ciemności. Czopki, które potrzebują znacznie więcej światła do poprawnego funkcjonowania, zawierają substancję reagującą na jedną z trzech głównych barw: niebieską, zieloną lub czerwoną. Istnieją trzy rodzaje czopków, z których sygnały docierają do mózgu poprzez nerw wzrokowy. W ośrodku wzroku w mózgu dochodzi do mieszania tych sygnałów, dzięki temu widzimy różne kolory. Natomiast zarówno omówione już promieniowanie nadfioletowe, jak i promieniowanie podczerwone ($\lambda > 0,76 \mu\text{m}$) nie działają na receptory wzroku.

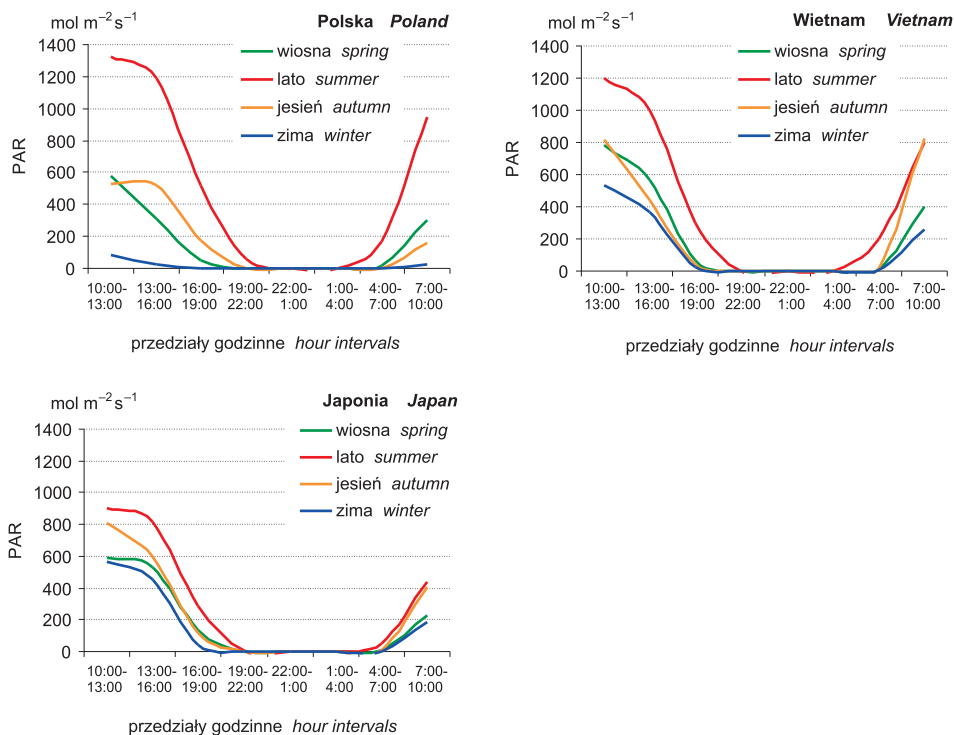
W latach 1980. rozpoczęto systematyczne badania nad rolą promieniowania widzialnego w funkcjonowaniu układu hormonalnego człowieka (Hebert i inni 1998; Lewy i inni 1980; Morita i Tokura 1998). Wyraźne zależności znaleziono w odniesieniu do funkcjonowania szyszynki, gruczołu wydzielającego melatoninę – hormon odpowiedzialny za kontrolowanie dobowego rytmu funkcjonowania organizmu (Karasek 1997; Reiter 1995). Jej wydzielanie rozpoczyna się w godzinach popołudniowych i jest stymulowane osłabieniem bodźców świetlnych w tym okresie doby. Największe stężenie melatoniny ma miejsce w godzinach nocnych. Zaburzenia w wydzielaniu melatoniny są często przyczyną zaburzeń snu.

Początkowo badania koncentrowały się na świetle emitowanym sztucznie, a badane osoby były specjalnie odizolowywane w zamkniętych pomieszczeniach. W najnowszych badaniach prowadzonych w latach 2004-2007 podjęto próbę określenia, jak naturalny rytm życia i pracy człowieka przebywającego w zmieniających się warunkach oświetlenia (częściowo naturalnego, a częściowo sztucznego) wpływa na wydzielanie melatoniny. Wstępne wyniki badań sugerują, że ważną rolę w produkcji melatoniny odgrywają regionalne i sezonowe różnice ilości promieniowania widzialnego a także aktywność fizyczna badanych (Błażejczyk, Morita i inni 2005, 2008; Konarska i inni 2006; Ueno-Tawatari i inni 2007).

Rycina 3.8 przedstawia przebieg dzienny promieniowania fotosyntetycznie aktywnego w badanych regionach świata (środkowa Polska, południowa Japonia i północny Wietnam) w wybranych okresach roku: przesilenia letniego i zimowego oraz równonocy wiosennej i jesiennej (Błażejczyk i inni 2008). Największe sumy promieniowania widzialnego występują w godzinach od 10 do 16. W wyższych szerokościach geograficznych dopływ promieniowania widzialnego obejmuje większą część doby niż w strefie okołozwrotnikowej. W przebiegu rocznym najbardziej wyrównane sumy promieniowania widzialnego obserwowano w Japonii, a największe różnice sezonowe zarejestrowano w Polsce.

Zaobserwowano znaczące różnice w rocznym rytmie produkcji melatoniny u osób zamieszkujących różne strefy klimatyczne (Hebert i inni 1998; Maroszek

i inni 2010). Najmniejsze stężenia melatoniny we wszystkich badanych regionach obserwowano w okresie przesilenia zimowego. Latem, wiosną i jesienią średnie wartości koncentracji melatoniny były podobne, zwłaszcza w Polsce. Pod względem regionalnym wyróżnia się Wietnam, gdzie w każdym z sezonów ilość wytwarzanej melatoniny jest mniej więcej taka sama. Wiąże się to niewątpliwie ze stosunkowo wyrównanymi przez cały rok warunkami oświetlenia i dopływu promieniowania widzialnego. W Polsce sezonowe różnice warunków oświetlenia są największe spośród badanych regionów, co skutkuje dużymi wahaniami rocznymi produkcji melatoniny (Maroszek i inni 2010) (ryc. 3.9).



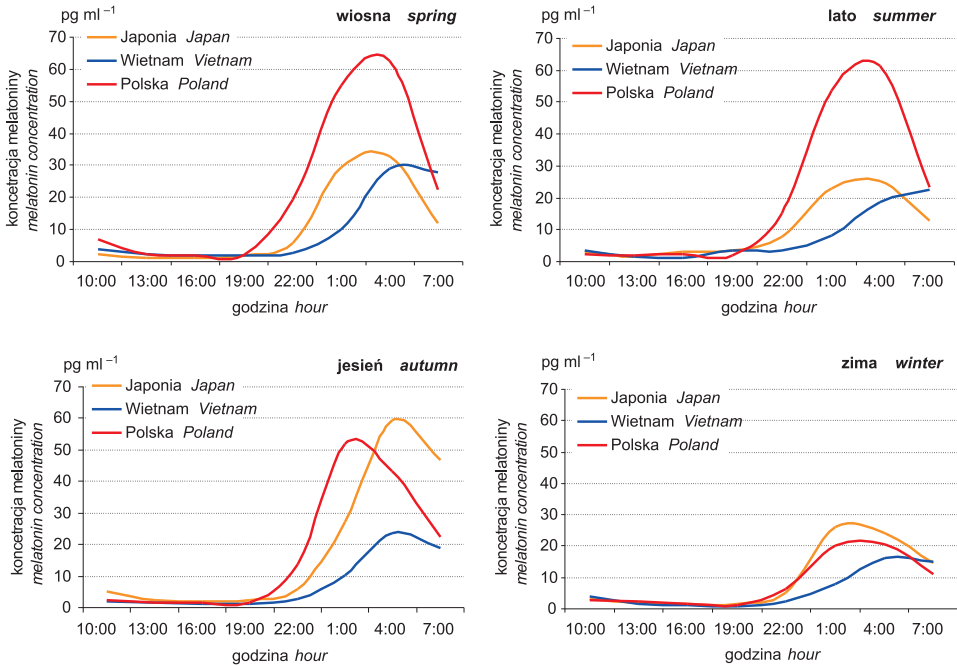
Ryc. 3.8. Średnie sezonowe wartości promieniowania fotosyntetycznie aktywnego (PAR) w różnych przedziałach doby w Polsce, południowej Japonii i północnym Wietnamie

Fig. 3.8. Mean seasonal values of photosynthetically active radiation (PAR) in various hour intervals in Poland, south Japan and north Vietnam

Badania własne. / Own data.

Zaburzenia produkcji melatoniny przez szyszynkę stają się praktycznym problemem dla osób odbywających długodystansowe przeloty samolotowe wiążące się ze zmianą strefy czasowej. Mimo powszechności dalekich podróży lotniczych, niewiele jest prac źródłowych dotyczących wydzielania melatoniny

w takich warunkach (Arendt 1991). Ogólnie można stwierdzić, że organizm potrzebuje 2-3 dni, aby dostosować funkcjonowanie szyszynki do nowych warunków czasowych. Istnieje natomiast luka informacyjna na temat mechanizmów adaptacji organizmu do nagle zmieniających się warunków oświetlenia podczas dalekich podróży lotniczych przy przemieszczaniu się w tej samej strefie czasowej do stref klimatycznych o wyraźnie różnym dobowym przebiegu promieniowania słonecznego.



Ryc. 3.9. Rytm dobowy koncentracji melatoniny w organizmie człowieka w różnych porach roku i regionach: południowej Japonii, północnym Wietnamie i środkowej Polsce

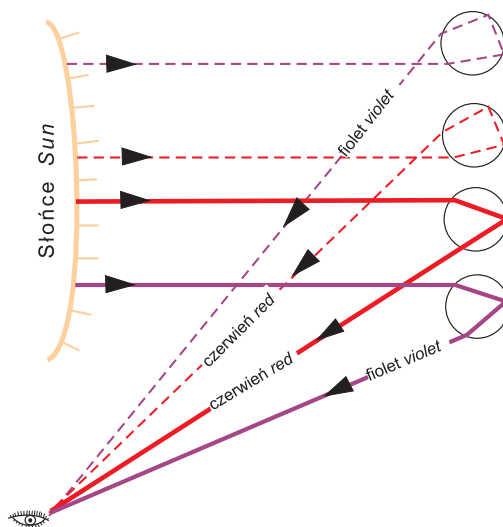
Fig. 3.9. Daily rhythm of melatonin concentration in humans in various seasons and regions: south Japan, north Vietnam and central Poland

Badania własne. / Own data.

Fale świetlne odbite od różnych przedmiotów w naszym otoczeniu, bądź też samo promieniowanie przechodzące przez atmosferę są źródłem wrażeń wizualnych. Podczas przechodzenia fal świetlnych przez atmosferę dochodzi do ich załamania, odbijania i rozpraszania. Te i inne procesy fizyczne prowadzą do powstawania różnorodnych zjawisk optycznych.

Jednym z bardziej znanych zjawisk optycznych jest tęcza. W dawnych kulturach była ona postrzegana jako most do nieba. Jej powstanie wiąże się z dwukrotnym załamaniem promieni słonecznych, przechodzących przez krople wody zawieszona w atmosferze (przy wejściu do kropli i przy wyjściu z niej). Ponieważ

każda z barw zawartych w promieniu słonecznym ma nieco inny współczynnik załamania, powstaje zjawisko optyczne rozbicia promienia na wiązkę, zawierającą promienie o różnej barwie (Sorbjan 2001, ryc. 3.10).



Ryc. 3.10. Schemat powstawania tęczy głównej i tęczy wtórnej. Tęcza główna (linia gruba) powstaje w wyniku jednego odbicia wewnątrz kropli wody; jest bardzo jasna i wyraźna. Tęcza wtórna (linia cienka) powstaje w wyniku podwójnego odbicia promienia wewnątrz kropli; w związku z tym jest przyćmiona i mało wyraźna. Zewnętrzny skraj tęczy głównej jest czerwony, a wewnętrzny fioletowy. W tęczy wtórnej układ barw jest odwrotny.

Fig. 3.10. Scheme of main and duplicate rainbow

Źródło / Source: Sorbjan (2001).

We wszystkich strefach klimatycznych można się spotkać ze zjawiskiem błyskawicy powstającej w wyniku wyładowania elektrycznego podczas burzy. Innego pochodzenia są zorze polarne, polegające na świeceniu górnych warstw atmosfery ziemskiej; można je obserwować w wysokich szerokościach geograficznych. Zorze polarne powstają w wyniku oddziaływania protonów i elektronów emitowanych przez Słońce na cząsteczki powietrza znajdujące się w górnych warstwach atmosfery. Atomy tlenu i azotu oraz inne cząsteczki powietrza wzbudzone w wyniku bombardowania ich przez prędkie cząstki emitują promieniowanie o charakterystycznym widmie. Urok zór polarnych sprawia, że w okresach ich wzmożonego pojawiania się do regionów okołobiegunowych Kanady, Skandynawii i Argentyny kierują się liczne grupy turystów (fot. 1).

Załamanie światła, jego odbijanie i rozpraszanie wywołuje takie zjawiska optyczne jak: miraż, halo, wieniec, glorie i zielony błysk (zielony promień). Występują one wprawdzie dość rzadko, ale gdy uda się je zaobserwować pozostawiają niezapomniane wrażenia.



Fot. 1. Zorza polarna nad polską stacją polarną w Hornsundzie na Spitsbergenie

Photo 1. *Aurora borealis* over Polish polar station in Hornsund at Spitsbergen

Fot. / Photo: A. Arażny.

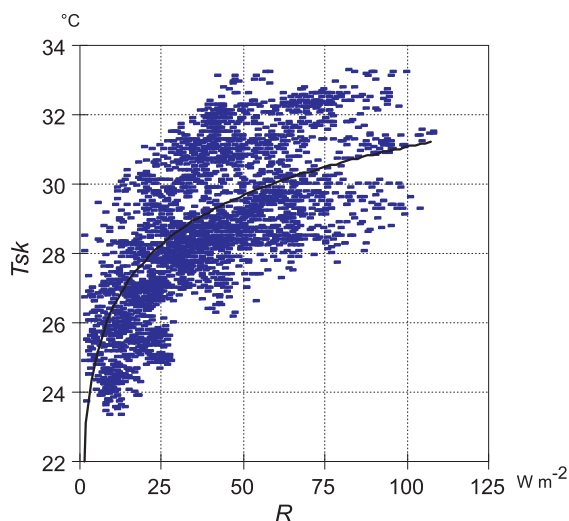
3.1.3. Promieniowanie podczerwone

Promieniowanie słoneczne o długości fali od 0,76 do 4,0 μm nosi nazwę promieniowania podczerwonego: bliskiego i średniego (por. tab. 3.1). Skóra człowieka oraz pokrywająca ją warstwa odzieży mają zdolność pochłaniania tej części promieniowania słonecznego (Breckenridge, Goldman 1971; Budyko 1959, 1975; Cena 1974; Clark i inni 1980; Nishi 1980). Ma ono bezpośredni wpływ na temperaturę powierzchni ciała i stanowi drugie – poza procesami metabolicznymi – znaczące źródło ciepła dla organizmu (Błażejczyk 1995, 1998a, b; Błażejczyk i inni 1993; Clark, Edholm 1985; Gregorczyk 1966; Nielsen i inni 1988).

U człowieka nieubranego promienie słoneczne są pochłaniane bezpośrednio przez skórę, natomiast gdy człowiek jest ubrany, promieniowanie słoneczne jest pochłaniane przez warstwę odzieży, a następnie przewodzone przez nią ku powierzchni ciała. W rozważaniach termofizjologicznych interesuje nas ta ilość energii cieplnej, która pochłonięta przez odzież dociera do powierzchni skóry.

Pochłonięte promieniowanie słoneczne może wahać się od 5 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, przy braku promieniowania bezpośredniego lub przy bardzo niskich położeniach tarczy słonecznej, do około 150 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ w okresach, gdy strumień promieniowania bezpośredniego jest niezakłócony przez chmury. Szczególne znaczenie ma dopływ promieniowania bezpośredniego, które ma największy udział w promieniowaniu pochłoniętym. Gdy promienie słoneczne padają bezpośrednio na człowieka, temperatura skóry może być o 3-6 $^{\circ}\text{C}$ wyższa niż w okresach dopływu jedynie pro-

mieniowania rozproszonego. Ogólny związek pomiędzy ilością pochłoniętego promieniowania słonecznego a temperaturą skóry ilustruje rycina 3.11.



Ryc. 3.11. Związek pomiędzy zmierzoną ilością pochłoniętego promieniowania słonecznego (R) a temperaturą skóry obserwatorów (T_{sk})

Fig. 3.11. Relationships between absorbed solar radiation (R) and skin temperature in man (T_{sk})

Badania własne. / Own data.

Metody oceny ilości promieniowania pochłoniętego przez człowieka można podzielić na dwie grupy: (1) gdy efekt promieniowania określa się w stopniach Celsjusza; (2) określające efekt promieniowania pochłoniętego w $W \cdot m^{-2}$.

W pierwszym przypadku oblicza się tak zwaną średnią temperaturę promieniowania (Mrt). Zaproponował ją P.O. Fanger (1974) do badań w pomieszczeniach zamkniętych. Mrt odpowiada temperaturze cienkiej warstewki powietrza przylegającej do powierzchni ciała i/lub odzieży. Temperatura ta kształtuje się w wyniku oddziaływania promieniowania długofalowego oraz promieniowania słonecznego pochłoniętego przez skórę i/lub odzież. Można przytoczyć udane próby zaadaptowania tej wielkości do badań w terenie otwartym (Jendritzky, Menz 1986; Jendritzky, Nübler 1981; Jendritzky, Sievers 1986; Matzarakis 2001; Staiger, Matzarakis 2010; Thorsson i inni 2007) oraz jej obliczania na podstawie temperatury powietrza i natężenia promieniowania słonecznego (Jendritzky 1990; Skrzypski 1981, 1989; VDI 3789, 1994). Wzór określający Mrt ma następującą postać ogólną:

$$Mrt = [(R + L) / (s_h \cdot \sigma)]^{0.25} - 273 \quad [3.7]$$

Druga grupa metod obejmuje różnego rodzaju formuły określające natężenie promieniowania pochłoniętego przez człowieka (R). Bezpośrednie pomiary

promieniowania pochłoniętego są bowiem podejmowane niezmiernie rzadko. Do nielicznych prób należą badania przeprowadzone w latach 1995–1997 przez K. Błażejczyka (1998a). Dlatego powstało wiele modeli cyfrowych pozwalających na przeliczanie strumieni promieniowania słonecznego z jednostki powierzchni przyrządu pomiarowego (tzn. pyranometru, najczęściej umieszczonego w pozycji horyzontalnej) na jednostkę powierzchni ciała człowieka. Przeliczenie to opiera się na następującym wzorze ogólnym:

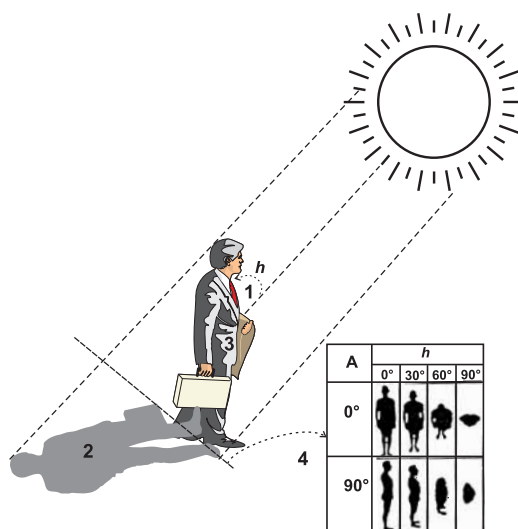
$$R = \Sigma (\beta \cdot I) \cdot \alpha \cdot Cl. \quad [3.8]$$

Badania teoretyczne i eksperymentalne prowadzone przez różnych autorów pozwoliły na zaproponowanie kilku form współczynnika β oraz parametrów α i Cl (Błażejczyk i inni 1993). W poszukiwaniu najlepszej postaci współczynnika β przyjmowano różne modele analogowe człowieka: cylinder lub elipsoidę (ryc. 3.12). Ostatnie lata przyniosły udane próby określania ilości promieniowania pochłoniętego poprzez modelowanie komputerowe (Fiala i inni 2001; Havenith 2001).

W większości modeli przyjmuje się założenie, że ciało człowieka odzwierciedla geometryczny model pionowo usytuowanego cylindra (Brown, Gillespie 1986; Budyko, Cicenکو 1960; Krys, Brown 1990). Istnieje wiele algorytmów, dzięki którym można obliczyć natężenie promieniowania pochłoniętego na podstawie geometrycznych zależności pomiędzy kątem padania promieni słonecznych a powierzchnią ciała człowieka (Ajzenštat 1973, 1987; Breckenridge, Goldman 1971, 1977; Budyko, Cicenکو 1960; Burt i inni 1982a; Freitas, Ryken 1989; Höppe 1982; Lee 1980; Morgan, Baskett 1974; Nielsen i inni 1988; Terjung 1969, 1974; Terjung, O'Rourke 1983; Tuller 1975). Badania eksperymentalne, pozwalające na wyprowadzenie wzorów empirycznych, jako pierwsi przeprowadzili S.A. Krys i R.D. Brown (1990). Autorzy zastosowali w swoim doświadczeniu pionowo usytuowany cylinder aluminiowy o średnicy 9,81 mm i długości 106,44 mm. W nawierconym otworze umieszczony był czujnik termometru. Powierzchnia cylindra miała albedo równe 37% i współczynnik emisyjności 0,95 (odpowiadający średniej emisyjności powierzchni ciała i odzieży). Pomiary prowadzone były w terenie otwartym, w warunkach nieba bezchmurnego i przy braku wiatru. Wyniki badań pozwoliły autorom na zaproponowanie pierwszego, empirycznego wzoru określającego natężenie promieniowania pochłoniętego przez człowieka (por. Błażejczyk i inni 1993).

W 1992 r. K. Błażejczyk, H. Nilsson i I. Holmér przeprowadzili badania ilości promieniowania słonecznego pochłoniętego przez elipsoidę (Błażejczyk 1993, 1995, 2004b; Błażejczyk i inni 1998). Ten analog ciała człowieka jest obecnie powszechnie stosowany w badaniach termofizjologicznych. Pomiary były prowadzone w komorze klimatycznej. Promieniowanie emitowała lampa jodowa, a jako czujnik pochłoniętego promieniowania słonecznego zastosowano tzw. miernik komfortu cieplnego. Jego dłuższa oś wynosiła 160 mm, a oś krótsza 54 mm. Powierzchnia czujnika miała albedo równe 30% i współczynnik emisyjności 0,95. Efekt promieniowania pochłoniętego przez czujnik był określony przez średnią temperaturę promieniowania (M_{rt}). Na podstawie prawa Ste-

fana-Boltzmana przeliczono wartość M_{rt} na jednostki energetyczne, wyrażone w $W \cdot m^{-2}$. Największa ilość pochłoniętego przez elipsoidę promieniowania słonecznego była obserwowana przy kącie padania promieni słonecznych około 20° (ryc. 3.13).



Ryc. 3.12. Różne sposoby wyrażania współczynnika β służącego do obliczenia pochłoniętego promieniowania słonecznego:

- 1 – funkcja trygonometryczna (np. Budyko, Cycenko 1960; Błażejczyk 1994; Krys, Brown 1990);
- 2 – funkcja wielkości cienia rzucanego przez człowieka na podłoże (Terjung, Louie 1971);
- 3 – funkcja powierzchni ciała, na którą padają promienie słoneczne (Breckenridge, Goldman 1971);
- 4 – funkcja zarysu sylwetki człowieka na powierzchni prostopadłej do promieni słonecznych (Underwood, Ward 1966)

Fig. 3.12. Various ways to assess β coefficient of absorption of solar radiation:

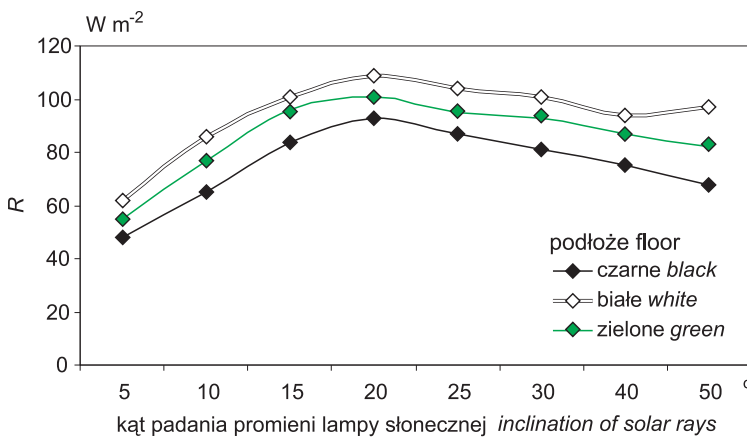
- 1 – trigonometrical function;
- 2 – shaded area factor;
- 3 – body area received solar rays;
- 4 – projected area factor

Źródło / Source: Błażejczyk (1995).

Szukając jeszcze dokładniejszej metody określania ilości pochłoniętego promieniowania słonecznego podjęto badania na manekinie, który najwierniej odwzorowuje kształt ciała ludzkiego. Badania przeprowadzono na stacji badawczej IGIPZ PAN w Borowej Górze koło Warszawy. Wykonano cztery serie pomiarów: w sierpniu i październiku 1995 r., oraz w lipcu 1996 i 1997 r. Wyniki badań pozwoliły na zaproponowanie nowych modeli cyfrowych pochłoniętego promieniowania słonecznego (Błażejczyk 1998a, 2004b).

Model SolDir jest stosowany wtedy, gdy dysponujemy danymi o natężeniu wszystkich strumieni promieniowania słonecznego (bezpośredniego, rozproszonego i odbitego od podłoża). Niestety, pomiary wszystkich strumieni promieniowania

słonecznego są na stacjach meteorologicznych prowadzone sporadycznie. Nieco częściej natomiast prowadzi się pomiary promieniowania całkowitego oraz obserwacje zachmurzenia. Korzystając z takich danych można ilość promieniowania pochłoniętego przez człowieka obliczyć za pomocą modelu SolGlob. Gdy nie dysponujemy żadnymi danymi pomiarowymi dotyczącymi natężenia promieniowania słonecznego, można zastosować model SolAlt, który pozwala na oszacowanie ilości promieniowania pochłoniętego przez człowieka na podstawie informacji o wielkości zachmurzenia i wysokości Słońca. Automatyczne systemy pomiarów meteorologicznych dostarczają natomiast danych o widzialności poziomej. Model SoVis może na ich podstawie oszacować – z błędem rzędu 20% – ilość pochłoniętego przez człowieka promieniowania słonecznego. Szczegółowe wzory służące do obliczenia pochłoniętego promieniowania słonecznego zawiera Załącznik A.



Ryc. 3.13. Natężenie promieniowania słonecznego pochłoniętego przez odkryty elipsoidalny model ciała człowieka (R_e) przy różnym kącie padania promieni lampy słonecznej ($^\circ$) i różnej barwie podłoża

Fig. 3.13. Intensity of solar radiation absorbed by an ellipsoid model of man (R_e) at various inclination of solar rays ($^\circ$) emitted by iodide lamp and at different colour of floor

Źródło / Source: Błażejczyk (1995).

3.2. Promieniowanie długofalowe

Promieniowanie słoneczne jest pochłaniane nie tylko przez ciało człowieka, ale także przez powierzchniową warstwę gleby, porastającą ją roślinność oraz przez wszystkie obiekty znajdujące się w naszym otoczeniu. Ciepło zaabsorbowane przez te obiekty jest następnie emitowane do atmosfery w postaci promienio-

wania o długości fali od 4 do 100 μm . Ten zakres promieniowania jest nazywany promieniowaniem długofalowym lub promieniowaniem cieplnym. Promieniowanie długofalowe jest w atmosferze pochłaniane przez zawarte w niej gazy, głównie parę wodną, dwutlenek węgla i metan, co podwyższa temperaturę przygruntowej warstwy powietrza. Następuje również reemisja promieniowania cieplnego z atmosfery w kierunku powierzchni ziemi i dlatego ten jego strumień nazywa się promieniowaniem zwrotnym atmosfery. Promieniowanie to jest pochłaniane przez ciało człowieka i reemitowane przez nie. Strumienie promieniowania długofalowego są istotnym elementem kształtowania środowiska termicznego człowieka oraz oddziałują na bilans cieplny całego organizmu.

Określając energię promieniowania cieplnego wykorzystuje się prawo Stefana-Boltzmana, które mówi, że każde ciało o temperaturze wyższej od zera absolutnego (0 K) emituje promieniowanie długofalowe (L_r) o natężeniu proporcjonalnym do czwartej potęgi swej temperatury:

$$L_r = s \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [3.9]$$

Współczynnik emisyjności (s) jest różny dla poszczególnych powierzchni. Jego wartość przyjmowana najczęściej dla atmosfery i dla powierzchni naturalnych wynosi 0,97. Dla ciała ludzkiego współczynnik emisyjności ma wartość 0,95.

3.3. Usłonecznienie

Jedną z miar określających ilość promieniowania słonecznego docierającego do człowieka jest usłonecznienie, tj. czas, w którym bezpośrednio promieniowanie słoneczne dociera do powierzchni Ziemi. Mierzy się je za pomocą tzw. heliografów, a podstawowe charakterystyki usłonecznienia to:

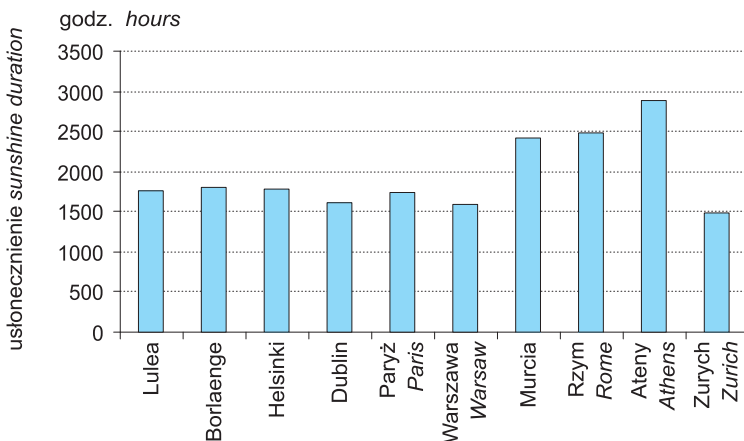
- usłonecznienie rzeczywiste, wyrażające w godzinach (z dokładnością do dziesiątej części godziny) czas, w którym do danego fragmentu powierzchni Ziemi promieniowanie bezpośrednio dociera bez zakłóceń spowodowanych przeszkodami. Informacje heliograficzne pozwalają na obliczenie sum dziennych, dekadowych, miesięcznych i rocznych usłonecznienia oraz sum w przedziałach godzinnych, a także liczby dni z usłonecznieniem poniżej 1 godziny i powyżej 4 godzin dziennie (czas ten jest przyjmowany za dolną granicę bakteriobójczego działania promieni słonecznych);
- usłonecznienie względne, czyli stosunek procentowy usłonecznienia rzeczywistego do usłonecznienia astronomicznie możliwego, liczonego od wschodu do zachodu Słońca przy niebie bezchmurnym.

Należy przy tym pamiętać, że do poprawnej interpretacji danych dotyczących usłonecznienia – czy to rzeczywistego, czy też względnego – należy brać pod uwagę tzw. zasłonięcie horyzontu poprzez różne obiekty (wzniesienia, zabudowania, drzewa itp.). Ogranicza ono czas usłonecznienia poprzez przesłonięcie promieni słonecznych podczas pozornego ruchu Słońca na nieboskłonie.

3.3.1. Usłonecznienie rzeczywiste

Sumy usłonecznienia rzeczywistego zależą od kilku czynników, a mianowicie: szerokości geograficznej i pory roku (które kształtują długość dnia), zasłonięcia horyzontu (które może ograniczać dopływ promieniowania bezpośredniego w różnych porach dnia, szczególnie w godzinach porannych i wieczornych) oraz od wielkości zachmurzenia. Wysokie sumy usłonecznienia na południu Europy są związane zarówno z długością dnia, jak i małym zachmurzeniem, zwłaszcza w okresie letnim (ryc. 3.14). Stosunkowo duże sumy usłonecznienia na północy kontynentu są związane z występowaniem tam w okresie letnim tzw. dnia polarnego. Długi czas insolacji, mimo znacznego niekiedy zachmurzenia, sprawia, że miesięczne sumy godzin ze słońcem są latem podobne jak na bezchmurnym niebie basenu Morza Śródziemnego. W umiarkowanych szerokościach geograficznych przymuje się, że do funkcji rekreacyjnych potrzebna jest roczna suma usłonecznienia większa niż 1350 godzin. W odniesieniu do leczenia klimatycznego norma usłonecznienia wynosi 1500 godzin rocznie (Kozłowska-Szczęсна i inni 1997, 2004).

Analizując szczegółowo przydatność usłonecznienia do rekreacji rozpatruje się sumy usłonecznienia w tych przedziałach czasowych, w których rekreanci i turyści najczęściej przebywają na otwartym powietrzu. W półroczu zimowym (październik–marzec) są to godziny od 9 do 15, a w półroczu letnim (kwiecień–wrzesień) godziny od 6 do 18.



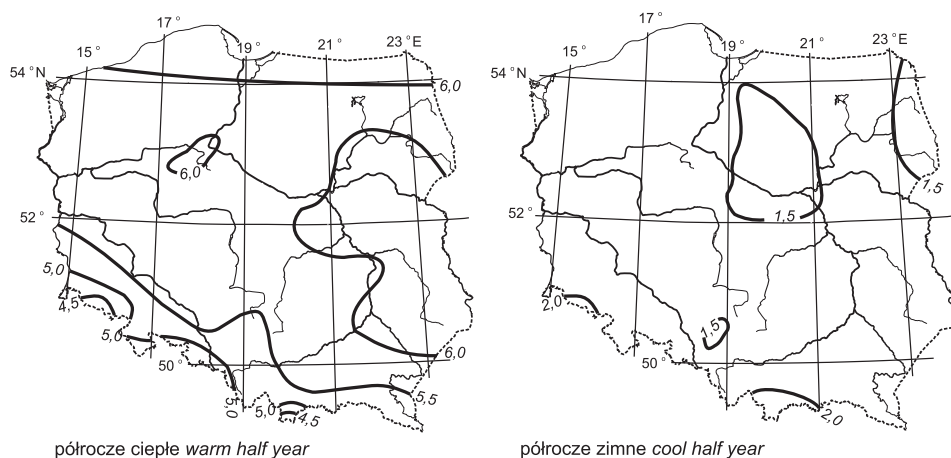
Ryc. 3.14. Roczne sumy usłonecznienia rzeczywistego w wybranych stacjach meteorologicznych w Europie, 1981–1990

Fig. 3.14. Annual sums of sunshine duration at selected meteorological stations in Europe, 1981–1990

Źródło / Source: METEONORM 4.0.

Obserwuje się zależność usłonecznienia od wysokości nad poziomem morza. M. Kuczmarcki (1984) stwierdził, że w Polsce w półroczu zimowym lepsze warunki usłonecznienia obserwuje się w obszarach podgórskich i górskich (gdzie pułap

chmur zalega niekiedy poniżej poziomu miejscowości) niż na nizinach. Natomiast w półroczu letnim korzystniejsze, w zestawieniu z górami, warunki usłonecznienia panują na nizinach, a szczególnie na wybrzeżu Bałtyku (ryc. 3.15).



Ryc. 3.15. Sumy dzienne usłonecznienia rzeczywistego (godz.) w Polsce, 1951–1975

Fig. 3.15. Daily sums of sunshine duration (hours) in Poland, 1951–1975

Źródło / Source: Kuczmański (1984).

3.3.2. Usłonecznienie względne

Usłonecznienie względne jest dobrym wskaźnikiem – uwarunkowanym astro-nomicznie, geograficznie i meteorologicznie – możliwości wykorzystania promieniowania słonecznego w ciągu dnia, miesiąca lub roku do celów rekreacyjnych. J. Skrzypski (1974) opracował następującą skalę przydatności usłonecznienia do kąpieli słonecznych:

Usłonecznienie względne (%)	Możliwość stosowania kąpieli słonecznych
< 20,0	mała lub żadna
20,0–39,9	mierna
40,0–59,9	umiarkowana
≥ 60,0	dobra i bardzo dobra.

3.4. Zachmurzenie

Zachmurzenie jest elementem meteorologicznym, który silnie wpływa na dopływ promieniowania słonecznego oraz na sumy usłonecznienia. Od stopnia pokrycia nieba przez chmury zależy dopływ energii słonecznej w ciągu dnia

i wypromieniowanie ciepła nocą. Wielkość zachmurzenia decyduje też o typie pogody (Woś 1999). Zależy ono od rodzaju napływających mas powietrza, od czynników lokalnych oraz od wyniesienia nad poziom morza (Matuszko 2006).

W międzynarodowej klasyfikacji chmur wyróżnia się trzy podstawowe piętra chmur:

- wysokie, gdzie tworzą się chmury pierzaste (*Cirrus* – Ci, *Cirrostratus* – Cs oraz *Cirrocumulus* – Cc);
- średnie, gdzie powstają chmury *Altostratus* (As) i *Altostratus* (As);
- niskie, gdzie występują głównie chmury warstwowe (*Stratus* – St, *Nimbostratus* – Ns i *Stratocumulus* – Sc).

Są także chmury kłębiaste o budowie pionowej (*Cumulus* – Cu i *Cumulonimbus* – Cb), których podstawa może znajdować się około 500 m nad ziemią, a wierzchołek nawet na wysokości 10–12 km.

Wysokość poszczególnych pięter chmur, szczególnie chmur piętra wysokiego, jest odmienna w różnych strefach geograficznych (tab. 3.9).

Występowanie różnego rodzaju chmur, a zwłaszcza ich następstwo w czasie i sąsiedztwo w przestrzeni może być wskaźnikiem nadchodzących zjawisk meteorologicznych lub zmiany warunków pogodowych.

Rodzaj zachmurzenia zależy od pory roku. W ciepłej połowie roku przeważa zachmurzenie typu konwekcyjnego. Chmury kłębiaste tworzą się w wyniku prądów wstępujących powstających nad obszarami lądowymi, silnie nagrzanymi w wyniku dopływu promieniowania słonecznego. Dlatego rozwijają się one zwykle w kilka godzin po wschodzie Słońca, a rozbudowują maksymalnie w godzinach popołudniowych. Z tego właśnie powodu w ciepłej połowie roku bardziej usłonecznione bywają godziny przedpołudniowe niż popołudniowe. W obszarach górskich tworzeniu się chmur kłębiastych sprzyja dodatkowo wymuszane przez przeszkody orograficzne wznoszenie się prądów powietrza przepływającego nad pasmami wzniesień. Latem zachmurzenie w górach jest z tego powodu w ciągu dnia z reguły większe niż w obszarach nizinnych. W chłodnej połowie roku przeważają chmury warstwowe piętra niskiego.

Tabela 3.9. Wysokość występowania chmur (km) w różnych strefach geograficznych

Table 3.9. Altitudes (km) of different groups of clouds at various geographical zones

Piętro Level	Chmury Clouds	Strefa geograficzna Geographical zone		
		polarna polar	umiarkowana temperate	międzyzwrotni- kowa tropical
Wysokie High	Ci, Cc, Cs	3–8	5–13	6–18
Średnie Middle	Ac, As	2–4	2–7	2–8
Niskie Low	Ns, Sc, St	< 2	< 2	< 2
Chmury o budowie pionowej Vertical clouds	Cu, Cb		0,5–15	

Źródło / Source: Woś (1999).

Najogólniejszą charakterystykę zachmurzenia dają wartości stopnia pokrycia nieba przez chmury, określane obecnie w skali dziewięciostopniowej, od 0 do 8, czyli w tzw. oktantach. W niektórych opracowaniach klimatycznych i informacjach pogodowych wielkość zachmurzenia może być także podawana w skali 11-stopniowej (od 0 do 10) lub w procentach (od 0 do 100%).

Wielkość i rodzaj zachmurzenia wpływają na stan psychiczny człowieka; dodatni jest wpływ jasnej, słonecznej pogody, a ujemny – pochmurnej. Dłuższe okresy pogody z zachmurzeniem całkowitym są uciążliwe psychicznie i biologicznie, z uwagi na niedobór bodźców świetlnych. Osoby, których organizm w niewystarczającym stopniu korzysta z promieniowania słonecznego, mają objawy tzw. głodu słonecznego – są nimi między innymi: bladość skóry, zaburzenia snu, nadmierna pobudliwość lub zmęczenie i apatia, obniżenie sprawności fizycznej i umysłowej oraz zmniejszenie odporności organizmu na działanie drobnoustrojów chorobotwórczych (Danilova 1988).

Z punktu widzenia rekreacji ważne jest określenie, przez ile dni w danej miejscowości lub danym regionie występuje niebo bezchmurne, ile jest dni o zachmurzeniu równym i mniejszym niż 50% oraz dni o zachmurzeniu całkowitym (100%). Według kryteriów Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO) za dzień pogodny uważa się taki, w którym zachmurzenie średnie (N_{sr}), liczone z trzech podstawowych terminów obserwacyjnych (6:00, 12:00 i 18:00 czasu uniwersalnego, UTC) jest nie większe od 2, a za dzień pochmurny taki, w którym zachmurzenie średnie równe jest 8. Im więcej jest dni bezchmurnych ($N_{\text{sr}} = 0$), dni pogodnych ($N_{\text{sr}} \leq 2$) lub z małym zachmurzeniem ($N_{\text{sr}} = 2, 1, 4, 0$), tym korzystniejsze są warunki do zażywania kąpielii słonecznych.

3.5. Temperatura powietrza

Pełnej oceny przydatności warunków termicznych na potrzeby rekreacji i turystyki można dokonać jedynie na podstawie analizy bilansu cieplnego człowieka (zob. rozdziały 5 i 8). Niemniej jednak przybliżonych ocen można dokonać także na podstawie prostych wskaźników termicznych, związanych z samymi wartościami (średnimi, skrajnymi) temperatury powietrza i jej wahaniami dobowymi, międzydobowymi i sezonowymi. Przyjmuje się następujące charakterystyki:

- częstość temperatury maksymalnej i minimalnej powietrza przekraczającej określone progi wartości,
- średnia dobowa temperatura powietrza,
- temperatura powietrza w godzinach południowych,
- międzydobowe zmiany temperatury powietrza,
- amplituda dobowa temperatury powietrza,
- zmienność temperatury powietrza pomiędzy kolejnymi terminami obserwacyjnymi.

Na podstawie obserwacji meteorologicznych dotyczących skrajnych temperatur powietrza (maksymalnej i minimalnej) można określić, jaki jest zakres

warunków termicznych w danym miejscu i okresie. Szczególnie uciążliwe dla człowieka są warunki termiczne odznaczające się bardzo wysoką lub bardzo niską temperaturą powietrza. Dni, w których temperatura maksymalna (t_{max}) jest równa lub wyższa od $25,0^{\circ}\text{C}$ określa się jako dni gorące. Gdy temperatura maksymalna (t_{max}) jest równa lub wyższa od $30,0^{\circ}\text{C}$, dzień nazywa się upalnym. Za dzień mroźny przyjmuje się taki, w którym temperatura maksymalna (t_{max}) jest niższa od $0,0^{\circ}\text{C}$, za dzień bardzo mroźny – gdy temperatura minimalna (t_{min}) jest równa lub niższa od $-10,0^{\circ}\text{C}$, a skrajnie mroźny – gdy temperatura maksymalna (t_{max}) jest równa lub niższa od $-10,0^{\circ}\text{C}$.

Oceniając warunki termiczne wybranego okresu lub obszaru oblicza się częstość występowania dni z temperaturą przekraczającą podane wyżej progi. Wraz ze wzrostem częstości dni gorących, upalnych, mroźnych i bardzo mroźnych zwiększa się stopień uciążliwości warunków biotermicznych.

Bodźcowość warunków termicznych określana jest na podstawie zmienności temperatury. Zmienność tę wyznaczają różnice temperatury pomiędzy różnymi okresami. Najczęściej stosowanym miernikiem bodźcowości warunków termicznych jest wartość dobowej amplitudy temperatury, tzn. różnicy między temperaturą maksymalną i minimalną ($dt = t_{max} - t_{min}$). Wartość dt odzwierciedla dobowe kontrasty termiczne i w istotny sposób wpływa na samopoczucie człowieka podczas rekreacji związanej z długotrwałym przebywaniem w terenie otwartym. Poszczególnym wartościom dt jest przypisane następujące natężenie bodźców termicznych:

dt ($^{\circ}\text{C}$)	Bodźce termiczne
< 4,0	obojętne
4,0–7,9	słabo odczuwalne
8,0–11,9	silnie odczuwalne
$\geq 12,0$	ostre.

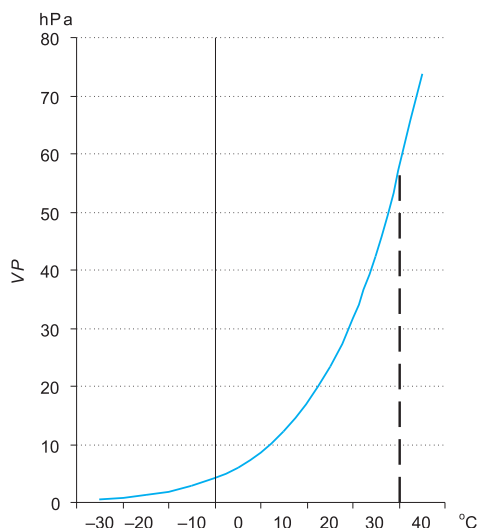
Oceny warunków biotermicznych można dokonywać dla poszczególnych dni, jak również określać częstość różnych wartości temperatury w dłuższych okresach obserwacyjnych.

3.6. Wilgotność powietrza

Para wodna zawarta w powietrzu jest ważnym czynnikiem kształtującym odczucia cieplne człowieka. Wysoka wilgotność powietrza powoduje zakłócenia procesu oddawania ciepła z organizmu do otoczenia poprzez parowanie. Powoduje także potęgowanie się odczucia zimna i chłodu przy niskiej temperaturze powietrza oraz nasilenie się odczucia gorąca przy wysokiej temperaturze otoczenia. Niska wilgotność powietrza może natomiast zwiększać straty wody z organizmu.

Podstawową charakterystyką wilgotności powietrza jest ciśnienie pary wodnej (v_p), które w starszych publikacjach bywało nazywane „prężnością pary wodnej”. Mówi ono, jakie ciśnienie wywiera para wodna zawarta w słupie powietrza na jednostkę powierzchni. Stopień nasycenia powietrza parą wodną zale-

ży od jego temperatury. Maksymalne ciśnienie pary wodnej w powietrzu możliwe przy danej temperaturze nazywane jest ciśnieniem pary wodnej nasyconej (Niedźwiedź, red. 2003). W temperaturze -30°C w powietrzu może znaleźć się maksymalnie taka ilość pary wodnej, która wywiera ciśnienie 0,5 hPa, natomiast w temperaturze $+40^{\circ}\text{C}$ w tej samej masie powietrza może pomieścić się para wodna wywierająca ciśnienie prawie 74 hPa. W temperaturze równej temperaturze ciała człowieka ($36,5^{\circ}\text{C}$) ciśnienie nasyconej pary wodnej wynosi blisko 61 hPa (ryc. 3.16).



Ryc. 3.16. Maksymalne wartości ciśnienia pary wodnej (VP) w różnej temperaturze powietrza (t): linią przerywaną zaznaczono ciśnienie pary wodnej nasyconej w temperaturze ciała człowieka

Fig. 3.16. Saturated vapour pressure (VP) at various air temperature (t): dotted line indicate saturated vapour pressure at human's body temperature

Opracowanie własne. / Own elaboration.

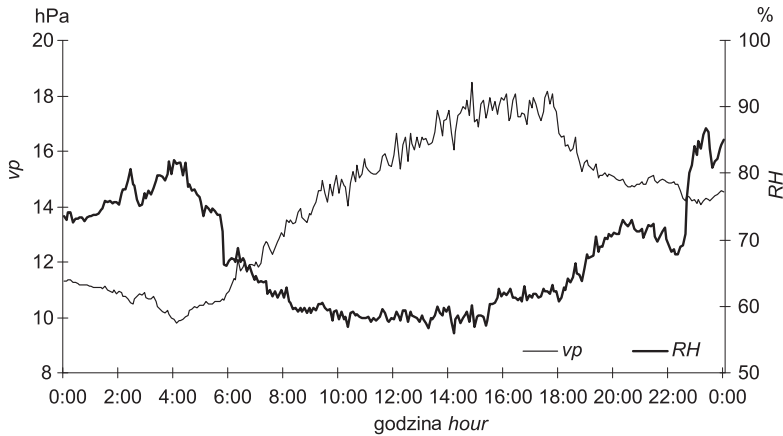
Aktualne ciśnienie pary wodnej jest prostym wskaźnikiem parności, uczucia uciążliwego dla człowieka, które objawia się trudnościami w oddychaniu oraz powoduje znaczne obciążenie pracy serca. Według tzw. kryterium Scharlau'a za dzień parny uznaje się taki, w którym choćby w jednym terminie obserwacyjnym vp jest równe lub wyższe od 18,8 hPa. Kryterium K. Scharlau'a odnosi się do człowieka stojącego lub wykonującego lekką pracę (Kozłowska-Szczęsna i inni 1997).

Najczęściej używaną charakterystyką warunków higrycznych jest wilgotność względna powietrza (RH). Wyraża ona w procentach zawartość pary wodnej w jednostce objętościowej atmosfery w stosunku do maksymalnej możliwej jej zawartości w danej temperaturze:

$$RH = vp/VP \cdot 100$$

[3.10]

Gdy aktualne ciśnienie pary wodnej w powietrzu (vp) jest równe jego zawartości maksymalnej (VP) mówimy o pełnym nasyceniu powietrza parą wodną; jego wilgotność względna wynosi wtedy 100%. Z sytuacją taką mamy do czynienia podczas gęstej mgły i ciągłych opadów deszczu, a niekiedy także w godzinach nocnych i porannych. W warunkach klimatycznych Polski, w godzinach nocnych wilgotność względna wzrasta z reguły do 85-95%, natomiast w ciągu dnia maleje do 40-60% (ryc. 3.17).



Ryc. 3.17. Przebieg dzienny wilgotności względnej powietrza (RH) i ciśnienia pary wodnej (vp) podczas pogodnego dnia letniego. Krasnobród, 11 lipca 2000

Fig. 3.17. Daily course of relative humidity (RH) and actual vapour pressure (vp) during sunny, summer day. Krasnobród, 11 July 2000

Badania własne. / Own data.

Najprostszym kryterium oceny warunków wilgotnościowych atmosfery jest wilgotność względna powietrza (Bokša, Boguckij 1980):

RH (%)	Odczucie wilgotności
$\leq 56,0$	powietrze suche
56,1–70,0	powietrze umiarkowanie suche
70,1–85,0	powietrze wilgotne
$> 85,0$	powietrze bardzo wilgotne.

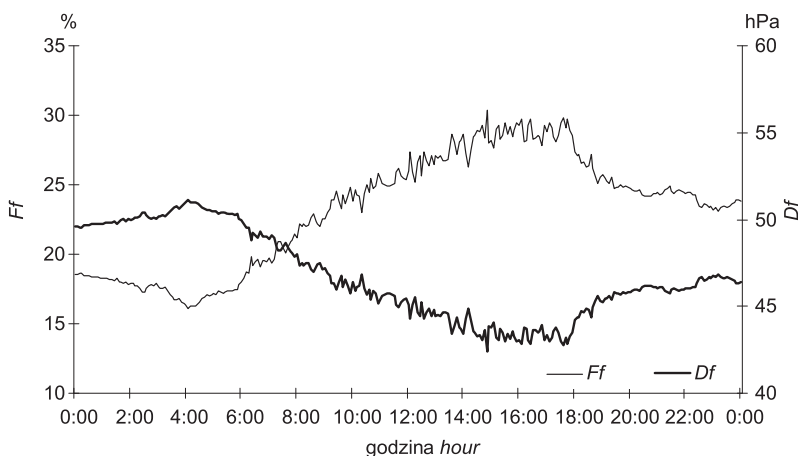
Analizując wartości RH zamieszczone na rycinie 3.17 można stwierdzić, że przez prawie cały dzień, pomiędzy godziną 6:00 a 19:30 ludzie mogli odczuwać powietrze jako umiarkowanie suche. Niekorzystne do spacerów były godziny wieczorne, gdyż powietrze było odczuwane jako wilgotne, a od godziny 23:00 – nawet jako bardzo wilgotne.

Do celów bioklimatycznych stosuje się również dwa inne wskaźniki oparte na wartościach ciśnienia pary wodnej. Pierwszy to wilgotność fizjologiczna (Ff), która wyraża w procentach stosunek ciśnienia pary wodnej w danej temperaturze

(vp) do ciśnienia pary wodnej nasyconej w temperaturze ciała człowieka wynoszącego 60,9 hPa:

$$Ff = 100 \cdot vp / 60,9 \quad [3.11]$$

Wartości Ff wzrastają wraz ze wzrostem ciśnienia pary wodnej i wskazują na stopień uwilgocenia powietrza w odniesieniu do poziomu dopuszczalnego fizjologicznie. Wartość wilgotności fizjologicznej równa 100% występuje wtedy, gdy ciśnienie pary wodnej w powietrzu jest równe ciśnieniu pary wodnej na powierzchni skóry o temperaturze 36,5°, całkowicie pokrytej warstewką potu. W takich warunkach odparowanie potu jest niemożliwe, co może prowadzić do udaru ciepłego. Na szczęście, w warunkach klimatycznych Polski sytuacje takie praktycznie się nie pojawiają. Można się z nimi natomiast zetknąć dość często w strefie wilgotnego klimatu równikowego.



Ryc. 3.18. Niedosyt fizjologiczny (Df) oraz wilgotność fizjologiczna (Ff) podczas pogodnego dnia letniego. Krasnobród, 11 lipca 2000 r.

Fig. 3.18. Daily course of physiological vapour deficit (Df) and physiological humidity (Ff) during sunny, summer day. Krasnobród, 11 July 2000

Badania własne. / Own data.

Drugi ze wskaźników to niedosyt fizjologiczny (Df), rozumiany jako różnica między ciśnieniem pary wodnej nasyconej w temperaturze 36,5°C i aktualnym ciśnieniem pary wodnej:

$$Df = 60,9 - vp \quad [3.12]$$

Df jest wskaźnikiem wielkości parowania z płuc i górnych dróg oddechowych. W ujemnej temperaturze powietrza i niskiej jego wilgotności taka forma oddawania ciepła może stanowić nawet 10-15% strat ciepła z organizmu człowieka

(Krawczyk 1993). Wartościom Df przypisuje się następujące stopnie odczucia wilgotności:

Df (hPa)	Odczucie wilgotności
< 45,0	parno
45,0–53,0	przyjemnie, komfort
> 53,0	sucho.

Przykład przebiegu dobowego wilgotności fizjologicznej (Ff) oraz niedosytu fizjologicznego (Df) podczas ciepłego, pogodnego dnia letniego w Polsce południowo-wschodniej ilustruje rycina 3.18. Niedosyt fizjologiczny wahał się od 43 hPa w godzinach popołudniowych do około 51 hPa w godzinach przed wschodem Słońca. Pomiedzy godziną 12 a 18 wartości Df były niższe od 45 hPa, wskazując na występowanie odczucia parności. Wilgotność fizjologiczna wahała się od około 15% w godzinach porannych do prawie 30% po południu. Inne wskaźniki ilustrujące obciążenia termiczno-wilgotnościowe organizmu przedstawiono w dalszych rozdziałach książki.

3.7. Ruch powietrza

Ruch powietrza nie tylko oddziałuje mechanicznie na człowieka; jest także ważnym czynnikiem – obok temperatury powietrza i promieniowania słonecznego – kształtującym subiektywne odczucia komfortu lub dyskomfortu termicznego. Silny wiatr przy niskiej temperaturze, podobnie jak słaby ruch powietrza przy wysokiej temperaturze (zwłaszcza podczas dużej wilgotności powietrza) mogą powodować zakłócenia w bilansie cieplnym człowieka.

Na potrzeby bioklimatologii człowieka przyjmuje się klasyfikację prędkości wiatru K. Knocha (cyt. Jankowiak, Parczewski, red. 1978). Klasyfikacja ta może mieć także zastosowanie przy analizie wpływu warunków wietrznych (anemologicznych) na rekreację i turystykę. Wiatr w następujących przedziałach prędkości (obserwowanej na wysokości 10 m nad gruntem) jest odczuwany jako:

v ($m \cdot s^{-1}$)	Odczucie prędkości wiatru
0,0–1,0	cisza
1,1–4,0	słaby
4,1–8,0	umiarkowany
> 8,0	silny.

W analizach bioklimatycznych należy przede wszystkim zwracać uwagę na dwa zakresy prędkości wiatru: $\leq 1 m \cdot s^{-1}$ oraz $> 8 m \cdot s^{-1}$. Im większa jest liczba przypadków ciszy lub wiatru silnego w poszczególnych terminach obserwacyjnych, tym większych ograniczeń dla rekreacji i turystyki należy się spodziewać. Cisze atmosferyczne sprzyjają stagnacji powietrza i zawartych w nim zanieczyszczeń. Utrudnione jest też oddawanie ciepła z organizmu człowieka do otoczenia, co może prowadzić do przegrzania ustroju. Natomiast podczas wiatrów silnych

dochodzi do nadmiernego ochładzania powierzchni ciała; skutkiem bywa wychłodzenie organizmu.

W opracowaniach bioklimatycznych, zwłaszcza przy obliczaniu większości wskaźników biometeorologicznych, należy uwzględniać prędkość wiatru na poziomie odpowiadającym tułowiu człowieka. Międzynarodowe Stowarzyszenie Biometeorologii (ISB) zaleca jako standardową wysokość 1,2 m. Prędkości wiatru $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ zmierzonej na wysokości 10 m odpowiada $5,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na wysokości 1,2 m. Przy redukcji prędkości wiatru można skorzystać z następującego wzoru (Liopo, Cicenکو 1971):

$$v_z = v_w \cdot (h_z / h_w)^{0,2} \quad [3.13]$$

gdzie: v_z – prędkość wiatru na wysokości z , v_w – prędkość wiatru na wysokości wiatromierza, h_z – badana wysokość z , h_w – wysokość wiatromierza.

Gdy nie mamy informacji o wysokości wiatromierza, WMO proponuje uproszczony sposób redukcji prędkości wiatru, polegający na przemnożeniu prędkości wiatru obserwowanej na wiatromierzu przez współczynnik 0,66.

3.8. Ciśnienie atmosferyczne

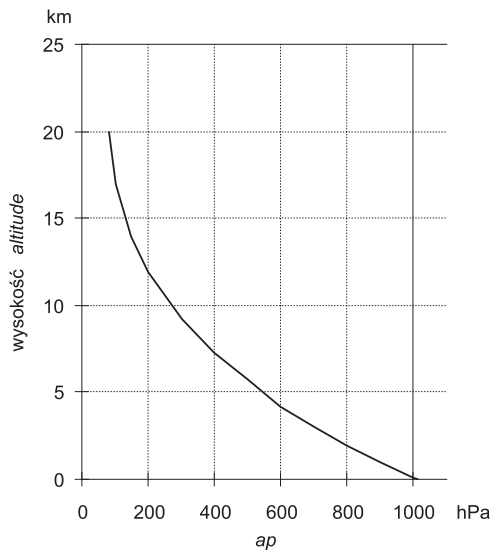
Ciśnienie atmosferyczne oraz jego okresowe wzrosty i spadki powodują w organizmie człowieka różne reakcje. Okresowe zmiany ciśnienia atmosferycznego są odczuwane jako ucisk, kłucie czy dzwonienie w uszach. Wiele osób skarży się wtedy także na zakłócenia pracy serca, wahania ciśnienia krwi oraz na uczucie zdemotywowania lub niepokoju. Do oceny międzydobowych zmian ciśnienia (dp) stosuje się następującą skalę (Błażejczyk 2004a; Bokša, Boguckij 1980):

dp (hPa)	Odczucie zmian ciśnienia
$\leq 4,0$	zmiany słabe
4,1–8,0	zmiany umiarkowane
8,1–12,0	zmiany silne
$> 12,0$	zmiany bardzo silne.

Planując wyjazd urlopowy oraz wędrowki po górach należy pamiętać, że w miarę wzrostu wysokości nad poziom morza następuje obniżenie ciśnienia atmosferycznego o około 1,3 hPa na każde 10 m wzniesienia. W wysokich górach gradient pionowy ciśnienia może nawet wynosić 1,5–1,7 hPa na 10 m (ryc. 3.19).

Wraz ze spadkiem ciśnienia w górach następuje także spadek ciśnienia cząsteczkowego tlenu w powietrzu (PiO_2) oraz w pęcherzykach płucnych (PaO_2). Początkowo działa to pobudzająco na organizm ludzki, który musi kompensować zmniejszającą się ilość tlenu zwiększeniem przepływu krwi. Gdy wartość PaO_2 spadnie poniżej wartości krytycznej, około 47 hPa, dochodzi do zaburzeń funkcji mózgu wskutek hipoksji (niedotlenienia). Przy normalnej intensywności oddychania wartość tę osiąga się na wysokości około 4 000 m n.p.m. Organizm

usiłuje wyrównać niedostatek tlenu poprzez zintensyfikowanie oddychania. Przy dwukrotnym zwiększeniu intensywności wentylacji płuc powietrzem atmosferycznym wartość krytyczna PaO_2 pojawia się na około 7 000 m npm., przy wzroście trzykrotnym – na 8 000 m npm. Należy pamiętać, że zwiększenie intensywności oddychania bardzo obciąża organizm człowieka, dlatego tylko nieliczni, zdrowi, najbardziej sprawni fizycznie ludzie mogą bez aparatów tlenowych uprawiać wspinaczkę na wysokości ponad 7 000 m npm. Przy oddychaniu czystym tlenem (z butli) wartość krytyczna PaO_2 pojawia się dopiero na wysokości 12 500 m npm. (ryc. 3.20). Wspomniana wyżej prawidłowość odgrywa ważną rolę podczas podróży lotniczych. W przypadku dekompresji kabiny na wysokości przełotowej 10 000–12 000 m npm. zastosowanie masek tlenowych zwiększa możliwość przeżycia załogi i pasażerów.



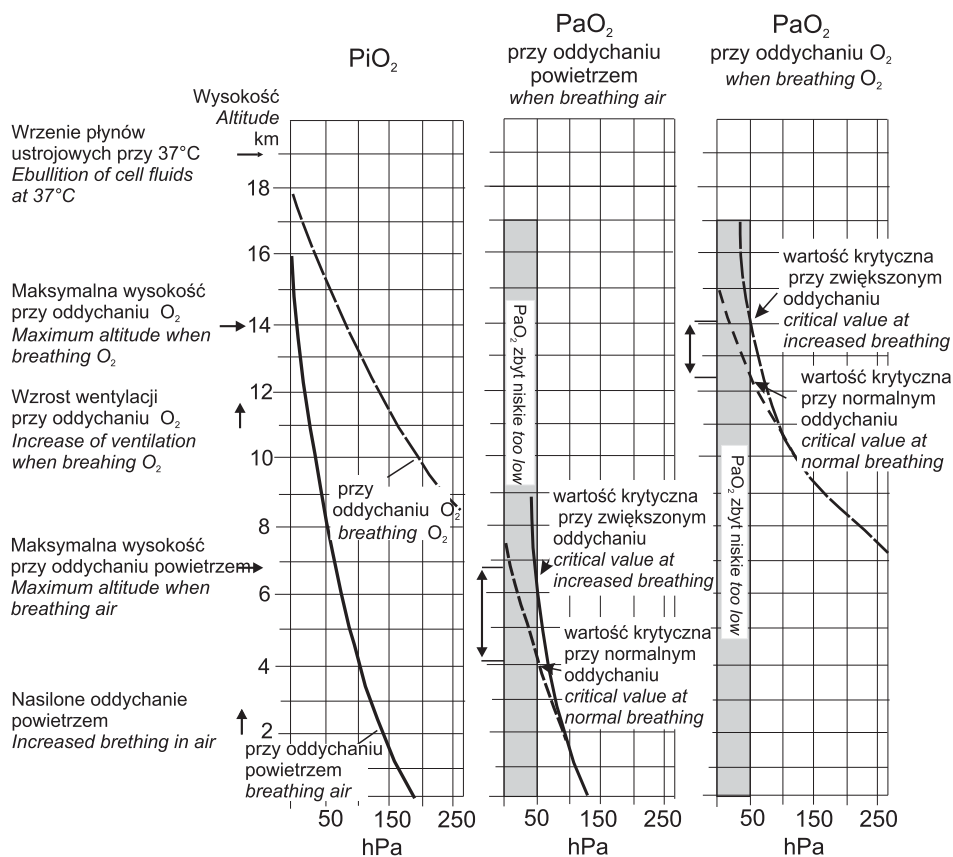
Ryc. 3.19. Zmiany ciśnienia atmosferycznego (ap) wraz z wysokością npm.

Fig. 3.19. Changes of air pressure (ap) due to altitude a.s.l.

Opracowanie własne. / Own elaboration.

3.9. Zjawiska meteorologiczne

Na możliwość i efektywność rekreacji i turystyki wpływają także zjawiska meteorologiczne, czyli tzw. meteory. Obserwuje się je nie przy użyciu przyrządów pomiarowych, ale za pomocą zmysłów. Wyróżnia się cztery grupy zjawisk: hydrometeory, litometeory, fotometeory i elektrometeory. Hydrometeory wiążą się z obecnością w powietrzu wody w stanie stałym lub ciekłym, litometeory – z zawartością w powietrzu drobnych cząstek stałych unoszonych przez wiatr.



Ryc. 3.20. Zmiany ciśnienia cząsteczkowego tlenu w powietrzu i w pęcherzykach płucnych wraz ze wzrostem wysokości nad poziom morza: PiO₂ – ciśnienie cząsteczkowe tlenu wewnątrz dróg oddechowych (powietrze wilgotne), PaO₂ – ciśnienie cząsteczkowe tlenu w pęcherzykach płucnych

Fig. 3.20. Changes in partial pressure of oxygen in the air and in the lungs due to increase of altitude: PiO₂ – oxygen pressure in respiratory tracts, PaO₂ – oxygen pressure in the lungs

Źródło / Source: Silbernagl, Despopoulos (1994).

Źródłem fotometeorów jest promieniowanie słoneczne przenikające przez atmosferę ziemską, zaś elektrometeory są widzialnym lub słyszalnym przejawem elektryczności atmosferycznej. Zarówno sam fakt wystąpienia zjawiska, jak i jego intensywność określa się w sposób subiektywny. Wobec większości zjawisk stosuje się 3-stopniową gradację ich natężenia (Kossowska-Cezak i inni 2000).

Najliczniejszą grupę stanowią hydrometeory, do których zalicza się między innymi: deszcz, mżawkę, śnieg, krupy śnieżne, mgłę, zamieć śnieżną, rosę, szron, sadz (szadź), gołoledź. Znacznie rzadziej obserwuje się litometeory: zmętnienie,

dymy oraz wiry pyłowe i piaskowe. O zjawiskach optycznych w atmosferze, związanych z fotometeorami (tęcza, halo, wieniec, gloria, zielony błysk) i elektrometeorami (błyskawice, zorza polarna) i ich znaczeniu dla rekreacji pisano już w rozdziale 3.1.2.

Spośród hydrometeorów największy wpływ na przebieg rekreacji w terenie otwartym mają opady atmosferyczne i mgły. Poza rodzajem i intensywnością opadów ważnym kryterium ich oceny z punktu widzenia rekreacji i turystyki są: sumy (dobowe, miesięczne, roczne), częstość pojawiania się oraz czas trwania. Jako dzień z opadem przyjmuje się dzień, w którym suma opadu wyniosła co najmniej 0,1 mm. Wyróżnia się także dni z sumą dobową co najmniej 1, 10 i 20 mm. Częstość występowania dni z podanymi wyżej sumami opadów jest ważnym wskaźnikiem przydatności warunków klimatycznych do rekreacji i turystyki. Istotną charakterystyką warunków opadowych jest czas trwania opadu w ciągu dnia (Błażejczyk 1983, 1992a). Należy bowiem pamiętać, że często – zwłaszcza latem – intensywne opady deszczu mogą dawać sumy dobowe przekraczające 10 mm. Niemniej czas trwania tych opadów bywa często krótki, rzędu 30–60 minut; pozostała część dnia może być w pełni wykorzystywana dla rekreacji. Natomiast opady mżawki lub słabego deszczu, trwające wiele godzin lub nawet cały dzień mogą dawać dobowe sumy opadu 1–5 mm, a korzystanie z rekreacji jest w takich warunkach bardzo utrudnione.

Ważnym dla rekreacji i turystyki rodzajem opadu jest śnieg. W czasie opadu śniegu ma miejsce podobne ograniczenie możliwości rekreacji, jak w trakcie opadu deszczu. Pozytywne są jednak skutki takich opadów. Pokrywa śnieżna ma duże znaczenie psychofizyczne – sprzyja łagodzeniu stresów i napięć oraz wywołuje pozytywne wrażenia estetyczne. Gdy grubość pokrywy śnieżnej przekracza 10 cm, powstają dogodne warunki do uprawiania narciarstwa biegowego i turystyki narciarskiej, a warstwa śniegu grubsza od 20 cm sprzyja narciarstwu zjazdowemu (Łobożewicz 1979). Sama jednak decyzja o udostępnieniu tras biegowych i zjazdowych musi się opierać nie tylko na grubości śniegu, lecz uwzględnić także jego wilgotność, uwarstwienie i stopień przylegania do podłoża, aby zminimalizować zagrożenie lawinowe. W większości górskich ośrodków narciarskich prowadzi się stały monitoring stanu pokrywy śnieżnej (fot. 2). Niestety, nie wszyscy turyści i narciarze respektują informacje o zagrożeniu lawinowym, co często prowadzi do tragedii w górach. Informacje o występowaniu pokrywy śnieżnej oraz o jej grubości dostępne są w bazach danych meteorologicznych, a w okresie zimowym są także na bieżąco podawane w prognozach meteorologicznych.

Z bioklimatycznego punktu widzenia negatywnie oceniane są mgły, czyli zawieszone w powietrzu mikroskopijne kropelki wody. Mgły sprzyjają utrzymywaniu się w powietrzu zanieczyszczeń pyłowych i gazowych oraz ograniczają dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego. W obszarach zurbanizowanych mgła w połączeniu z zanieczyszczeniami powietrza może tworzyć tzw. smog. Wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje mgły: radiacyjną i adwekcyjną. Mgła radiacyjna tworzy się w wyniku intensywnego wychładzania się podłoża atmosfery w pogodne noce, najczęściej w wilgotnych zagłębieniach terenu oraz na brzegach rzek i zbiorników wodnych. W ciepłej połowie roku, w ciągu dnia mgły radiacyj-

ne z reguły zanikają na skutek dopływu promieni słonecznych (Błażejczyk, Grzybowski 1994), dlatego są z nimi związane największe ograniczenia dla rekreacji w godzinach wieczornych, nocnych i porannych. Trzeba to brać pod uwagę przy planowaniu pól biwakowych, w turystyce wędkarskiej oraz samochodowej. Mgły adwekcyjne wiążą się natomiast z napływem nad dany obszar wilgotnej i ciepłej masy powietrza. Charakterystykami klimatycznymi są: liczba dni z mgłą oraz czas jej utrzymywania się podawany w godzinach lub w liczbie terminów obserwacyjnych z tym zjawiskiem atmosferycznym.



Fot. 2. Pomiary właściwości pokrywy śnieżnej na Hali Gąsienicowej w Tatrach
Photo 2. Measurements of snow cover features at Hala Gąsienicowa in the Tatry Mts.
Fot. / Photo: K. Błażejczyk.

Rosa – to osad kropelek wody tworzący się na powierzchni gruntu oraz na przedmiotach i roślinach znajdujących się przy gruncie. Najczęściej powstaje w wyniku nocnego wypromieniowania ciepła. Pojawia się także wówczas, gdy ciepłe i wilgotne powietrze napływa nad wychłodzone podłoże. Może stanowić znaczne utrudnienie dla tych form rekreacji, które wiążą się z całodobowym pobylem w terenie (np. biwaki).

Takie zjawiska meteorologiczne jak szron (czyli osad lodu o wygładzie krystalicznym, tworzący się w warunkach podobnych jak rosa, ale w temperaturze poniżej 0°C) czy sadz (czyli osad lodu, który powstaje na skutek szybkiego zamarzania przechłodzonych kropelek mgły lub chmury na powierzchni gruntu lub przedmiotach o temperaturze poniżej 0°C) nie oddziałują bezpośrednio na warunki rekreacji i turystyki. Z uwagi na swe walory estetyczne mogą jednak pozytywnie wpływać na samopoczucie rekreatantów.

4. Analiza warunków pogodowych jako podstawa oceny klimatu dla rekreacji i turystyki

Jednym ze sposobów opisu oraz oceny warunków klimatycznych i bioklimatycznych jest analiza całego zespołu elementów meteorologicznych, składających się na aktualne warunki pogodowe. Przez pogodę rozumie się chwilowy stan atmosfery nad danym obszarem, określony zespołem powiązanych ze sobą elementów meteorologicznych (Kaczorowska 1977; Woś 1996). Pod wpływem czynników meteorologicznych działających silnie bodźcowo mogą zachodzić niepożądane reakcje organizmu człowieka. Zależą one od wrażliwości osobniczej i ogólnego stanu organizmu. Na zmiany pogody narażone są podstawowe układy organizmu: nerwowo, krążenia, oddychania oraz poszczególne narządy.

Aktywne biologicznie sytuacje pogodowe, podczas których obserwuje się subiektywne dolegliwości u ludzi zdrowych oraz nasilenie obiektywnych objawów chorobowych u większości chorych określa się powszechnie mianem sytuacji meteorotropowych (Grączewski 1972; Kozłowska-Szczęsna i inni 2004; Sulman 1982). Meteorotropowe są przede wszystkim sytuacje cyklonalne, związane z przechodzeniem frontów atmosferycznych (szczególnie chłodnych) oraz z adwekcją mas powietrza o kontrastowych cechach fizycznych. Właściwości meteorotropowe mają także długo utrzymujące się stresowe stany atmosfery (fale upałów, wielodniowe opady deszczu itp.).

C.R. de Freitas (2001) podkreśla, że ocena warunków pogodowych dokonywana z punktu widzenia rekreacji i turystyki powinna obejmować trzy kategorie informacji ważnych dla człowieka przebywającego, odpoczywającego lub pracującego na otwartym powietrzu, a odnoszące się do:

- warunków wizualnych (w oryginale *aesthetic* – estetycznych), na które składają się między innymi zachmurzenie, widzialność, długość dnia i usłonecznienie;
- fizycznego stanu atmosfery, uwzględniając między innymi opady, pokrywę śnieżną, wiatr, promieniowanie słoneczne (w tym nadfioletowe) oraz zanieczyszczenie powietrza;
- warunków biotermicznych, przez które rozumie się łączny efekt warunków meteorologicznych oraz związanych z nimi reakcji fizjologicznych człowieka.

4.1. Klasyfikacje warunków pogodowych

Klasyfikacje stosowane do oceny wpływu pogody na człowieka można podzielić na dwie główne grupy:

- klasyfikacje biosynoptyczne, czyli analizujące stan aktualny i zmiany sytuacji synoptycznych w aspekcie ich oddziaływania na człowieka;

- typologie pogody, analizujące wpływ na człowieka całego zespołu elementów meteorologicznych.

Szczegółowe omówienie podstaw i interpretacji różnych klasyfikacji biosynoptycznych pogody znajduje się w monografii T. Kozłowskiej-Szczęsnej i innych (2004), poświęconej wpływom środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka. W obecnym opracowaniu zostały one jedynie skrótowo scharakteryzowane.

4.1.1. Klasyfikacje biosynoptyczne

Pierwszą w Polsce biosynoptyczną klasyfikację pogody opracował W. Wójtowicz (1966). Opiera się ona na analizie faz rozwoju sytuacji barycznych oraz odległości badanego obszaru od centrum niżu lub wyżu. Klasyfikacją pogody, w której poza układami barycznymi uwzględnia się rodzaj zachmurzenia, przebieg dzienny temperatury i wilgotności powietrza, ciśnienie atmosferyczne, zawartość ozonu oraz elektryczność atmosferyczną jest klasyfikacja H. Ungeheuera, H. Brezowsky'ego i H. Reindersa. Autorzy wyróżniają 6 podstawowych klas pogody, nawiązujących do panującego układu barycznego i przypisują im określone reakcje organizmu. M. Baranowska (1987) wydzieliła 11 rodzajów sytuacji barycznych o różnym działaniu meteorotropowym, a jej klasyfikacja była wykorzystywana do osłony meteorologicznej ruchu drogowego. Stała się ona dla B. Wojtach (2003) punktem wyjścia do metody biometeorologicznej oceny procesów pogodowych uwzględniającej dynamiczne zmiany pola ciśnienia oraz niektórych charakterystyk biometeorologicznych (temperatury efektywnej, zawartości tlenu w powietrzu).

W aktywnej rekreacji i turystyce szczególnie przydatna jest klasyfikacja synoptyczna pogody opracowana w Niemieckiej Służbie Pogody (Bissoli, Dittmann 2001; Bucher 1991; Jethon, Grzybowski 2000). Na podstawie analizy pola ciśnienia na poziomie izobarycznym 850 mm wyróżniono 13 typów pogody z nimi związanych. Cenne w tej propozycji jest wskazanie, z jakimi reakcjami organizmu można się liczyć podczas występowania danego typu pogody (tab. 4.1). Analiza oddziaływań psychofizycznych pozwala na ocenę przydatności poszczególnych typów pogody dla rekreacji i turystyki. Okazuje się, że w warunkach klimatycznych Europy środkowej brak ograniczeń lub niewielkie ograniczenia wiążą się przede wszystkim z wyżowymi sytuacjami barycznymi.

4.1.2. Biometeorologiczne typologie pogody

Typologie pogody charakteryzują w sposób kompleksowy cały zespół elementów meteorologicznych: temperaturę i wilgotność powietrza, prędkość wiatru i zachmurzenie oraz opad atmosferyczny.

Można wyróżnić typologie ogólnoklimatyczne oraz typologie bioklimatyczne, to znaczy takie, które rozpatrują elementy pogody z punktu widzenia ich oddziaływania na organizm człowieka. Do pierwszej grupy należą typologie: Fedorowa-Czubukowa (por. Błażejczyk 1979) oraz Wosia (1999). Pierwsza z nich została zaadaptowana do oceny warunków bioklimatycznych w uzdrowiskach (Čubukov, Nevraev

Tabela 4.1. Obiektywna biosynoptyczna klasyfikacja pogody (wg Niemieckiej Służby Pogody) oraz towarzyszące oddziaływania psychofizyczne i przydatność dla rekreacji i turystyki

Table 4.1. Biosynoptic classification of weather (due to German Meteorological Service), accompanying psychophysical reaction in humans and usefulness for recreation and tourism

Typ pogody <i>Weather type</i>	Sytuacja na poziomie izobarycznym 850 hPa <i>Synoptic situation at 850 hPa level</i>	Oddziaływanie psychofizyczne <i>Psychophysiological reaction</i>	Przydatność do rekreacji i turystyki <i>Usefulness for recreation and tourism</i>
1	Wyż (centrum), brak inwersji termicznych	niewielkie oddziaływanie meteorotropowe, obniżenie odporności na infekcje	bez ograniczeń
2	Wyż (centrum), inwersje termiczne		niewielkie ograniczenia turystyki namiotowej i karawaniingu
3	Ześlizgi powietrza na skraju wyżu	zmniejszenie zdolności do pracy umysłowej, przejawy apatii i depresji	niewielkie ograniczenia percepcji
4	Adwekcja ciepłego powietrza w przedniej części niżu	zaostrzenie schorzeń odmiążdżycowych z tendencją do zawału serca i udaru mózgu, obniżenie odporności, zaburzenia metaboliczne, zaburzenia snu, zmniejszenie zdolności do pracy fizycznej i umysłowej, wzrost wypadkowości, pogorszenie samopoczucia	ograniczenia aktywnej rekreacji i turystyki dla osób z grup ryzyka (kardiologicznego, wiekowego). Niezbędna szczególna uwaga i koncentracja przy turystyce samochodowej
5	Ciepły wycinek niżu	niewielki efekt meteorotropowy, głównie nerwicowy, skłonność do obniżenia ciśnienia tętniczego krwi	niewielkie ograniczenia dla osób z niedociśnieniem tętniczym
6	Centrum niżu	zaostrzenie objawów depresji neurotycznej, niewydolności krążenia oraz objawów gośćcowych	ograniczenia dla osób z niewydolnością krążenia i ze schorzeniami reumatycznymi
7	Adwekcja zimnego powietrza w tylnej części niżu	zaostrzenie objawów gośćcowych i choroby niedokrwiennej serca, zaburzenie trawienia	
8	Strefa frontu zafalowanego	sytuacja zdrowotnie korzystna, czasami zaostrzenie objawów gośćcowych	bez ograniczeń
9	Wschodni strumień powietrza	sytuacja zdrowotnie korzystna	bez ograniczeń
10	Obojętna sytuacja baryczna (brak procesów dynamicznych)	złe samopoczucie, tendencja do wzrostu ciśnienia tętniczego (migrena)	ograniczenia aktywnej rekreacji i turystyki pieszej dla osób z nadciśnieniem tętniczym

Typ pogody <i>Weather type</i>	Sytuacja na poziomie izobarycznym 850 hPa <i>Synoptic situation at 850 hPa level</i>	Oddziaływanie psychofizyczne <i>Psychophysiological reaction</i>	Przydatność do rekreacji i turystyki <i>Usefulness for recreation and tourism</i>
11	Zimny wyż	złe samopoczucie, tendencja do zaostrzenia objawów choroby niedokrwiennej serca	ograniczenia aktywnej rekreacji i turystyki pieszej dla osób z nadciśnieniem tętniczym
12	Ciepły wycinek wyżu	brak wyraźnego oddziaływania meteorotropowego	bez ograniczeń
13	Bruzda cyklonalna górna	złe samopoczucie, zaostrzenie objawów nadciśnienia tętniczego i schorzeń nerek	ograniczenia aktywnej rekreacji i turystyki pieszej dla osób z nadciśnieniem tętniczym

Zródło: Bucher (1991), uzupełnione przez autorów.

Source: Bucher (1991), completed by the authors.

1960; Nevraev, Čubukov, red. 1964). Typologia Wosia została natomiast zastosowana do oceny warunków bioklimatycznych na potrzeby rekreacji (Woś 2002/2003).

Typologie bioklimatyczne N. Daniłowej (1988) oraz K. Błażejczyka (1979, 1980a, b, 1981) charakteryzuje dobór takich elementów meteorologicznych lub wskaźników bioklimatycznych, które odznaczają się określonym działaniem bodźcowym na organizm człowieka. Typologie te są szczegółowo omówione we wcześniejszych pracach K. Błażejczyka (1979, 1983).

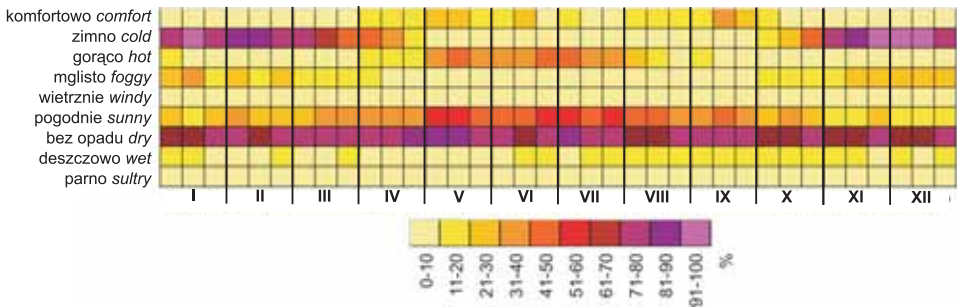
4.1.3. Diagram informacji klimatyczno-turystycznej (CTIS)

Na Uniwersytecie we Freiburgu powstała metoda oceny kompleksu pogodowego na potrzeby turystyki (Matzarakis i inni 2010). Na podstawie wieloletnich danych meteorologicznych tworzy się tzw. diagram informacji klimatyczno-turystycznej (CTIS – *Climate-Tourism-Information-Scheme*) – rycina 4.1.

Dla poszczególnych dni roku kalendarzowego określa się występowanie różnych cech pogody. Reprezentują one komfort i dyskomfort termiczny organizmu oraz specyficzne właściwości elementów meteorologicznych. W oryginalnej propozycji autora komfort cieplny oraz stres ciepła i zimna określane są za pomocą wskaźnika *PET* (Ekwiwalentna Temperatura Fizjologiczna) będącego wynikiem rozwiązania równania bilansu cieplnego człowieka, zastosowanego w modelu MEMI (*München Energy Model for Individuals*, Höpfe 1984). Do obliczenia wskaźnika *PET* służy specjalny program komputerowy Rayman (Matzarakis i inni 2007). Zamiast wskaźnika *PET* można jednak zastosować inny spośród wskaźników biotermicznych opartych na bilansie cieplnym człowieka (*STI*, *PST*, por. rozdz. 8.4). Elementami diagramu informacji klimatyczno-turystycznej są następujące cechy pogody:

- 1) komfort cieplny – $18^{\circ}\text{C} < PET < 29^{\circ}\text{C}$,
- 2) stres ciepła – $PET > 35^{\circ}\text{C}$,

- 3) stres zimna – $PET < 0^{\circ}\text{C}$,
- 4) dni słoneczne – zachmurzenie < 5 oktantów,
- 5) dni z mgłą – wilgotność względna $> 93\%$,
- 6) dni parne – ciśnienie pary wodnej > 18 hPa),
- 7) dni suche – dobowa suma opadu ≤ 1 mm,
- 8) dni mokre – dobowa suma opadu > 5 mm,
- 9) dni wietrzne – prędkość wiatru $> 8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (autorzy nie definiują wysokości pomiaru).



Ryc. 4.1. Diagram informacji klimatyczno-turystycznej (CTIS) dla Helsinek, 1991–2000

Fig. 4.1. ClimateTourismInformationScheme (CTIS) for Helsinki, 1991–2000
Badania własne. / Own data.

Do sporządzenia schematu CTIS niezbędne są codzienne dane meteorologiczne z możliwie długiego okresu. Wskaźnik odczuwalności cieplnej powinien reprezentować południowy termin obserwacyjny, a pozostałe zmienne – cały dzień. Po zdefiniowaniu poszczególnych składowych CTIS dla każdego dnia zlicza się następnie częstość różnych składników w kolejnych dekadach roku.

4.1.4. Klimatyczny wskaźnik dla turystyki (CIT)

Nowozelandzki klimatolog, C.R. de Freitas sformułował w roku 2003 ogólne założenia, jakim powinien odpowiadać nowy wskaźnik oceny klimatu na potrzeby turystyki. Wskaźnik taki powinien: opierać się na doświadczeniach różnych dziedzin nauki i praktyki związanych z turystyką (m.in. biometeorologia, zarządzanie, psychologia), uwzględniać różne cechy klimatu ważne dla turystyki, być łatwy do obliczenia i opierać się na łatwo dostępnych danych, być prosty do zastosowania i zrozumienia oraz uwzględniać znaczenie poszczególnych cech klimatu dla turystyki. Przed zaproponowaniem do powszechnego stosowania powinien także być poddany weryfikacji w badaniach empirycznych.

Opierając się na tych ogólnych założeniach C.R. de Freitas i inni (2008) zaproponowali nowy klimatyczny wskaźnik dla turystyki (CIT – *Climate Index for Tourism*). Wskaźnik CIT jest funkcją trzech grup zmiennych:

$$CIT = f[(T_p, A) \cdot P_p] \quad [4.1]$$

gdzie T_p jest miarą odczuć ciepłych człowieka, A – walorów estetycznych, wyrażonych stopniem pokrycia nieba przez chmury, a P_p – miarą ograniczeń pogodowych dla turystyki związanych z opadami i silnym wiatrem.

Jeśli występuje którykolwiek z parametrów z grupy P_p , ostateczna ocena jest zredukowana nawet wtedy, gdy składowe T_p i A mają wysokie wartości. Wskaźnik CIT określa się dla poszczególnych dni na podstawie szczegółowych danych meteorologicznych. Jego wartość zmienia się od 1 (warunki bardzo słabe) do 7 (warunki idealne) – tabela 4.2.

Tabela 4.2. Ocena poszczególnych klas wskaźnika CIT oraz stopień akceptacji pogody przez turystów

Table 4.2. Evaluation of particular CIT classes and acceptance levels for tourists

Klasa CIT <i>CIT class</i>	Ocena pogody z punktu widzenia turystyki <i>Weather evaluation for tourism</i>	Stopień akceptacji pogody <i>Weather acceptance by tourists</i>
1	bardzo zła <i>very poor</i>	nie do zaakceptowania <i>unacceptable</i>
2	zła <i>poor</i>	nie do zaakceptowania <i>unacceptable</i>
3	umiarkowanie zła <i>fairly poor</i>	słaba <i>marginal</i>
4	satysfakcjonująca <i>okay</i>	odpowiednia <i>suitable</i>
5	umiarkowanie dobra <i>fairly good</i>	dobra <i>good</i>
6	dobra <i>good</i>	doskonała <i>excellent</i>
7	bardzo dobra <i>very good</i>	idealna <i>ideal</i>

Źródło: de Freitas i inni (2004). / Source: de Freitas et al. (2004).

Wyznaczanie wskaźnika CIT rozpoczyna się od oceny członu T_p , czyli miary odczuć ciepłych. Autorzy nie proponują żadnego konkretnego wskaźnika odczuć ciepłych. Sugerują jedynie, że powinien być oparty na kompleksie czynników termicznych, a za najlepsze uważają wskaźniki oparte na bilansie ciepłym człowieka. Skala odczuć ciepłych przyjętego wskaźnika (TSN) powinna mieć 9 stopni i zmieniać się od -4 do $+4$ (tab. 4.3). Przy wyznaczaniu CIT bierze się pod uwagę nie bezwzględne wartości wskaźnika, lecz stopnie odczuć przypisane danym wartościom.

W kolejnym etapie analizujemy stopień zachmurzenia nieba i zależnie od tego, czy jest ono mniejsze lub równe 40%, czy też większe od tej wartości, odczytujemy z kolumny b lub c w tabeli 4.3 wartość CIT korespondującą przy danym stopniu zachmurzenia z odpowiednim stopniem odczuć ciepłych. Na przykład, jeśli zachmurzenie wynosi 20%, a odczucia ciepłe mają rangę $+2$, wartość CIT równa jest 6 (warunki prawie idealne). Jak wspomniano wyżej, elementami pogody, które ograniczają możliwość turystyki są opady deszczu (śniegu) lub silny wiatr (kolumny d i e w tabeli 4.3). Jeśli zatem występuje którykolwiek z tych elementów, wartość CIT , niezależnie od stopnia zachmurzenia, jest zredukowana do wartości 2 (dla TSN od -1 do $+4$) lub wartości 1 (dla TSN od -2 do -4), co oznacza warunki złe lub bardzo złe (tab. 4.3).

Tabela 4.3. Tabela do wyznaczania wskaźnika *CIT* (sposób użycia w tekście)
 Table 4.3. Components for calculating *CIT* index

Odczucie ciepłe TSN <i>Thermal sensation</i>	Zachmurzenie <i>Cloudiness</i> ≤ 40%	Zachmurzenie <i>Cloudiness</i> > 40%	Opad deszczu >3 mm lub opad trwający >1 godz <i>Precipitation >3 mm or rain fall >1 hour</i>	Wiatr <i>Wind</i> ≥ 6 m s ⁻¹
a	b	c	d	e
Bardzo gorąco <i>Very hot (+4)</i>	4	3	2	2
Gorąco <i>Hot (+3)</i>	5	3	2	2
Ciepło <i>Warm (+2)</i>	6	4	2	2
Lekko ciepło <i>Slightly warm (+1)</i>	7	5	2	2
Neutralnie <i>Indiferent (0)</i>	6	4	2	2
Lekko chłodno <i>Slightly cool (-1)</i>	4	3	2	2
Chłodno <i>Cool (-2)</i>	3	2	1	1
Zimno <i>Cold (-3)</i>	2	1	1	1
Bardzo zimno <i>Very cold (-4)</i>	1	1	1	1

Źródło: de Freitas i inni (2008). / Source: de Freitas et al. (2008).

4.1.5. Lokalne oznaki pogody

W codziennej praktyce rekreacyjnej i turystycznej bardzo cenna i przydatna jest umiejętność przewidywania pogody na najbliższy okres na podstawie możliwych do zaobserwowania w terenie objawów i zjawisk. Nie zawsze bowiem mamy dostęp do prognoz pogody podawanych przez służby meteorologiczne. Pomocne mogą być w tym celu propozycje M. Holca i P. Tymańskiego (1973), zmodyfikowane przez A. Wosia (1996) (tab. 4.4).

4.2. Biotermiczno-meteorologiczna klasyfikacja pogody

Biotermiczno-meteorologiczna typologia warunków pogodowych zaproponowana przez K. Błażejczyka (2002a, 2005a) opiera się na analizie warunków biotermicznych, określonych poprzez badanie bilansu cieplnego człowieka, oraz uwzględnia niektóre charakterystyki meteorologiczne, ważne z punktu widzenia

Tabela 4.4. Wybrane oznaki lokalnej pogody

Table 4.4. Selected features of local weather

Oznaka lokalna <i>Local feature</i>	Prognoza <i>Forecast</i>
Ciśnienie powietrza <i>Air pressure</i>	
<p>Ciśnienie systematycznie maleje. <i>Air pressure gradually decreases.</i></p> <p>Bardzo szybki spadek ciśnienia. <i>Very fast fall in air pressure.</i></p> <p>Systematyczny wzrost ciśnienia po pogodzie deszczowej z silnym wiatrem. <i>Gradual increase of air pressure after rainy and strong wind weather.</i></p> <p>Podczas mgły wzrost ciśnienia. <i>Increase in air pressure during frost.</i></p> <p>Wyraźne wahania dobowe ciśnienia. <i>Clear daily fluctuations of air pressure.</i></p> <p>Spadek ciśnienia o 2-4 hPa w ciągu 3 godz. <i>2-4 hPa fall in air pressure during 3 h.</i></p> <p>Wzrost ciśnienia o więcej niż 4 hPa w ciągu 3 godz. <i>4 hPa rise in air pressure during 3 h.</i></p>	<p>Nadciąganie niżu (front ciepły), opady, silny wiatr. <i>Warm front is coming with rains and strong winds.</i></p> <p>Zbliżanie się cyklonu tropikalnego lub głębokiego niżu pozazwrotnikowego. <i>Tropical cyclone or deep polar cyclone is coming.</i></p> <p>Nadciąganie wyżu, poprawa pogody. <i>High air pressure centre is coming, improving of weather</i></p> <p>Zanik mgły. <i>Disappearing of fog.</i></p> <p>Utrzymanie się dobrej pogody. <i>Continuation of fair weather.</i></p> <p>Wzrost prędkości wiatru w przedniej części niżu. <i>Increase in wind speed in low pressure centre.</i></p> <p>Przejście frontu chłodnego, wzrost prędkości wiatru. <i>Passing of cold front, increase in wind speed.</i></p>
Wiatr <i>Wind</i>	
<p>Niezmienny wiatr zachodni podczas niepogody. <i>Constant west wind during bad weather.</i></p> <p>Podczas długotrwałego deszczu prędkość wiatru wyraźnie wzrasta. <i>Great increase in wind speed during rain.</i></p> <p>Wiatr, który przez wiele dni wiał gwałtownie z jednego kierunku, raptownie skręca. <i>Sudden change in wind direction.</i></p> <p>Prędkość wiatru rośnie, wiatr nie zmienia kierunku. <i>Wind speed is rising and wind direction doesn't change.</i></p> <p>Kierunek wiatru nie ulega zmianie, a jego prędkość maleje. <i>Wind speed is decreasing and wind direction doesn't change.</i></p> <p>Wiatr wieczorem się wzmacnia. <i>Wind speed intensifies in the evening.</i></p> <p>Występowanie wyraźnej cyrkulacji bryzowej. <i>Breeze circulation occurs.</i></p> <p>Zanik bryz (na obszarach, w których są one zjawiskiem codziennym). <i>Absence of breeze circulation at typical locations.</i></p>	<p>Utrzymanie się niepogody. <i>Continuation of bad weather.</i></p> <p>Zanik deszczu. <i>End of rain.</i></p> <p>Pogorszenie się pogody, opady, silny wiatr. <i>Weather is getting worse, falls, strong wind.</i></p> <p>Nadciąga niż pozazwrotnikowy lub cyklon tropikalny. <i>Polar or tropical cyclone is approaching.</i></p> <p>Niż pozazwrotnikowy lub cyklon tropikalny oddala się. <i>Polar or tropical cyclone is receding.</i></p> <p>Możliwość pogorszenia się pogody. <i>Possible worsening of weather.</i></p> <p>Utrzymanie się dobrej pogody. <i>Continuation of fair weather.</i></p> <p>Pogorszenie się pogody. <i>Weather is getting worse.</i></p>

Oznaka lokalna <i>Local feature</i>	Prognoza <i>Forecast</i>
Temperatura powietrza <i>Air temperature</i>	
<p>Wzrost temperatury powietrza zimą i nieznaczny spadek latem. <i>Increase of air temperature in winter or its slight decrease in summer.</i></p> <p>Szybki wzrost temperatury podczas niepogody. <i>Sudden air temperature increase during bad weather.</i></p> <p>Nienormalny wzrost temperatury wieczorem lub nocą. <i>Unusual increase of air temperature in the evening or in the night.</i></p>	<p>Zbliżanie się frontu ciepłego. <i>Warm front is approaching.</i></p> <p>Przeszedł front chłodny. <i>Cold front has passed.</i></p> <p>Pogorszenie się pogody. <i>Weather is getting worse.</i></p>
Wilgotność powietrza <i>Air humidity</i>	
<p>Szybki wzrost prężności pary wodnej przy jednoczesnym wzroście temperatury powietrza i spadku ciśnienia. <i>Sunned increase of vapour pressure and simultaneous increase in air temperature and decrease in air pressure.</i></p> <p>Szybki wzrost prężności pary wodnej przy jednoczesnym spadku temperatury powietrza. <i>Sunned increase of vapour pressure at simultaneous increase in air temperature.</i></p> <p>Duży wzrost prężności pary wodnej przy stałym spadku ciśnienia powietrza. <i>Great increase of vapour pressure at gradual decrease of air pressure.</i></p>	<p>Opady, burza (latem). <i>Rainfalls, summer storms.</i></p> <p>Mgła. <i>Foggy</i></p> <p>Burza. <i>Storms.</i></p>
Chmury <i>Clouds</i>	
<p>Nadciągające i stopniowo gęstniejące chmury Ci. <i>Approaching Ci clouds.</i></p> <p>Chmury Ci w małej ilości i rozrzucone po niebie, poruszające się powoli. <i>Small amount of Ci clouds.</i></p> <p>Chmury Cs zakrywające całe niebo po szybkim przejściu chmur Ci. <i>Cs clouds cover whole sky.</i></p> <p>Chmury Ac z rozplywającymi się brzegami nadciągające w ślad za chmurami Ci oraz Cs i stopniowo łączące się w jednolitą warstwę. <i>As clouds followed Ci and Cs clouds gradually cover whole sky.</i></p> <p>Chmury Ac w postaci niewielkich i szybko zmieniających się kul pojawiające się łącznie z chmurami Ci i przechodzące później w chmury Sc lub chmury o kształcie soczewek (<i>Ac lent</i>). <i>Ac and Ci clouds transform to Sc and Ac lent clouds.</i></p> <p>Chmury As pojawiające się za chmurami Ci, gęstniejące i obniżające się (przy stałym spadku ciśnienia). <i>As clouds followed Ci became dense and come down.</i></p>	<p>Pogorszenie się pogody, front ciepły. <i>Worsening of weather, warm front.</i></p> <p>Utrzymanie się dobrej pogody. <i>Continuation of fair weather.</i></p> <p>Nadciąganie frontu ciepłego. <i>Approaching of warm front.</i></p> <p>Front ciepły, opady, silny wiatr. <i>Warm front, rainfalls, strong winds.</i></p> <p>Chłodny front, przelotne opady, burza. <i>Cold front, showers, storms.</i></p> <p>Front ciepły, opady, silny wiatr. <i>Warm front rainfalls, strong wind.</i></p>

Oznaka lokalna <i>Local feature</i>	Prognoza <i>Forecast</i>
Chmury <i>Clouds</i>	
Przejaśnienie za ustępującymi chmurami Sc. <i>Opening followed Sc cloud.</i>	Dobra pogoda. <i>Fair weather.</i>
Niskie chmury <i>St</i> obserwowane w nocy, a w ciągu dnia przechodzące w chmury <i>Cu</i> . <i>Low St clouds at night and change over St to Cu at day time.</i>	Pogoda z przelotnymi opadami i silnym wiatrem (front chłodny). <i>Cold front with showers and strong wind.</i>
Strzępy niskich chmur przesuwające się pod chmurami <i>Cb, Ns, As</i> lub pod gęstymi chmurami <i>Sc</i> . <i>Low clouds shreds moving under Cb, Ns, As or Sc clouds.</i>	Pogoda z wiatrem i opadami. <i>Windy and rainy weather.</i>
Chmury <i>Cu</i> rozrastające się znacznie (poziomo i pionowo). <i>Cu clouds develop horizontally and vertically.</i>	Przelotne opady, silny wiatr, możliwe szkwały. <i>Showers, strong wind, possible squall.</i>
Chmura <i>Cb</i> widoczna w pobliżu widnokregu i przypominająca kowadło lub grzyb z chmurami <i>Ci</i> rozchodzącymi się od wierzchołka. <i>High Cb cloud on the horizon.</i>	Burza, silny wiatr o charakterze szkwału. <i>Storm, strong, squall wind.</i>
Ciemny wał u podstawy chmury <i>Cb</i> (kołnierz burzowy). <i>Dark Cb arcus.</i>	Szkwiał, ulewa, burza, możliwy grad i trąby. <i>Squall, shower, storm, possible tornado and hail.</i>
Barwa nieba <i>Sky colour</i>	
Białawe niebo w ciągu dnia. <i>White sky in day hours.</i>	Nadejście opadów. <i>Approaching of rains.</i>
Czerwone niebo o wschodzie Słońca. <i>Red sky at Sun rise.</i>	Nadejście opadów i silnego wiatru. <i>Approaching of rains and strong wind.</i>
Pomarańczowoczerwone niebo po zachodzie Słońca. <i>Orange and red sky after Sun set.</i>	Pogorszenie się pogody. <i>Worsening of weather.</i>
Złotawa barwa nieba po zachodzie Słońca. <i>Gold sky after Sun set.</i>	Utrzymanie się dobrej pogody. <i>Continuation of fair weather.</i>
Inne zjawiska <i>Other phenomena</i>	
Dym unosi się pionowo lub ukośnie ku górze. <i>Smoke going up vertically.</i>	Utrzyma się lub nadciągnie piękna pogoda wyżowa. <i>Fair weather will continue or will come.</i>
Dym ścielący się przy powierzchni Ziemi przy pogodzie bezwietrznej. <i>Smoke maundering close to ground, no wind.</i>	Można oczekiwać wiatru i pogorszenia pogody. <i>Possible wind and weather worsening.</i>
Słaba słyszalność dźwięku. <i>Weak audibility.</i>	Poprawa pogody. <i>Weather getting fair.</i>
Bardzo dobra słyszalność dźwięku. <i>Very good audibility.</i>	Pogorszenie się pogody, opady, burza. <i>Worsening of weather, rains and storm.</i>
Silne migotanie gwiazd. Światło gwiazd ma zabarwienie czerwone lub niebieskawe. <i>Strong lighting of stars.</i>	Nadciąganie niżu, pogorszenie się pogody. <i>Cyclone is approaching, worsening of weather.</i>
Zakłócenia odbioru radiowego. <i>Disturbances of radio waves.</i>	Możliwość pogorszenia się pogody. <i>Possible weather worsening.</i>

Źródło / Source: Woś (1996).

rekreacji i turystyki. Założenia merytoryczne nowej klasyfikacji pogody powstały w 2001 r. (Błażejczyk 2001b). Po raz pierwszy, biotermiczno-meteorologiczna klasyfikacja pogody została wykorzystana w badaniach warunków bioklimatycznych Aglomeracji Warszawskiej (Błażejczyk 2002a).

Biotermiczno-meteorologiczna klasyfikacja pogody może być używana do szczegółowej charakterystyki aktualnych warunków pogodowych, jak również stosowana jako podstawowa informacja dotycząca potencjału rekreacyjnego dowolnego okresu (dzień, miesiąc, pora roku) lub/i obszaru. Do scharakteryzowania warunków pogodowych z punktu widzenia ich oddziaływania na organizm człowieka i na możliwość długotrwałego przebywania na otwartym powietrzu wykorzystano cechy biotermiczne pogody oraz ważne z punktu widzenia rekreacji i turystyki charakterystyki meteorologiczne.

4.2.1. Podstawy klasyfikacji

Jednym z podstawowych elementów oceny warunków pogodowych są obciążenia cieplne i odczucia cieplne organizmu, powodowane przez aktualne warunki atmosferyczne. W przypadku zajęć rekreacyjnych na świeżym powietrzu warunki te powinny przynosić człowiekowi odpoczynek, zadowolenie i satysfakcję oraz służyć regeneracji sił i profilaktyce zdrowia. Dla człowieka pracującego, lub po prostu poruszającego się w terenie otwartym, ważne jest zachowanie pełnej sprawności psychofizycznej. Jednym z podstawowych warunków jaki musi być spełniony, aby osiągnąć te cele, jest zachowanie równowagi cieplnej organizmu przy jak najmniejszym obciążeniu układu termoregulacyjnego.

Uwzględniono następujące biotermiczne cechy warunków pogodowych:

- odczucia cieplne człowieka, kształtujące się w wyniku oddziaływania warunków meteorologicznych,
- intensywność bodźców radiacyjnych,
- rodzaj stresu termofizjologicznego,
- natężenie uczucia parności.

Na samą możliwość oraz efektywność rekreacji w terenie otwartym wpływają także bezpośrednio niektóre elementy meteorologiczne. Spośród charakterystyk meteorologicznych w określeniu pogody uwzględniono:

- kontrastowość warunków termicznych w ciągu dnia,
- występowanie opadów atmosferycznych,
- występowanie pokrywy śnieżnej.

W klasyfikacji posłużono się cyfrowym zapisem analizowanych składników pogody. Kolejne cyfry zapisu określają kolejno: typ, podtyp i klasę pogody (tab. 4.5).

4.2.2. Typy pogody

Podstawową miarą warunków pogodowych są odczucia cieplne człowieka, związane z przebywaniem w konkretnych warunkach otoczenia. Do oceny odczuć cieplnych zastosowano wskaźnik temperatury odczuwalnej (*STI*, Błażejczyk 2003,

Tabela 4.5. Schemat zapisu cyfrowego biotermiczno-meteorologicznej klasyfikacji pogody

Table 4.5. Scheme of digital description of bio-thermal-and-meteorological weather classification

Typ pogody Weather type	Charakterystyki pogody Weather characteristic	Oznaczenie Description							
		symbol	-3	-2	-1	0	1	2	3
Typ pogody Weather type	odczucie ciepłe thermal sensation	pogoda: weather:	bardzo zimna very cold	zimna cold	chłodna cool	komfortowa comfortable	ciepła warm	gorąca hot	bardzo gorąca very hot
		symbol	-3	-2	-1	0	1	2	3
Podtyp pogody Weather subtype	bodźce radiacyjne radiation stimuli	symbol	1	2	3				
		opis description	słabe weak	umiarkowane moderate	silne strong				
	stres termofizjologiczny physiological strain	symbol	C	T	H				
		opis description	zimna cold	termoneutralne thermoneutral	gorąca hot				
	intensywność parności sultriness intensity	symbol	0	1	2				
		opis description	brak non sultry	umiarkowana moderate	duża great				
Klasa pogody Weather class	dobowe kontrasty temperatury daily temperature contrasts	symbol	0	1					
		opis description	małe small	duże great					
	opad atmosferyczny precipitation	symbol	0	1					
		opis description	bez opadu no rain	z opadem rainy					
	pokrywa śnieżna snow cover	opis description	bez śniegu no snow	ze śniegiem snowy					

Źródło / Source: Błażejczyk (2004a).

2004a). Wartości tego wskaźnika są podstawą zaliczenia danych warunków pogodowych do jednego z poniższych typów:

Typ pogody	STI (°C)	Charakterystyka opisowa pogody
-3	< -38,0	bardzo zimna
-2	-38,0-(-0,5)	zimna
-1	-0,4-22,5	chłodna
0	22,6-32,0	komfortowa
1	32,1-46,0	ciepła
2	46,1-55,0	gorąca
3	> 55,0	bardzo gorąca.

Oznaczenie typu pogody znajduje się na pierwszej pozycji zapisu cyfrowego.

4.2.3. Podtypy pogody

W każdym z typów pogody wydziela się szereg podtypów, na podstawie następujących cech warunków biotermicznych: intensywności bodźców radiacyjnych, rodzaju procesów adaptacyjnych organizmu do warunków otoczenia (stres termofizjologiczny) oraz intensywności uczucia parności. Każdej z tych charakterystyk pogody przypisano kolejne znaki zapisu cyfrowego, odpowiednio: drugi, trzeci i czwarty.

Do oceny intensywności bodźców radiacyjnych zastosowano wartość promieniowania pochłoniętego przez człowieka (R' , por. Załącznik A). Przyjęto następujące przedziały R' :

Drugi znak zapisu	R' ($W \cdot m^{-2}$)	Bodźce radiacyjne
1	< 75,0	słabe
2	75,1-150,0	umiarkowane
3	> 150,0	silne.

Trzeci znak zapisu informuje o rodzaju stresu termofizjologicznego, związanego z przebywaniem w terenie otwartym. Dokonuje się tego na podstawie wartości wskaźnika PhS w sposób następujący:

Trzeci znak zapisu	PhS	Rodzaj stresu termofizjologicznego
H	< 0,75	stres gorąca
T	0,75-1,5	warunki termoneutralne
C	> 1,5	stres zimna.

Charakterystykę fizjologicznych reakcji organizmu związanych z występowaniem stresu zimna lub stresu gorąca zawiera rozdział 8.4.2.

Czwarty znak zapisu cyfrowego oznacza natężenie uczucia parności, związanego z aktualnymi warunkami termiczno-wilgotnościowymi. Posłużono się w tym celu wartościami wskaźnika HSI (por. rozdział 8.4.8):

Czwarty znak zapisu	HSI (%)	Intensywność parności
0	≤ 30,0	brak
1	30,1–70,0	umiarkowana
2	> 70	duża.

W każdym typie pogody może więc potencjalnie wystąpić 27 jej podtypów (tab. 4.6). W praktyce jednak, pewne kombinacje elementów pogody wykluczają się (np. silne odczucie parności nie współwystępuje z fizjologicznym stresem zimna) lub też w pewnych typach pogody nie mogą pojawić się określone jej podtypy (np. w typie pogody zimnej i bardzo zimnej nie występują podtypy związane z fizjologicznym stresem gorąca i odczuciem parności).

Tabela 4.6. Podtypy pogody wyróżniane w obrębie każdego z siedmiu typów pogody i ich zapis cyfrowy

Table 4.6. Weather subtypes of each of weather type and their digital description

Bodźce radiacyjne <i>Radiation stimuli</i>	Termofizjologiczny stres zimna <i>Cold physiological strain</i>			Warunki termoneutralne <i>Thermoneutral</i>			Termofizjologiczny stres gorąca <i>Hot physiological strain</i>		
	intensywność parności <i>sultriness intensity</i>			intensywność parności <i>sultriness intensity</i>			intensywność parności <i>sultriness intensity</i>		
	brak <i>non sultry</i>	umiarkowana <i>moderate</i>	duża <i>great</i>	brak <i>non sultry</i>	umiarkowana <i>moderate</i>	duża <i>great</i>	brak <i>non sultry</i>	umiarkowana <i>moderate</i>	duża <i>great</i>
Słabe <i>Weak</i>	1C0	1C1	1C2	1T0	1T1	1T2	1H0	1H1	1H2
Umiarkowane <i>Moderate</i>	2C0	2C1	2C2	2T0	2T1	2T2	2H0	2H1	2H2
Silne <i>Strong</i>	3C0	3C1	3C2	3T0	3T1	3T2	3H0	3H1	3H2

Źródło / Source: Błażejczyk (2004a).

4.2.4. Klasy pogody

Kolejnym poziomem klasyfikacji pogody są jej klasy. Poza wymienionymi wyżej charakterystykami biotermicznymi na możliwość i efektywność rekreacji i turystyki wpływają bowiem bezpośrednio także niektóre elementy meteorologiczne.

Dla form aktywności człowieka, które wiążą się z całodobowym lub długotrwałym przebywaniem w terenie otwartym, ważna jest informacja o kontrastach termicznych w ciągu dnia, określonych poprzez dobową amplitudę temperatury (*dt*):

Piąty znak zapisu	<i>dt</i> (°C)	Dobowe kontrasty termiczne
0	≤ 8,0	małe
1	> 8,0	duże.

Na możliwość turystyki i rekreacji w terenie otwartym bardzo silnie oddziałują opady atmosferyczne. Istotny jest nie tylko sam fakt wystąpienia opadu, ale przede wszystkim czas jego trwania, zwłaszcza w ciągu dnia. Powszechnie dostępna w meteorologicznych, cyfrowych bazach danych jest niestety tylko pierwsza z tych charakterystyk. Dlatego do oceny tego elementu pogody zastosowano dobową sumę opadu (RR). Przyjęto, że dopiero opad o sumie dobowej co najmniej 1 mm ma istotne znaczenie dla efektywności rekreacji w terenie otwartym.

Szósty znak zapisu	RR (mm)	Dzień
0	< 1,0	bez opadu
1	≥ 1,0	z opadem.

Elementem pogody, który można ocenić na podstawie standardowych, meteorologicznych baz danych, a który jest bardzo ważny dla rekreacji i turystyki narciarskiej, jest pokrywa śnieżna (SC). Przyjęto za T. Łobożewiczem (1979), że warunki odpowiednie do uprawiania narciarstwa występują dopiero wtedy, gdy grubość pokrywy śnieżnej wynosi co najmniej 10 cm.

Siódmy znak zapisu	SC (cm)	Dzień
0	< 10,0	bez śniegu
1	≥ 10,0	ze śniegiem.

W każdym z podtypów pogody można zatem wyróżnić osiem jej klas, związanych z występowaniem wymienionych wyżej cech warunków meteorologicznych (tab. 4.7).

Tabela 4.7. Klasy pogody występujące w każdym z podtypów pogody i ich cyfrowy zapis

Table 4.7. Weather classes in each of weather subtype and their digital description

Dobowe kontrasty termiczne <i>Daily temperature contrasts</i>	Dzień bez opadu <i>Non precipitation day</i>		Dzień z opadem <i>Day with precipitation</i>	
	dzień bez pokrywy śnieżnej <i>non snowy day</i>	dzień z pokrywą śnieżną <i>snowy day</i>	dzień bez pokrywy śnieżnej <i>non snowy day</i>	dzień z pokrywą śnieżną <i>snowy day</i>
Małe <i>Small</i>	000	001	010	011
Duże <i>Great</i>	100	101	110	111

Źródło / Source: Błażejczyk (2004a).

Pełny cyfrowy zapis warunków pogodowych składa się z siedmiu znaków, a pełne rozwinięcie charakterystyki pogody wymaga „rozszyfrowania” znaczenia poszczególnych znaków zapisu. Na przykład:

- zapis -2_2C0_011 oznacza pogodę zimną, z umiarkowanymi bodźcami radiacyjnymi, cechującą się występowaniem termofizjologicznego stresu zimna oraz brakiem uczucia parności, z małymi dobowymi kontrastami termicznymi, wystąpieniem opadu oraz pokrywą śnieżnej o grubości >10 cm;

- 2_3H1_100 oznacza pogodę gorącą, z silnymi bodźcami radiacyjnymi, którą charakteryzuje termofizjologiczny stres gorąca i umiarkowane uczucie parności, duże dobowe kontrasty termiczne, brak opadu i pokrywy śnieżnej.

Określenia biotermicznych charakterystyk pogody (typy i podtypy pogody) można dokonać w sposób pełny, dysponując danymi meteorologicznymi odnoszącymi się do temperatury i wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru i zachmurzenia. Pożądane jest także posiadanie informacji o natężeniu promieniowania słonecznego. W sytuacji, gdy nie dysponujemy pełnymi informacjami meteorologicznymi, do określenia biotermicznych cech pogody można wykorzystać uproszczone procedury obliczeniowe wskaźników *STI*, *PhS* i *HSI*. Niezbędne są do tego dane dotyczące temperatury powietrza, prędkości wiatru i wielkości zachmurzenia. W przypadku gdy dane meteorologiczne nie pozwalają na określenie klasy pogody, należy odpowiedni symbol cyfrowy zastąpić znakiem 'x'. Wszystkie obliczenia związane z określeniem typu, podtypu i klasy pogody można przeprowadzić za pomocą programu BioKlima©2.6.

Wyznaczone w ten sposób biotermiczne-meteorologiczne klasy pogody mogą być podstawą kilku szczegółowych analiz:

- można określić częstość występowania różnych rodzajów pogody w poszczególnych sezonach lub w całym roku (tab. 4.8);
- można zbadać zmienność/stabilność warunków pogodowych w danym okresie (tab. 4.9);
- można wyznaczyć tzw. kalendarze warunków pogodowych;
- można obliczyć wskaźniki oceny pogody dla rekreacji i turystyki (*WSI*, *WRI*).

Wskaźniki te przedstawiono w rozdziałach 9.3 i 9.4.

Przykład zestawienia najczęściej występujących rodzajów pogody w Głuchołazach przedstawia tabela 4.8. Widać, że w skali całego roku zaledwie 21 rodzajów pogody ma częstość większą od 1%. Łącznie stanowią one ponad 80% wszystkich przypadków. Pozostałe 80 stwierdzonych rodzajów pogody pojawiało się rzadziej niż przez 4 dni w roku. Najczęściej, przez prawie 18% dni w roku, występowała pogoda chłodna, ze słabymi bodźcami radiacyjnymi, powodująca termofizjologiczny stres zimna, bez parności, z małymi dobowymi kontrastami temperatury i bez opadu.

Dla rekreacji i turystyki w terenie otwartym duże znaczenie ma również stabilność warunków pogodowych. Stabilna pogoda eliminuje bowiem konieczność adaptowania się organizmu człowieka (Błażejczyk, 1983). Dokonano przykładowej analizy stabilności pogody na Hali Gąsienicowej w Tatrach (Błażejczyk, Kunert 2010). Określono prawdopodobieństwo występowania przez 3 kolejne dni pogody przydatnej bez ograniczeń oraz pogody nieprzydatnej dla różnych form rekreacji. W przypadku kąpeli słonecznych i powietrznych sytuacje takie nie pojawiają się wcale w miesiącach zimowych, natomiast w półroczu chłodnym prawdopodobieństwo 3 kolejnych dni z pogodą przydatną wynosi prawie 15% w maju i około 11% w sierpniu i we wrześniu. W przypadku łagodnej turystyki, prawdopodobieństwo 3 kolejnych dni z pogodą korzystną kształtuje się na podobnym poziomie przez cały rok (od 17 do 8%), z wyjątkiem czerwca, lipca i listopada. Prawdopodobieństwo wystąpienia pogody przydatnej do intensywnej turystyki wynosi od 35–50% dni miesiąca w półroczu zimowym do około 20% dni w półroczu letnim, jednak również z wyłączeniem czerwca i lipca (tab. 4.9). Najbardziej

Tabela 4.8. Częstość występowania różnych rodzajów pogody w Głuchołazach, 1981–2000

Table 4.8. Frequency of various weather categories in Głuchołazy, 1981–2000

Pogoda Weather			Częstość Frequency (%)	
typ type	podtyp subtype	klasa class	ogółem total	skumulowana cumulated
-1	1C0	00x	17,90	17,85
-1	1C0	01x	10,70	28,58
1	2C0	10x	8,59	37,17
1	2C0	00x	4,88	42,05
0	2C0	00x	4,68	46,74
0	1C0	00x	3,78	50,52
-1	1C0	10x	3,48	54,00
0	1C0	01x	3,24	57,24
2	2C0	10x	3,08	60,32
0	2C0	10x	3,04	63,35
2	2H0	10x	2,74	66,10
3	2H0	10x	2,19	68,29
-1	2C0	00x	2,16	70,45
3	2H1	10x	2,13	72,58
-1	1C0	11x	2,11	74,69
0	1C0	10x	2,02	76,72
2	2H1	10x	1,75	78,46
0	1C0	11x	1,55	80,01
-2	1C0	00x	1,50	81,51
1	2C0	11x	1,50	83,01
-2	1C0	01x	1,36	84,37

W tabeli zamieszczono tylko te sytuacje pogodowe, których częstość w badanym okresie wynosiła ponad 1%, czyli wystąpiły przez co najmniej 4 dni w roku.

The table contains only weather categories which total frequency was >1%.

Badania własne. / Own data.

prawdopodobne (17–29%) jest wystąpienie 3-dniowego ciągu pogody nieprzydatnej w okresie od października do marca.

4.2.5. Kalendarz warunków pogodowych

Analizując dla każdego dnia badanego okresu indeksy liczbowe typu, podtypu i klasy pogody można określić z jakim rodzajem pogody można się liczyć, z dużym prawdopodobieństwem, w poszczególnych dniach (tab. 4.10). Jeżeli przez co najmniej 3/4 okresu występowała w danym dniu roku taka sama charakterystyka pogody, wtedy w kalendarzu zamieszcza się pojedynczy symbol numeryczny. Gdy w kolejnych latach analizowanego okresu występowały w danym dniu roku różne typy, podtypy lub/i klasy pogody, w kalendarzu zaznacza się

Tabela 4.9. Prawdopodobieństwo (%) pojawienia się przez kolejne 3 dni pogody nieprzydatnej i przydatnej do poszczególnych form rekreacji i turystyki na Hali Gąsienicowej

Table 4.9. Probability (%) of occurrence during 3 consecutive days weather conditions unfavourable and favourable for particular forms of recreation and tourism on Hala Gąsienicowa (Tatra Mts.)

Miesiąc Month	Pogoda Weather	Kąpiele słoneczne Sun baths	Kąpiele powietrzne Air bath	Łagodna turystyka Mild activity	Intensywna turystyka Intensiv activity
I	nieprzydatna <i>unfavourable</i>	.	.	18,4	.
	przydatna <i>favourable</i>	.	.	12,9	53,2
II	nieprzydatna <i>unfavourable</i>	89,7	25,8	29,0	.
	przydatna <i>favourable</i>	.	12,3	18,7	36,5
III	nieprzydatna <i>unfavourable</i>	91,0	62,3	25,5	.
	przydatna <i>favourable</i>	1,6	.	11,9	36,1
IV	nieprzydatna <i>unfavourable</i>	74,8	61,3	10,3	.
	przydatna <i>favourable</i>	9,4	8,7	10,6	23,5
V	nieprzydatna <i>unfavourable</i>	55,8	49,7	1,3	.
	przydatna <i>favourable</i>	15,5	14,2	17,4	24,2
VI	nieprzydatna <i>unfavourable</i>	61,0	52,9	.	.
	przydatna <i>favourable</i>	5,5	5,5	5,5	8,1
VII	nieprzydatna <i>unfavourable</i>	62,3	54,8	.	0,3
	przydatna <i>favourable</i>	2,3	2,3	2,6	5,5
VIII	nieprzydatna <i>unfavourable</i>	46,1	40,0	.	0,3
	przydatna <i>favourable</i>	10,6	11,6	16,8	17,7
IX	nieprzydatna <i>unfavourable</i>	55,8	53,2	4,2	.
	przydatna <i>favourable</i>	12,6	12,6	14,2	31,9
X	nieprzydatna <i>unfavourable</i>	72,3	55,8	16,8	.
	przydatna <i>favourable</i>	9,0	9,0	14,8	34,8
XI	nieprzydatna <i>unfavourable</i>	92,9	64,8	23,5	.
	przydatna <i>favourable</i>	0,3	0,3	5,8	41,3
XII	nieprzydatna <i>unfavourable</i>	99,4	75,8	23,5	.
	przydatna <i>favourable</i>	.	.	7,7	49,7

Badania własne. / Own data.

to dwoma lub trzema symbolami numerycznymi rozdzielonymi kreską ułamkową (np. 0/1 lub C/T/H), co oznacza, że w danym dniu należy się liczyć z występowaniem różnych, wskazanych w kalendarzu, kategorii cech pogody. O pojawieniu się dwóch lub trzech symboli decyduje częstość danej kategorii cechy pogody. Dwa symbole wpisuje się wtedy, gdy dwie kategorie konkretnej cechy pogody stanowią łącznie 75% przypadków, a trzy symbole – gdy tę samą częstość mają łącznie 3 różne kategorie.

Tabela 4.10. zawiera przykład kalendarza warunków pogodowych, opracowanego dla Warszawy (na podstawie danych ze stacji Warszawa-Okęcie). Widać wyraźnie,

że w Warszawie dość często zdarzało się, iż w poszczególnych dniach miesiący letnich w większości lat panował taki sam typ pogody oraz takie same bodźce radiacyjne. Pozostałe cechy pogody (biotermiczne i meteorologiczne) charakteryzowała znaczna zmienność, dlatego w kalendarzu są one zaznaczone podwójnym symbolem (np. 2/3, T/H, 1/0).

Tabela 4.10. Kalendarz warunków pogodowych dla Warszawy, 1994–2001
Table 4.10. Weather calendar for Warsaw, 1994-2001

Lipiec July								Sierpień August							
D	typ type	podtyp subtype			klasa class			D	typ type	podtyp subtype			klasa class		
	STI	R'	PhS	HSI	dt	RR	SC		STI	R'	PhS	HSI	dt	RR	SC
1	1	2/3	T/H	1/0	1	0	0	1	1/2	2/3	H/T	1/0	1/0	0/1	0
2	1	2/3	T	0/1	1/0	1/0	0	2	1/2	2/3	H	1	1	0/1	0
3	1	2/3	H/T	1/0	1	0/1	0	3	1	2	H/T	1/0	1/0	0/1	0
4	1	2/3	H	1	1	0/1	0	4	1	2	H/T	1/0	1/0	1/0	0
5	1/2	2	H/T	1	1/0	0/1	0	5	1	2	T	1/0	1/0	0/1	0
6	1/2	2	T/H	1/0	1/0	0/1	0	6	1	2/3	T	1/0	1/0	0/1	0
7	1/2	2/3	H/T	0/1	1/0	0/1	0	7	1/2	2	H/T	1	1	0/1	0
8	1	2/3	C/H	0/1	1/0	1/0	0	8	1	2/3	T	1/0	1/0	0/1	0
9	1	2/3	C/T	0/1	0/1	1/0	0	9	1	2	T/H	0/1	1	0/1	0
10	1	2	T	1/0	1	0/1	0	10	1	2	H/T	1/0	1	0/1	0
11	1/2	2/3	H/T	1/0	1	0/1	0	11	1	2	T	1/0	1	0	0
12	1	2/3	H/T	0/1	1/0	0/1	0	12	1	2	H/T	1/0	1	0/1	0
13	1/2	2/3	H/T	1/0	1	0/1	0	13	1	2	T/H	1/0	1	0	0
14	1/2	2/3	H	1/0	1	0/1	0	14	1	2	T/H	0/1	1/0	1/0	0
15	1/2	2/3	T	0/1	1	0/1	0	15	1	2	T	0/1	1/0	1/0	0
16	1	2	T	1/0	1/0	0/1	0	16	1	2/3	T	1/0	1	0	0
17	1/2	2	T	1/0	1/0	1/0	0	17	1	2	H/T	1/0	1	0/1	0
18	1	2/3	T	0/1	1/0	1/0	0	18	1	2	H	1/0	1	0/1	0
19	1	2/3	C/T	0/1	1/0	1/0	0	19	1/2	2	H	1	1	0/1	0
20	1	2/3	H/C	1/0	1/0	0/1	0	20	1	2	H/T	1	1	0	0
21	2/1	2/3	H/T	1/0	1/0	0/1	0	21	1/2	2	H	1/0	1	0	0
22	1/2	2	H/T	1	1	0	0	22	1	2	T/H	1/0	1/0	0/1	0
23	1	2	T	0/1	1/0	0/1	0	23	1	2	T/H	0/1	1	0/1	0
24	1	2	T	1/0	1	0/1	0	24	1	2	T/H	1/0	1	0	0
25	1	2	H/T	1	1/0	0/1	0	25	1/0	2	H	1/0	1/0	0/1	0
26	1/2	2	H	1	1	0/1	0	26	1	2	T	0/1	1/0	0/1	0
27	1	2	T	1	1/0	0/1	0	27	1	2	T	0/1	1/0	0/1	0
28	1/2	2	H/T	1	1	0	0	28	1/0	2	C/T	0/1	1/0	1/0	0
29	2/1	2	H	1	1/0	0/1	0	29	1/0	2	T	0/1	1/0	1/0	0
30	2/1	2/3	H/T	1	1	0	0	30	1/0	2	T	0	1/0	0/1	0
31	1/2	2/3	H/T	1/0	1/0	0	0	31	1/0	2	T	0/1	1/0	0/1	0

D – dzień miesiąca / day of month.

Badania własne. / Own data.

III. FIZJOLOGICZNE PODSTAWY REKREACJI I TURYSTYKI

Aby optymalnie wykorzystać zasoby klimatyczne podczas różnych form rekreacji i turystyki, potrzebna jest wiedza nie tylko na temat samego klimatu, ale także na temat reakcji organizmu na różne sytuacje atmosferyczne. Szczególne znaczenie ma w tym zakresie poznanie specyfiki gospodarki cieplnej organizmu. Procesy dostosowawcze do aktualnych warunków termicznych poprzez regulację temperatury ciała oddziałują także na gospodarkę wodną i mineralną organizmu.

5. Gospodarka cieplna organizmu

W celu poznania bezpośredniego oddziaływania warunków meteorologicznych na organizm ludzki, w ciągu ostatnich 50 lat rozwinęły się intensywnie badania bilansu cieplnego człowieka. Dzięki temu pogłębia się wiedza na temat relacji pomiędzy funkcjonowaniem organizmu człowieka a czynnikami meteorologicznymi. Na kształtowanie się wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem oddziałują bowiem dwie grupy czynników: fizjologiczne i środowiskowe (w tym meteorologiczne). Występują między nimi wielorakie powiązania (ryc. 5.1).

Analiza tych powiązań daje podstawę do obiektywnej oceny wpływu czynników środowiskowych na organizm człowieka. Trzeba tu przypomnieć, że celem rekreacji jest zapewnienie organizmowi odpoczynku i odnowy lub też wzmocnienie jego sił witalnych. Dlatego ważne jest określenie, z jakimi i jak silnymi bodźcami, głównie termicznymi, może zetknąć się rekreant lub turysta przebywając w danym miejscu, w danej porze roku i w danych warunkach pogodowych oraz jakie reakcje w organizmie mogą te bodźce wywołać.

5.1. Ogólny model bilansu ciepłego

Człowiek jest istotą stałocieplną. Podstawą prawidłowego funkcjonowania takich organizmów jest utrzymanie temperatury wewnętrznej na stałym poziomie (stan taki nosi miano homeotermii); u człowieka poziom ten wynosi około 37°C. Procesy termoregulacyjne istot stałocieplnych dążą do zrównoważenia przychodów i strat ciepła, aby stan homeotermii był zachowany. Wszelkie odchylenia od niego powodują niebezpieczeństwo przegrzania lub wychłodzenia organizmu i stanowią duże obciążenie. Różnorodne procesy aklimatyzacyjne mają na celu zminimalizowanie różnic pomiędzy ilością ciepła wytworzonego w organizmie lub dostarczonego z zewnątrz (w wyniku przemian metabolicznych i pochłaniania promieniowania słonecznego) a ilością ciepła odprowadzanego do otoczenia (na drodze parowania, oddychania, przewodzenia, unoszenia i wypromieniowania długofalowego).

Ogólne równanie bilansu ciepłego człowieka ma postać:

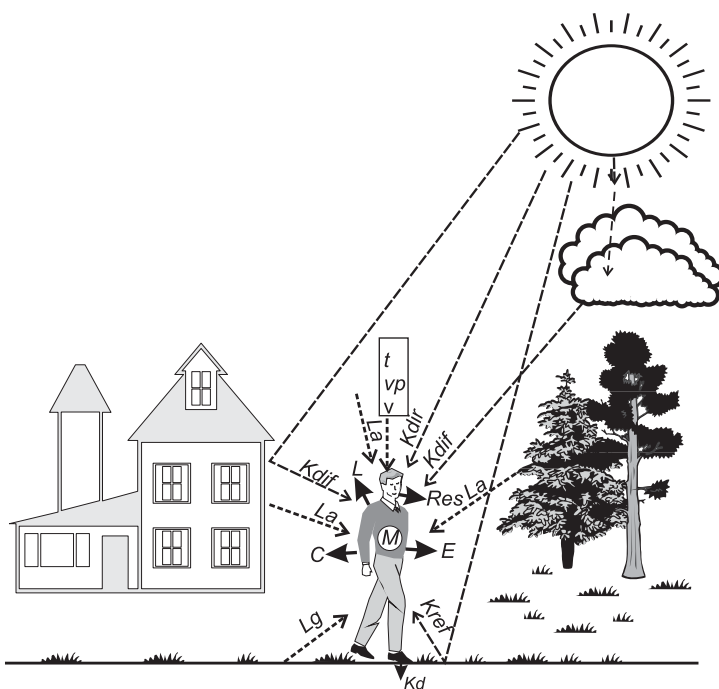
$$BMR + WL + Q + E + C + Res + Kd = S \quad [5.1]$$

Wynikiem wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem jest saldo wymiany ciepła (S). W warunkach chwilowych obserwuje się przewagę albo zysków, albo strat ciepła z organizmu, co prowadzi do zmian ilości ciepła, którym organizm dysponuje.

5.2. Źródła ciepła dla organizmu

5.2.1. Metaboliczna produkcja ciepła

Stałym źródłem ciepła dla organizmu są procesy metaboliczne zachodzące wewnątrz niego. Podstawowym procesem metabolicznym jest uwalnianie ciepła w wyniku tlenowych przemian chemicznych zachodzących w komórkach organizmu. Polegają one na utlenianiu tłuszczów, cukrów, węglowodanów i innych substancji. Dlatego podstawowym sposobem określenia metabolicznej produkcji ciepła jest pomiar zużycia tlenu, zarówno w stanie spoczynku, jak i podczas wysiłku fizycznego. Dzięki specjalnym analizatorom gazowym kontroluje się ilość wdychanego powietrza i mierzy w powietrzu wydychanym ilość dwutlenku węgla, który powstaje w organizmie w wyniku procesów utleniania. Badania takie wymagają specjalistycznej aparatury i są z reguły prowadzone tylko podczas szczegółowych badań laboratoryjnych. Niewielkie ilości ciepła są także dostarczane w wyniku beztlenowych przemian energetycznych następujących w obrębie mięśni szkieletowych; ekwiwalentem 1 kalorii ciepła jest $4,18 \cdot 10^7$ erga pracy (Bligh, Johnson 1973; Kozłowski 1986; Stetson, red. 1967; Stoker i inni 1973; Sylwanowicz i inni 1989).



Ryc. 5.1. Człowiek i jego środowisko termiczne:

elementy meteorologiczne: t – temperatura powietrza, vp – ciśnienie pary wodnej, v – prędkość wiatru;

promieniowanie słoneczne: K_{dir} – bezpośrednie, K_{dif} – rozproszone, K_{ref} – odbite;

promieniowanie ciepłe: La – promieniowanie ciepłe otoczenia, Lg – emisja ciepła podłoża;

strumień ciepła: M – metabolizm, E – ewaporacja, C – konwekcja, Kd – kondukcja, L – radiacja, Res – respiracja

Fig. 5.1. Man and his thermal environment:

meteorological elements: t – air temperature, vp – vapour pressure, v – wind speed;

solar radiation: K_{dir} – direct, K_{dif} – diffuse, K_{ref} – reflected;

thermal radiation: La – thermal radiation of surroundings, Lg – ground radiation;

heat fluxes: M – metabolism, E – evaporation, C – convection, Kd – conduction,

L – radiation, Res – respiration

Opracowanie własne. / Own elaboration.

Na całkowitą, metaboliczną produkcję ciepła składają się:

- metabolizm podstawowy (BMR – *Basal Metabolic Rate*), oznaczający podstawową produkcję ciepła w organizmie, mierzoną w środowisku termoneutralnym, w stanie spoczynku, po śnie;
- produkcja ciepła związana z aktywnością fizyczną człowieka (WL – *Work Load*); w wyniku różnych form aktywności fizycznej człowieka następuje intensyfikacja

wymiany gazowej – więcej tlenu dociera do komórek organizmu i bierze udział w utlenianiu tłuszczów, cukrów i węglowodanów, dostarczając dodatkowe ilości energii.

Na metabolizm podstawowy, który w warunkach termoneutralnych (tzn. w temperaturze otoczenia 18–25°C) wynosi 40–55 W·m⁻², wpływają takie czynniki jak: płeć, wiek, wzrost i ciężar ciała, termiczne warunki otoczenia oraz sezonowe i regionalne zróżnicowanie klimatu (Downey i inni 1971; Hammel 1965; Kenney 1985; Stetson, red. 1967). Obszerną bibliografię prac dotyczącą wpływu powyższych czynników na metabolizm podstawowy podaje C. Schofield (1985).

Fizjologowie są zgodni, że wraz ze spadkiem temperatury powietrza wzrasta podstawowa metaboliczna produkcja ciepła. Jest to odpowiedź organizmu na zwiększone zapotrzebowanie energetyczne, wiążące się z intensywnym oddawaniem ciepła do otoczenia (Kaleta 1971; Klonowicz, Kozłowski 1970; Kozłowski 1986; Rewerski i inni 1972). Przy spadku temperatury otoczenia o około 5°C (w stosunku do warunków termoneutralnych) *BMR* wzrasta o 17% (Wenneberg i inni 1973), przy spadku *t* o 10–15°C – o około 50% (Downey i inni 1971), a przy spadku *t* o 15–20°C metabolizm podstawowy wzrasta nawet o 80% (Scholander i inni 1958).

Jeśli chodzi o środowisko gorące, wyniki badań fizjologicznych nie są jednoznaczne. W niektórych eksperymentach obserwowany jest niewielki (o 5–10%) spadek *BMR* (Hammel 1965; Kozłowski 1986; Rowell i inni 1969; Smolander 1987; Strydom i inni 1966). W licznych badaniach prowadzonych w środowisku gorącym stwierdza się jednak wzrost metabolizmu podstawowego o 5–10% w stosunku do warunków termoneutralnych (Hey 1974; Ingram, Mount 1975; Vitte, Petryn 1952). C.F. Consolazio i inni (1963) uważają, że jest to spowodowane wzrostem potrzeb energetycznych intensywnie pracującego układu krążenia, aktywnością gruczołów potowych i podwyższeniem się temperatury ciała.

Wpływ sezonowości klimatu na podstawową produkcję ciepła badali H. Yoshimura i T. Morimoto (1974) obserwując, że *BMR* u osób zamieszkujących umiarkowane strefy klimatyczne jest zimą o 10–20% większy niż latem.

Ważnymi czynnikami różnicującymi podstawową metaboliczną produkcję ciepła są cechy osobnicze: płeć, wiek, wzrost i ciężar ciała. W.N. Schofield (1985) przeprowadził szerokie badania porównawcze metabolizmu podstawowego zmierzzonego u różnych grup ludzi. Badania statystyczne pozwoliły mu także na wyprowadzenie równań regresji wielokrotnej, za pomocą których można z dużą dokładnością obliczyć wartość *BMR* na podstawie wzrostu i ciężaru ciała, przy uwzględnieniu różnic związanych z wiekiem i płcią człowieka (tab. 5.1).

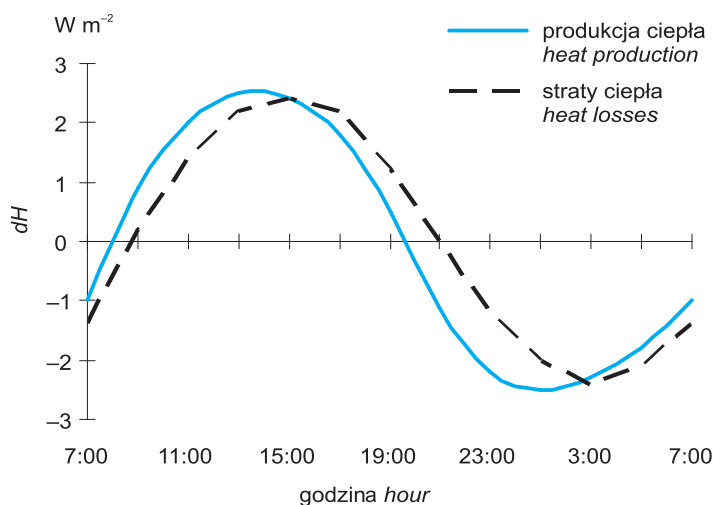
Wysiłek fizyczny zwiększa metaboliczną produkcję ciepła ponad poziom podstawowy. Tych zmian dotyczy znaczna część badań fizjoklimatycznych (Gavhed, Holmér 1989b; Nielsen i inni 1972; Rowell i inni 1969; Smolander 1987; Strydom i inni 1966; Wyndham i inni 1973; Young 1979). Obserwuje się wyraźną dobową cykliczność metabolicznej produkcji ciepła (ryc. 5.2); w ciągu dnia jest ona większa od sumy strat ciepła z organizmu, natomiast nocą – mniejsza (Aschoff i inni 1974; Kreider i inni 1958; Webb 1971).

Tabela 5.1. Równania regresji do obliczania podstawowej metabolicznej produkcji ciepła ($BMR, W \cdot m^{-2}$)Table 5.1. Regression equations for calculating basic metabolic rate ($BMR, W \cdot m^{-2}$)

Wiek Age	Płeć Gender	
	mężczyzna male	kobieta female
< 10	$BMR = (0,4927 \cdot wt + 3,2744 \cdot ht + 10,4)$	$BMR = (0,4267 \cdot wt + 4,0674 \cdot ht + 9,3)$
10-18	$BMR = (0,4085 \cdot wt + 3,4486 \cdot ht + 13,0)$	$BMR = (0,2103 \cdot wt + 11,7036 \cdot ht + 5,0)$
19-30	$BMR = (0,3785 \cdot wt - 0,2523 \cdot ht + 17,7)$	$BMR = (0,3425 \cdot wt + 7,1135 \cdot ht + 2,5)$
31-60	$BMR = (0,4927 \cdot wt - 0,0660 \cdot ht + 22,0)$	$BMR = (0,2043 \cdot wt + 0,0360 \cdot ht + 21,2)$
> 60	$BMR = (0,2283 \cdot wt + 24,4405 \cdot ht - 21,0)$	$BMR = (0,1983 \cdot wt + 11,5173 \cdot ht + 0,4)$

Źródło / Source: Schofield (1985).

Natężenie strumienia M jest z reguły wyrażane w watach na metr kwadratowy powierzchni ciała ($W \cdot m^{-2}$). Stosowane są jednak także inne jednostki: wat (W) lub dżul (J) i jego pochodne (kJ, MJ). W niektórych opracowaniach można się także spotkać z jednostką Met; 1 Met odpowiada strumieniowi ciepła metabolicznego o natężeniu $58,15 W \cdot m^{-2}$.



Ryc. 5.2. Odchylenia produkcji ciepła i sumy jego strat od wartości średniej dobowej

Fig. 5.2. Deviations of heat production and heat losses from mean daily values

Źródło: Aschoff i inni (1974) / Source: Aschoff et al. (1974).

Wyniki badań fizjologicznych pozwoliły na opracowanie norm wielkości metabolizmu dla różnej aktywności fizycznej (ISO 8996). Tabela 5.2 zawiera wartości metabolicznej produkcji ciepła przy różnej aktywności fizycznej człowieka w czasie zajęć rekreacyjnych.

Poprawne określenie natężenia metabolicznej produkcji ciepła jest bardzo ważne do prawidłowego planowania zajęć rekreacyjnych. Nadmierna produkcja

Tabela 5.2. Metaboliczna produkcja ciepła przy różnej aktywności fizycznej człowieka

Table 5.2. Metabolic heat production at various activities in man

Rodzaj czynności Activity	Metaboliczne wytwarzanie ciepła Metabolic heat production (W·m ⁻²)*	Prędkość poruszania się Movement speed (m·s ⁻¹)
Wypoczynek:		
leżąc	50	0
siedząc	60	0
stojąc	70	0
Marsz bez obciążenia:		
po równinie (km·godz ⁻¹)		
3,2	115	0,9
4,0	135	1,1
5,6	185	1,6
8,0	290	2,2
w górę przy nachyleniu		
(%) km·godz ⁻¹		
5 3,2	175	0,9
5 4,0	210	1,1
5 5,6	295	1,6
15 3,2	270	0,9
15 4,0	340	1,1
15 5,6	450	1,6
25 1,6	210	0,6
25 3,2	390	0,9
Marsz (4 km·godz ⁻¹) po równinie z obciążeniem:		
10 kg	195	0,9
30 kg	255	0,9
Zajęcia rekreacyjne i sportowe:		
gimnastyka	175–235	0,5–2,0
tenis	270	0,5–2,0
gra w piłkę	410	1–3
koszykówka	440	1–3
taniec	140–255	0,2–2,0
zapasy	500	0,2–0,3

Źródło / Source: Fanger (1974), ISO 8996.

* Podane wartości metabolizmu odnoszą się do tzw. „średniego człowieka” (wiek 30 lat, wzrost 175 cm, ciężar 75 kg), o metabolizmie podstawowym (BMR) równym 45 W·m⁻²; w przypadku osób znacznie odbiegających od parametrów „średniego człowieka” można obliczyć rzeczywisty wydatek energetyczny organizmu stosując wartość BMR policzoną wg tabeli 5.1.

Metabolic rate refers to „average person” (30 years old, high 175 cm, weight 75 kg) with basal metabolic rate (BMR) of 45 W·m⁻²; for individual subjects BMR can be calculated using equations from table 5.1.

ciepła może bowiem, podczas warunków meteorologicznych niesprzyjających jego oddawaniu z organizmu, prowadzić do zaburzeń gospodarki cieplnej i wodnej oraz do przegrzania organizmu. Z drugiej strony, umiejętnie dozowany wysiłek fizyczny nawet w czasie pogody zimnej i wietrznej, może powodować uczucie względnego komfortu termicznego.

5.2.2. Pochłonięte promieniowanie słoneczne

Pochłonięte promieniowanie słoneczne jest drugim, po metabolizmie, źródłem ciepła dla organizmu. Skóra człowieka oraz odzież, którą nosimy, mają zdolność pochłaniania promieniowania (Breckenridge, Goldman 1971; Budyko 1959, 1975; Cena 1974; Clark i inni 1980; Nishi 1980). Pochłonięte promieniowanie słoneczne ma także bezpośredni wpływ na wzrost temperatury skóry – por. rycina 3.8 (Błażejczyk 1990a, 1993, 1997, 1999; Błażejczyk i inni 1993, 2000b; Clark, Edholm 1985; Nielsen i inni 1988).

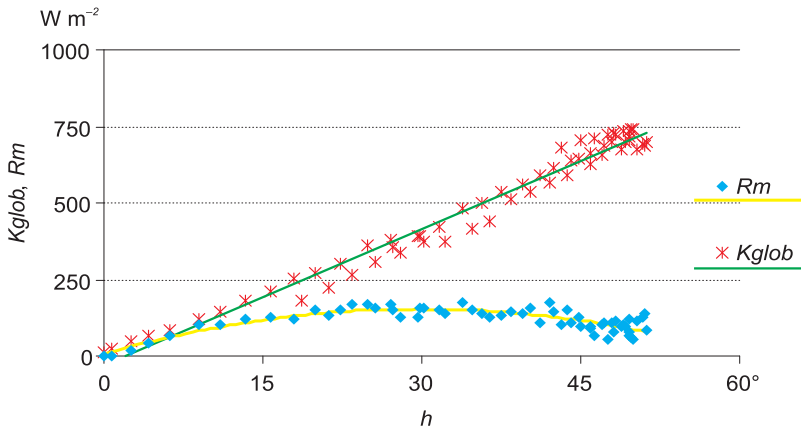
Ilość pochłoniętego promieniowania słonecznego zależy od kilku czynników: natężenia promieniowania, kąta padania promieni słonecznych, struktury promieniowania, albedo podłoża, usytuowania sylwetki człowieka w stosunku do promieni słonecznych oraz właściwości termoizolacyjnych i barwy odzieży.

W warunkach nieba bezchmurnego lub przy małym zachmurzeniu, obserwuje się stopniowy wzrost natężenia całkowitego promieniowania słonecznego w czasie. Przy zenitalnym położeniu tarczy słonecznej natężenie to może wynieść 1000–1100 W·m⁻². Pomiary pochłaniania promieniowania słonecznego przeprowadzone w 1995 r. z użyciem manekina jako analogu ciała człowieka wskazały na wyraźne zależności pomiędzy wysokością Słońca a wartościami promieniowania pochłoniętego przez manekin (R_m). Podczas niskich położań tarczy słonecznej ilość promieniowania pochłoniętego wzrasta wraz z wartością h , podobnie jak natężenie K_{glob} . Już przy wysokości Słońca równej 5° wzrost wartości R_m jest znacznie mniejszy. Niemniej ilość promieniowania pochłoniętego zwiększa się stopniowo, osiągając kulminację gdy wysokość Słońca wynosi 25–30°, po czym obserwuje się stopniowy spadek wartości R_m (ryc. 5.3). Podobne zależności obserwowano także podczas badań prowadzonych z użyciem innego analogu człowieka – elipsoidy (Błażejczyk 1993; Błażejczyk i inni 1998). W przypadku elipsoidy największe pochłanianie promieniowania słonecznego obserwowano przy kącie padania promieni słonecznych około 20° (por. ryc. 3.9).

Podczas zachmurzenia małego i umiarkowanego ($N=21-50\%$) największe ilości promieniowania pochłoniętego notuje się przy wysokości Słońca około 40°, po czym następuje wyraźny spadek R_m (ryc. 5.4).

Wpływ bezpośredniego promieniowania słonecznego na wartość R_m dopływającego do powierzchni manekina (lub do powierzchni ciała człowieka) ilustrują ryciny 5.5–5.7. Powierzchnia manekina eksponowana w kierunku tarczy słonecznej pochłaniała kilkakrotnie więcej promieniowania słonecznego niż te jej fragmenty, do których docierało jedynie promieniowanie rozproszone. Efektem tego było duże zróżnicowanie termiczne powierzchni manekina. Temperatura

powierzchni zacienionych była zbliżona do temperatury powietrza, podczas gdy temperatura powierzchni nasłonecznionych była od niej wyższa o 3–5°C (ryc. 5.5).



Ryc. 5.3. Całkowite promieniowanie słoneczne (K_{glob}) oraz promieniowanie pochłonięte przez manekina (R_m) przy różnej wysokości Słońca (h), przy zachmurzeniu nie większym od 20%

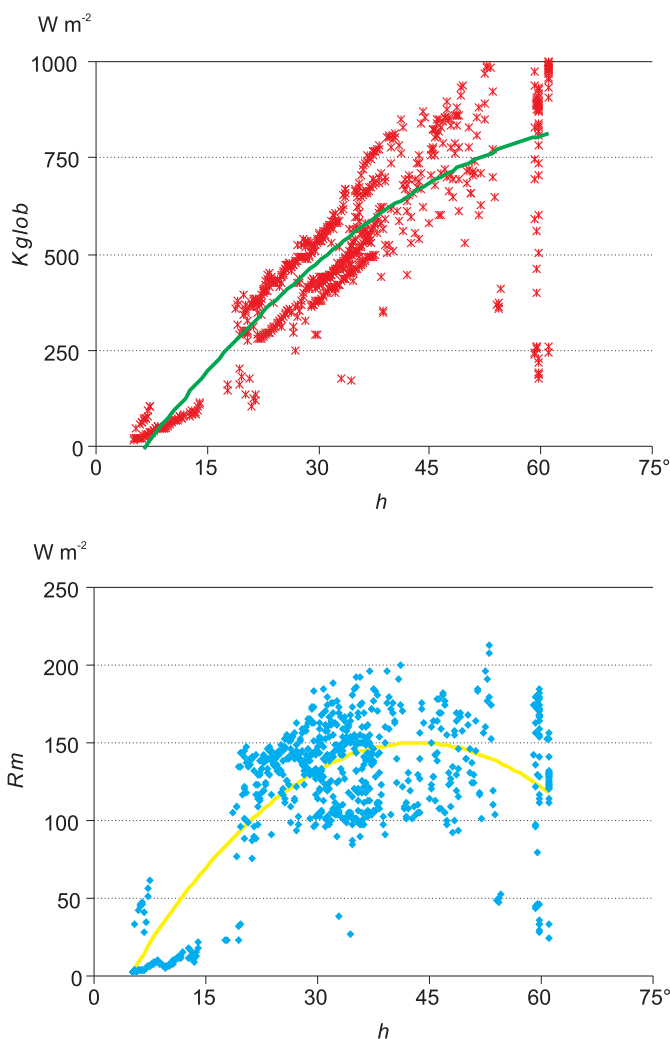
Fig. 5.3. Global solar radiation (K_{glob}) and absorbed solar radiation (R_m) at various Sun altitude (h) at cloudiness $\leq 20\%$

Badania własne. / Own data.

Różnice temperatury pomiędzy eksponowaną i nieeksponowaną na działanie bezpośredniego promieniowania słonecznego część manekina zwiększają się wraz ze wzrostem stosunku K_{dir}/K_{glob} . W dni pogodne, gdy promieniowanie bezpośrednie stanowiło 80–95% promieniowania całkowitego, nasłoneczniona część manekina była nawet o 7°C cieplejsza niż jego część zacieniona (ryc. 5.6).

Podobnie duże różnice obserwowano w przypadku człowieka stojącego na przemian w miejscu nasłonecznionym i zacienionym przez drzewa w analogicznych warunkach dopływu promieniowania słonecznego. Zarówno temperatura skóry (pod odzieżą), jak i pochłonięte promieniowanie słoneczne były podczas ekspozycji w miejscu nasłonecznionym znacząco wyższe niż podczas ekspozycji w cieniu. Największe różnice obserwowano wtedy, gdy natężenie promieniowania całkowitego w miejscu odsłoniętym wynosiło 500–600 $W \cdot m^{-2}$, co odpowiada kątowni padania promieni słonecznych około 30–35° (ryc. 5.7).

Dotychczas przedstawione wyniki badań eksperymentalnych pozwalają na sformułowanie prawidłowości, określających jaka część różnych strumieni promieniowania słonecznego jest pochłaniana przez człowieka stojącego. Służy do tego tzw. współczynnik pochłaniania (β). Ogólnie można stwierdzić, że współczynnik pochłaniania zależy od kąta padania promieni słonecznych. W przypadku promieniowania rozproszonego i odbitego β wzrasta nieznacznie wraz ze

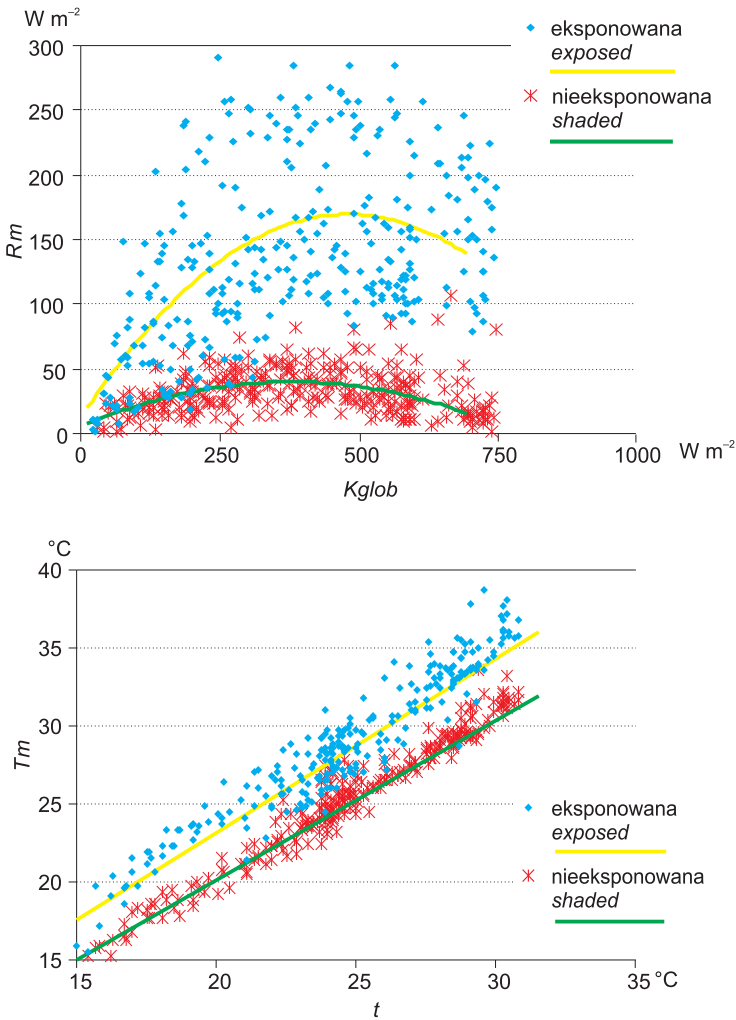


Ryc. 5.4. Całkowite promieniowanie słoneczne (K_{glob}) oraz promieniowanie pochłonięte przez manekin (R_m) przy różnej wysokości Słońca, przy zachmurzeniu 21–50%

Fig. 5.4. Global solar radiation (K_{glob}) and absorbed solar radiation (R_m) at various Sun altitude (h) and at cloudiness of 21–50%

Badania własne. / Own data.

zwiększaniem się kąta padania promieni słonecznych. W odniesieniu do promieniowania bezpośredniego obserwuje się dwa typy zależności: przy h mniejszym od 5° wartość współczynnika β ma trend dodatni: od 0 przy $h=0^\circ$ do około 3,6 przy $h=5^\circ$, natomiast przy wysokości Słońca większej od 5° obserwuje się trend malejący – początkowo wysokie wartości β osiągają przy $h=90^\circ$ wartość bliską zera (ryc. 5.8).



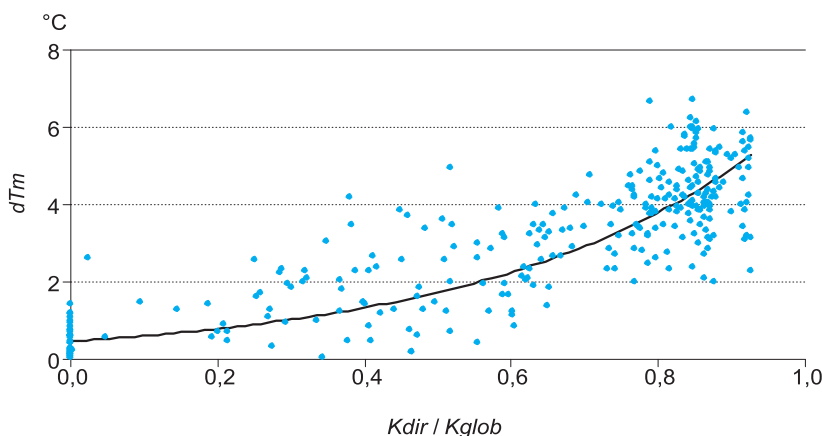
Ryc. 5.5. Temperatura powierzchni manekina (T_m) i pochłonięte przez manekin promieniowanie słoneczne (R_m) jako funkcja temperatury powietrza (t) i całkowitego promieniowania słonecznego (K_{glob}), obserwowane w części eksponowanej i nieeksponowanej ku tarczy słonecznej

Fig. 5.5. Temperature of a mannequin „skin” (T_m) and absorbed solar radiation (R_m) as a function of air temperature (t) and global solar radiation (K_{glob}) observed on exposed to the sun and shaded parts of a mannequin

Badania własne. / Own data.

Odzież jest kolejnym ważnym elementem wpływającym na ilość dopływającej do powierzchni ciała człowieka energii, której źródłem jest pochłonięte promieniowanie słoneczne. W przypadku człowieka ubranego to odzież jest eksponowana na działanie promieniowania słonecznego i pochłania je. Dzięki procesom przewodzenia pochłonięta energia jest przenoszona w kierunku powierzchni cia-

ła. Analizując ilość pochłoniętego promieniowania słonecznego, biorącego udział w bilansie cieplnym człowieka, należy rozpatrywać dwie cechy odzieży: izolacyjność termiczną oraz zdolność odbijania promieni słonecznych (albedo). Pierwsza z tych cech zależy od grubości i rodzaju odzieży, natomiast druga – od jej barwy.



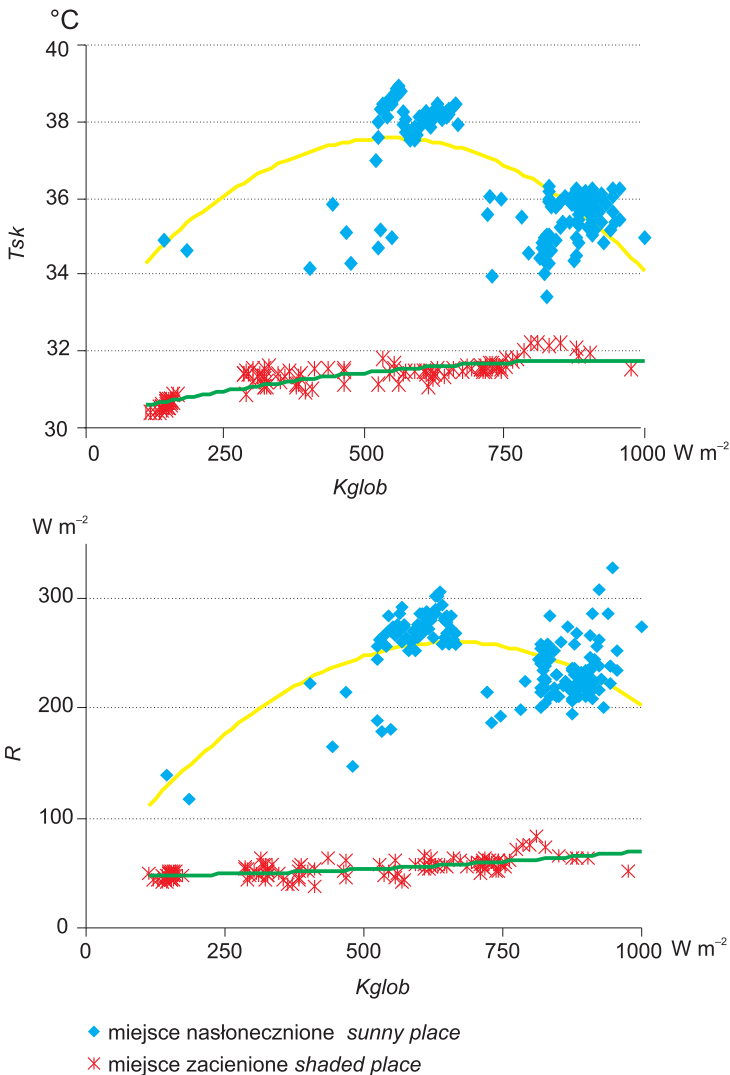
Ryc. 5.6. Różnice temperatury pomiędzy nasłonecznioną i zacienioną częścią manekina (dT_m) jako funkcja udziału promieniowania bezpośredniego w całkowitym promieniowaniu słonecznym (K_{dir}/K_{glob})

Fig. 5.6. Temperature differences (dT_m) between sunny and shaded parts of a mannequin as a function of direct solar radiation fraction (K_{dir}/K_{glob})

Badania własne. / Own data.

Przykład wpływu termoizolacyjnych właściwości odzieży na ilość ciepła docierającego przez nią do powierzchni ciała przedstawia rycina 5.9. Wprawdzie pomiary przeprowadzone były przy użyciu manekina, ale można je w pełni ekstrapolować na organizm człowieka. Ilość ciepła absorbowanego pod odzieżą – o albedo równym około 30%, a więc zbliżonym do albedo skóry człowieka – była nawet o 60% mniejsza niż na powierzchni manekina nieubranego. Największe różnice występowały przy natężeniu całkowitego promieniowania słonecznego około $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, co odpowiada wysokości Słońca około 30° .

Kolor odzieży bardzo wyraźnie wpływa na ilość ciepła otrzymywanego przez człowieka w wyniku pochłaniania promieniowania słonecznego. W przypadku odzieży czarnej ilość ta jest o około 50% większa niż w przypadku odzieży białej. Zależności te były obserwowane zarówno na manekinie, jak i na człowieku (ryc. 5.10). Ta różna ilość ciepła dostarczanego przez odzież przekłada się na temperaturę badanych powierzchni. Największe różnice T_m były obserwowane przy umiarkowanym natężeniu K_{glob} (przy h około 30°), natomiast przy małym i dużym natężeniu promieniowania słonecznego temperatura powierzchni manekina pod odzieżą białą i czarną była podobna. Nieco inaczej przebiega zależność pomiędzy temperaturą skóry (T_{sk}) i temperaturą powierzchni manekina (T_m)

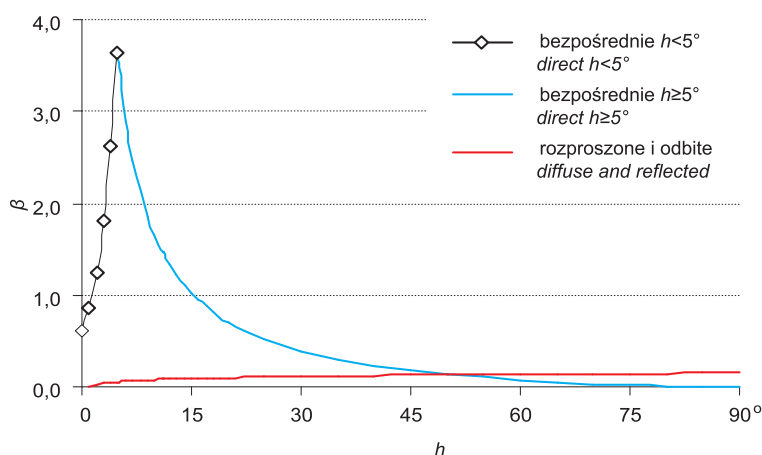


Ryc. 5.7. Temperatura skóry (T_{sk}) i promieniowanie pochłonięte (R) przez osobę stojącą w miejscu nasłonecznionym i zacienionym jako funkcja całkowitego promieniowania słonecznego (K_{glob})

Fig. 5.7. Skin temperature (T_{sk}) and absorbed solar radiation (R) in subjects at sunny place and shaded place as a function of global solar radiation (K_{glob})

Badania własne. / Own data.

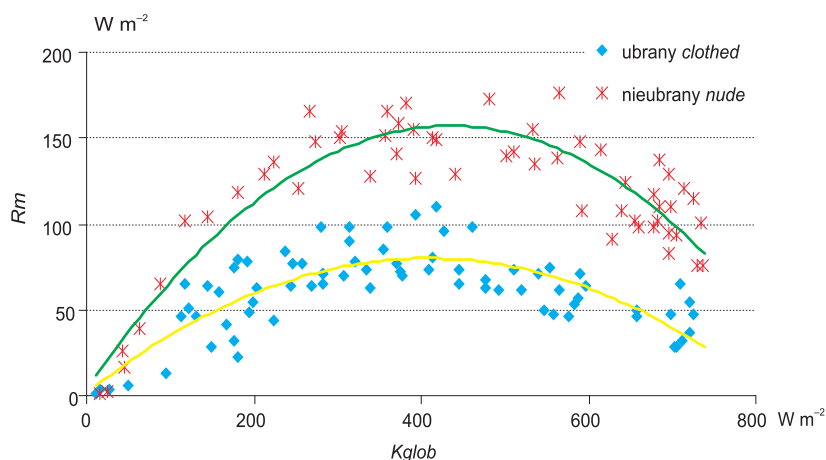
a natężeniem całkowitego promieniowania słonecznego. Tylko w początkowej fazie wzrostu K_{glob} wartości T_{sk} pod odzieżą czarną były wyższe niż pod białą. Wraz z przekroczeniem przez powierzchnię skóry temperatury $35^{\circ}C$ rozpoczęło się intensywne parowanie potu, które doprowadziło do znacznego obniżenia



Ryc. 5.8. Związek pomiędzy współczynnikiem pochłaniania (β) różnych strumieni promieniowania słonecznego a wysokością Słońca (h)

Fig. 5.8. Relationships between absorption coefficient (β) and Sun altitude (h) of various fluxes of solar radiation

Badania własne. / Own data.

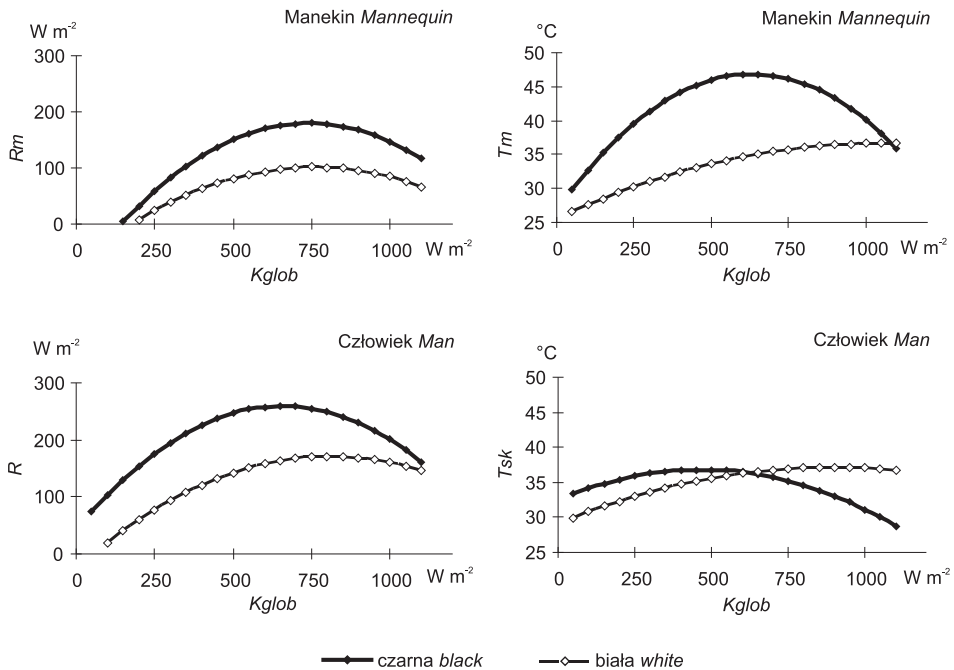


Ryc. 5.9. Natężenie strumienia ciepła (R_m), którego źródłem jest pochłonięte promieniowanie słoneczne, obserwowane na powierzchni manekina nieubranych oraz pod warstwą odzieży o termoizolacyjności 1 clo (przy albedo odzieży 30%), jako funkcja całkowitego promieniowania słonecznego (K_{glob})

Fig. 5.9. Solar radiation absorbed by a mannequin (R_m): clothed (1 clo, albedo 30%) and nude as a function of global solar radiation (K_{glob})

Badania własne. / Own data.

wartości T_{sk} . W efekcie tego procesu temperatura skóry pod odzieżą czarną była nieco niższa niż pod białą. W przypadku manekina nie występował efekt pocenia się, a temperatura jego powierzchni pod odzieżą czarną była zawsze wyższa niż pod odzieżą białą.



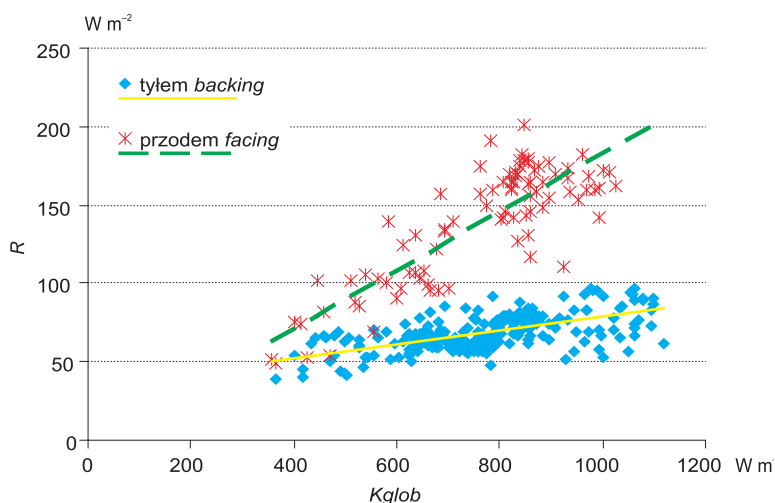
Ryc. 5.10. Promieniowanie pochłonięte przez manekina (R_m) i człowieka (R) oraz temperatura powierzchni manekina (T_m) i temperatura skóry człowieka (T_{sk}) ubranych w odzież czarną i białą o termoizolacyjności 0,6 clo przy różnym natężeniu całkowitego promieniowania słonecznego (K_{glob})

Fig. 5.10. Solar radiation absorbed by a mannequin (R_m) and man (R) as well as temperature of a mannequin (T_m) and skin temperature (T_{sk}) in subjects used black and white clothing (0.6 clo insulation) as the functions of global solar radiation (K_{glob})

Badania własne. / Own data.

Należy zwrócić uwagę na jeszcze jeden czynnik wpływający na ilość pochłoniętego promieniowania słonecznego – orientację ciała w stosunku do kierunku padania promieni słonecznych. Budowa ciała (głównie krzywizna pleców i klatki piersiowej) sprawia, że ilość ciepła, jaka dociera do powierzchni ciała w wyniku pochłaniania promieniowania słonecznego jest ponad dwukrotnie większa wtedy, gdy stoimy twarzą do Słońca niż w przypadku, gdy promienie słoneczne docierają do nas z tyłu (ryc. 5.11).

Przedstawione powyżej zagadnienia podkreślają, jak ważną rolę promieniowanie słoneczne pełni w kształtowaniu bilansu cieplnego człowieka przebywającego w terenie otwartym. Duże znaczenie mają także wspomniane czynniki wpływające na ilość ciepła, jaką organizm otrzymuje poprzez pochłanianie promieniowania słonecznego. Zaprezentowane wyniki badań są istotne w planowaniu bezpiecznej rekreacji w miejscach nasłonecznionych. Należy bowiem pamiętać, że w pewnych sytuacjach pogodowych niektóre z wymienionych czynników mogą powiększać ryzyko przegrzania organizmu oraz wystąpienia udaru cieplnego lub słonecznego. Z drugiej strony w wielu przypadkach promieniowanie słoneczne zwiększa walory rekreacyjne danego terenu lub sezonu.



Ryc. 5.11. Ilość pochłoniętego promieniowania słonecznego (R) w przypadku osób stojących tyłem i przodem do tarczy słonecznej w zależności od natężenia całkowitego promieniowania słonecznego (K_{glob})

Fig. 5.11. Absorbed solar radiation (R) at subjects stood backing and facing to the sun as a function of global solar radiation (K_{glob})

Badania własne. / Own data.

5.3. Transport ciepła wewnątrz organizmu

Zarówno ciepło produkowane wewnątrz organizmu, jak i ciepło, którego źródłem jest pochłonięte przez skórę promieniowanie słoneczne jest rozprowadzane do wszystkich tkanek ciała dzięki układowi krążenia. Krew przepływająca przez wnętrze ciała nagrzewa się od mających około 37°C tkanek. Ciepło to jest wraz z krwią przenoszone do tych narządów organizmu, których własna produkcja ciepła jest stosunkowo mała. Dociera także do tkanki skórnej, poprzez którą ciepło

jest odprowadzane do otoczenia. Podczas wysiłku fizycznego ciepło jest dodatkowo wytwarzane przez mięśnie szkieletowe (pokrywające układ szkieletowo-kostny). W tym przypadku droga odprowadzenia ciepła jest krótsza niż w przypadku energii wytwarzanej w narządach wewnętrznych. Część jej może być bowiem odprowadzana bezpośrednio przez skórę do otoczenia, a część jest rozprowadzana przez krew.

Także ciepło, którego źródłem jest pochłonięte promieniowanie słoneczne, jest transportowane przez układ krwionośny. W tym jednak przypadku, gdy jest ono zakumulowane w tkance skórnej i nieodprowadzone bezpośrednio do otoczenia, krew transportuje je do wnętrza ciała, co przyczynia się do wzrostu temperatury wewnętrznej. Procesy transportu ciepła wewnątrz organizmu są badane przez termofizjologów, bądź to za pomocą pomiarów, bądź też dzięki specjalnym modelom cyfrowym je opisujących (Fiala i inni 1999, 2001, 2005; Huiizenga i inni 2001, Tanabe i inni 2002). Nie zaobserwowano bezpośredniego wpływu warunków atmosferycznych na przebieg procesów przenoszenia energii cieplnej wewnątrz organizmu, dlatego w rozważaniach z zakresu biometeorologii i bioklimatologii szczegółowa ich analiza może być pominięta.

5.4. Oddawanie ciepła do otoczenia

W rozdziale 5.2. omówiono najważniejsze źródła ciepła dla organizmu: procesy metaboliczne (dostarczające ciepło w sposób nieprzerwany) oraz pochłonięte promieniowanie słoneczne. Aby nie doprowadzić do przegrzania się organizmu, niezbędne jest odprowadzanie ciepła do otoczenia (Bligh, Johnson 1973; Clark i inni 1980; Clark, Edholm 1985; *Glossary...*2001; Ingram, Mount 1975; ISO/DIS 7933; Mitchell 1977; Monteith 1974; Nishi 1980). W termofizjologii wyróżnianych jest pięć podstawowych sposobów jego eliminacji z ustroju:

- parowanie wody z powierzchni skóry (ewaporacja, *E*),
- oddychanie (respiracja, *Res*),
- turbulencyjne unoszenie ciepła jawnego z powierzchni ciała (konwekcja *C*),
- przewodzenie (kondukcja, *Kd*),
- wypromieniowanie długofalowe (radiacja, *L*).

5.4.1. Parowanie (*E*)

Powierzchnia ciała jest stale wilgotna. Znane są dwa sposoby wydzielania wody na powierzchnię skóry: dyfuzyjne i wymuszone przez podwyższoną temperaturę skóry. Dyfuzyjne wydzielanie wody poprzez błonę komórkową tkanki skórnej następuje w wyniku różnicy ciśnienia pomiędzy wnętrzem komórek a otoczeniem. Proces ten jest niezależny od termicznych warunków otoczenia, a więc jego intensywność jest względnie stała. Drugi ze sposobów wydzielania wody jest stymulowany przez temperaturę skóry. Gdy przekroczy ona wartość graniczną

(najczęściej jest to 33°C, ale możliwe są indywidualne odchylenia, nawet o 1°C), następuje uaktywnienie gruczołów potowych znajdujących się w skórze. Czynniki wpływające na temperaturę skóry można podzielić ogólnie na endogeniczne (wewnętrzne) i egzogeniczne (zewnętrzne). Omówiono je bliżej w rozdziale 5.7.

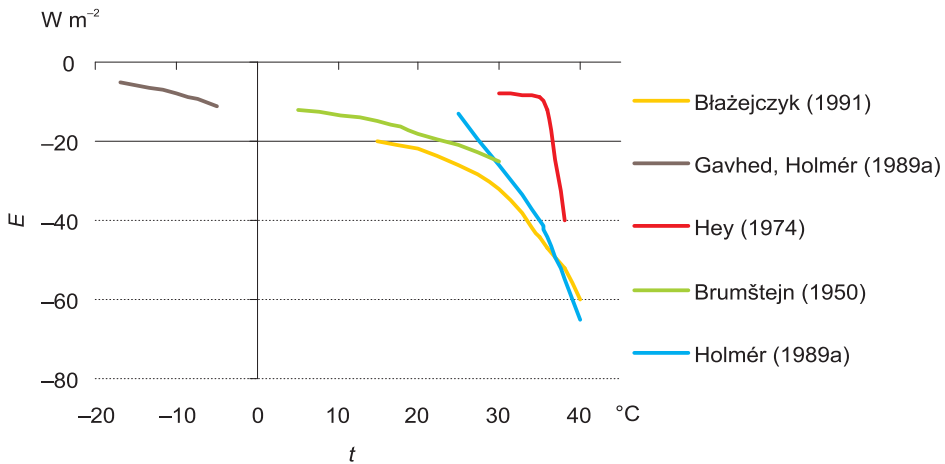
Odprowadzanie ciepła do otoczenia następuje w wyniku parowania wody znajdującej się na powierzchni skóry. Na wyparowanie z powierzchni skóry 1 grama wody zużywane jest około 0,385 W·m⁻² ciepła (Clark, Edholm 1985).

Intensywność parowania zależy od różnicy ciśnienia pary wodnej na powierzchni ciała i w otaczającym je powietrzu. Czynnikiem przyspieszającym parowanie jest ruch powietrza (Clark, Edholm 1985; Ingram, Mount 1975; McLean 1974; Mitchell 1977). Duże znaczenie ma również stopień uwilgotnienia skóry. Współczynnik uwilgotnienia (*w*) wyraża udział w ogólnej powierzchni skóry tej jej części, która jest całkowicie wilgotna (ISO/DIS 7933). Przy temperaturze skóry poniżej 32,5°C przeważa dyfuzyjne wydzielanie wody, a wartość współczynnika *w* nie przekracza 0,15. Wraz z uaktywnieniem gruczołów potowych stopień uwilgotnienia wzrasta, a całkowite uwilgotnienie skóry (*w*=1) następuje wtedy, gdy jej temperatura przekracza 36,5°C. Na intensywność parowania wpływa także odzież, która jest barierą dla przepływu pary wodnej i ciepła od powierzchni ciała do otoczenia (Błażejczyk, Holmér 2000; Holmér 2000). Dodatkowe czynniki wpływające na wielkość strat ciepła na parowanie to: aktywność fizyczna oraz pleć. Aktywność fizyczna, a zwłaszcza praca mięśni szkieletowych, podwyższa temperaturę powierzchni ciała, uaktywniając gruczoły potowe. W odniesieniu do płci obserwuje się, że u kobiet sprawność procesów wydzielania potu jest o około 25% niższa niż w przypadku mężczyzn (Höppe 1984).

Stwierdzane w różnych badaniach eksperymentalnych natężenie strat ciepła na parowanie waha się od 3–8 W·m⁻² w temperaturze powietrza poniżej 0°C, do 15–25 W·m⁻² przy 20–30°C i do 40–80 W·m⁻² przy temperaturze wyższej od 30°C (ryc. 5.12). W niektórych eksperymentach obserwowano nawet większe wartości ewaporacyjnych strat ciepła, sięgające 200–300 W·m⁻², co było spowodowane wyjątkowo wysoką temperaturą skóry, przekraczającą 35,5°C.

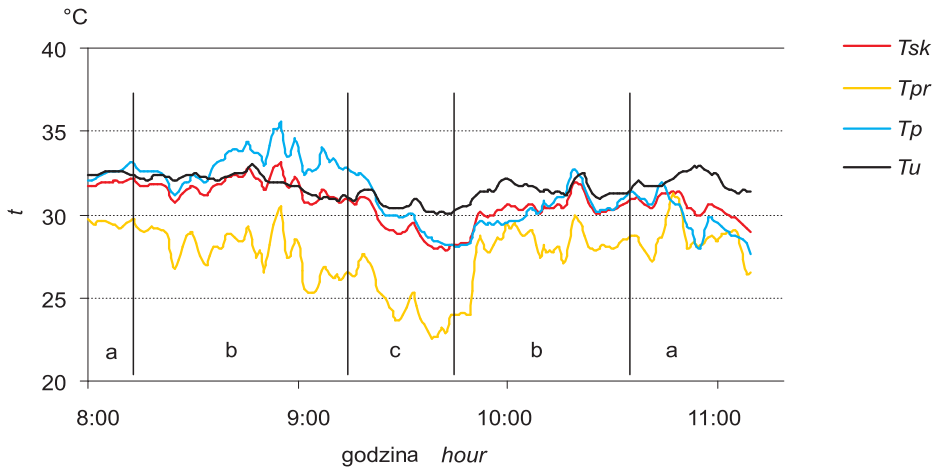
Istotnym fizjologicznym efektem ewaporacyjnych strat ciepła jest obniżenie temperatury skóry. Na podstawie danych zamieszczonych przez P.O. Fanger (1974) można stwierdzić, że strata – w wyniku parowania – 1 wata ciepła z 1 m² skóry powoduje obniżenie się jej temperatury o 0,066°C. Zwiększa to różnicę temperatury pomiędzy wnętrzem ciała a jego powierzchnią i intensyfikuje dalszy przepływ ciepła w tym kierunku, chroniąc w ten sposób organizm przed przegrzaniem. Proces ten jest szczególnie widoczny podczas aktywnej rekreacji w terenie otwartym (Błażejczyk 2002b). Zmiany temperatury skóry obserwowane podczas turystyki pieszej w górach są uzależnione od intensywności marszu (ryc. 5.13). Badania przeprowadzono na 5 osobach w sierpniu 2001 r. na Hali Gąsienicowej. Wszyscy uczestnicy eksperymentu ubrani byli w odzież o termoizolacyjności 0,8 clo (koszula flanelowa, długie spodnie, obuwie sportowe, czapka) i albedo około 30%. W pierwszej fazie eksperymentu marsz odbywał się po terenie lekko nachylnym (około 5%) z prędkością 4 km na godzinę.

W ciągu pierwszych 5–10 minut od wyjścia z budynku i rozpoczęcia marszu temperatura skóry obniżyła się o 1–2°C, co było efektem ochładzania skóry



Ryc. 5.12. Wpływ temperatury powietrza (t) na straty ciepła na parowanie (E) według różnych autorów

Fig. 5.12. Evaporation heat loss (E) at various air temperature (t) due to different authors



Ryc. 5.13. Zmiany temperatury skóry podczas intensywnego marszu w górach: T_{sk} – średnia ważona temperatury skóry, T_{pr} – temperatura skóry przedramienia, T_p – temperatura skóry piersi, T_u – temperatura skóry uda; poziom aktywności: a – spoczynek, b – marsz w górę, c – marsz w dół

Fig. 5.13. Changes in skin temperature during intensive mountains tourism: T_{sk} – mean skin temperature, T_{pr} – forearm temperature, T_p – torso temperature, T_u – thigh temperature; activity levels: a – rest, b – walking uphill, c – walking downhill

Badania własne. / Own data.

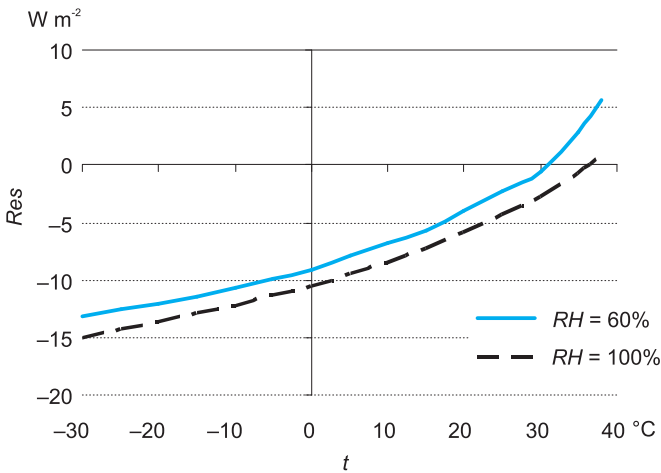
poprzez względny ruch powietrza w czasie ruchu. W ciągu następnych 30 minut marszu temperatura skóry stopniowo wzrastała w wyniku dodatkowych ilości ciepła powstającego podczas pracy mięśni. Najsilniej nagrzała się klatka piersiowa (około 35°C), a najsłabiej – odsłonięte przedramię (30°C). W tym czasie nastąpiło pokrycie skóry potem, który parując doprowadzał do natychmiastowego obniżenia temperatury powierzchni ciała. Najbardziej narażone na wahania temperatury było odsłonięte przedramię, które ochłodziło się do około 25°C. Další marsz w dół po pochyłości 5% nie zmienił tendencji spadkowej temperatury skóry, która ochłodziła się po dalszych 20 minutach marszu do 23°C na przedramieniu i 28°C na klatce piersiowej. Stosunkowo najmniejsze wahania temperatury notowano na udzie, co jest spowodowane dużą produkcją ciepła przez mięśnie szkieletowe uda podczas marszu. W końcowej fazie eksperymentu miał miejsce intensywny marsz w górę po pochyłości 40–50%. Dodatkowy wysiłek fizyczny potrzebny do pokonania zbocza skutkował gwałtownym wzrostem temperatury skóry i jej utrzymywaniem się na podwyższonym poziomie. W tej części marszu, tak jak w poprzednich, obserwowano okresowe wahania temperatury skóry związane z fazami nagrzewania i ochładzania przez parujący pot. Odpoczynek w pomieszczeniu po zakończeniu marszu zaznaczył się najpierw wzrostem temperatury skóry (na skutek braku chłodzenia przez ruch powietrza i nagromadzenia w mięśniach znacznej ilości ciepła), a następnie jej powolnym spadkiem.

5.4.2. Oddychanie (*Res*)

Oddychanie jest niezbędnym procesem podtrzymującym życie człowieka. Podczas oddychania dochodzi jednak nie tylko do wymiany gazowej (wdychanie tlenu a wydychanie dwutlenku węgla), ale także eliminacji ciepła z wnętrza ciała do otoczenia. W procesie oddychania ciepło jest zużywane na nagrzanie i nasycenie parą wodną powietrza, które styka się z powietrzem wydychanym (Budyko, Cyncenko 1960; ISO/DIS 7933). Straty ciepła na oddychanie (respirację) są więc zależne od temperatury i wilgotności powietrza wydychanego i powietrza otaczającego człowieka. Czynnikiem dodatkowym jest intensywność oddychania (wentylacji płuc), zwiększająca się najczęściej podczas wysiłku fizycznego (Bligh, Johnson 1973; Clark, Edholm 1985; Höppe 1984; McLean 1974; Monteith 1974; Nishi 1980). Respiracyjne straty ciepła są niewielkie i nie przekraczają 20 W·m⁻² (ryc. 5.14). W wysokiej temperaturze powietrza straty ciepła przez oddychanie zbliżają się do zera, a przy dodatkowo małej wilgotności powietrza obserwuje się niewielki, respiracyjny dopływ ciepła.

5.4.3. Unoszenie (*C*)

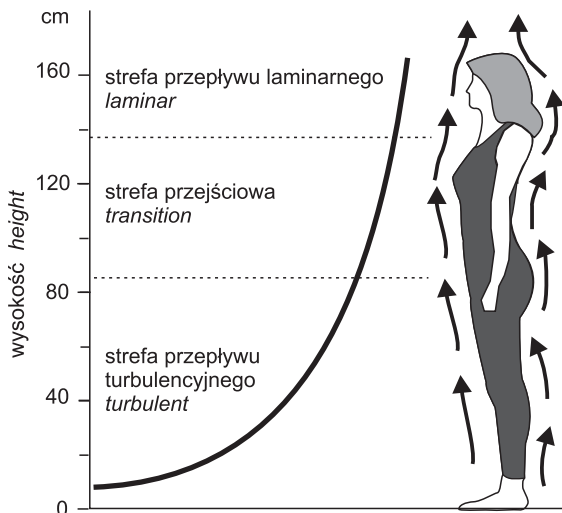
Turbulencyjne unoszenie ciepła jawnego z powierzchni ciała (konwekcja) jest u człowieka stojącego różne w poszczególnych częściach ciała (ryc. 5.15), co wiąże się ze sposobem przepływu powietrza wokół niego. Do wysokości około 80 cm następuje wokół ciała laminarny przepływ strug powietrza, natomiast na



Ryc. 5.14. Wpływ temperatury (t) i wilgotności względnej powietrza (RH) na respiracyjne straty ciepła (Res)

Fig. 5.14. Respiratory heat loss (Res) at various air temperature (t) and relative humidity (RH)

Badania własne. / Own data.

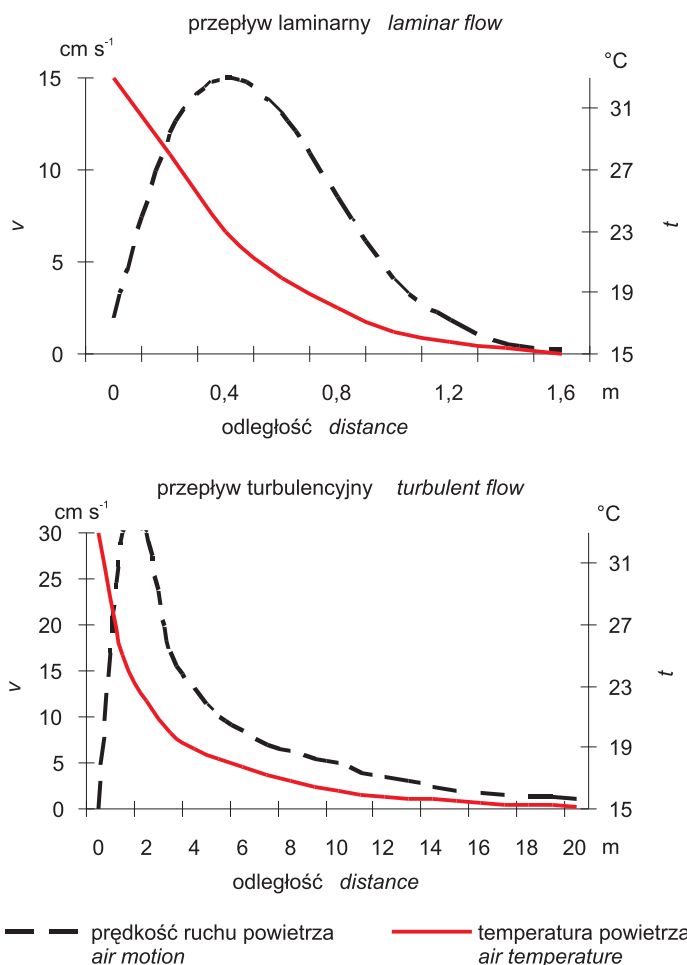


Ryc. 5.15. Strefy przepływu powietrza wokół człowieka w warunkach słabego i umiarkowanego wiatru (do $4 m \cdot s^{-1}$)

Fig. 5.15. Zones of air flow over the human body (at wind speed $< 4 m \cdot s^{-1}$)
Źródło / Source: Clark, Edholm (1985).

wysokości ponad 140 cm mamy do czynienia z przepływem turbulencyjnym, chaotycznym.

Sposób przepływu powietrza wokół człowieka ma swoje odzwierciedlenie w profilach zmian temperatury i prędkości ruchu powietrza w granicznej warstwie przyskórnej (ryc. 5.16). Przy temperaturze powietrza niższej od temperatury skóry, w strefie przepływu laminarnego, temperatura powietrza w warstwie o grubości około 1,5 cm stopniowo obniża się z 33°C (na powierzchni ciała) do aktualnej temperatury otoczenia. Na profilu zmian prędkości ruchu powietrza widać wyraźnie stosunkowo grubą (około 0,5 cm) warstwę powietrza w odległości



Ryc. 5.16. Profile zmian temperatury (t) i prędkości ruchu (v) powietrza w strefie przepływu laminarnego i turbulencyjnego

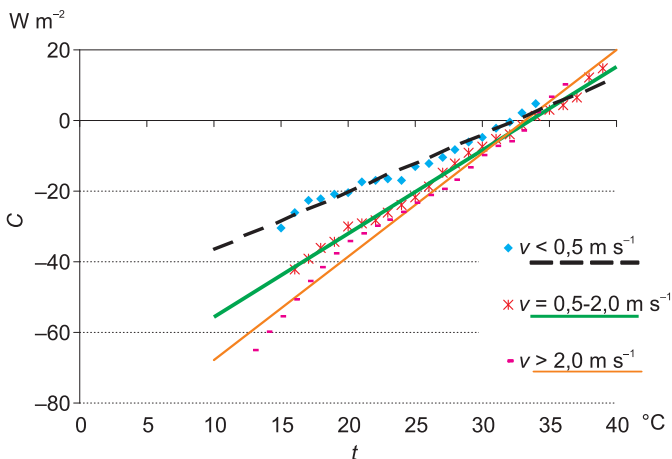
Fig. 5.16. Profiles of air temperature (t) and air motion (v) at the zones of laminar and turbulent flow

Źródło / Source: Clark, Edholm (1985).

0,3-0,8 cm od skóry, gdzie obserwuje się niewielkie zwiększenie jego prędkości. W strefie przepływu turbulencyjnego grubość warstwy powietrza, w której następuje obniżanie się temperatury od wartości obserwowanej na powierzchni skóry do temperatury otoczenia może sięgać nawet 15 cm. Stosunkowo gruba jest także warstwa powietrza, w której następuje zwiększenie prędkości ruchu powietrza przy powierzchni skóry. Przedstawione powyżej właściwości fizyczne przyskornej warstwy powietrza sprawiają, że ma ona właściwości termoizolacyjne (Clark, Edholm 1985; Fourt, Hollies 1970).

Natężenie wymiany ciepła przez unoszenie zależy od różnicy pomiędzy temperaturą skóry a temperaturą powietrza oraz od tak zwanego współczynnika konwekcyjnego przenoszenia ciepła (hc), który jest funkcją gęstości i pojemności cieplnej powietrza oraz prędkości jego przepływu wokół ciała (Bligh, Johnson 1973; Budyko, Cicenکو 1960; Clark i inni 1980; Clark, Edholm 1985; *Glossary...* 2001; ISO/DIS 7933; Mitchell 1977; Nishi 1980). Duże znaczenie ma także termiczna izolacyjność odzieży (Holmér 1988; Lotens 1993).

W temperaturze powietrza niższej od temperatury skóry strumień ciepła unoszonego turbulencyjnie ma wartość ujemną (jest skierowany od człowieka ku otoczeniu). Jeśli natomiast temperatura powietrza jest wyższa od temperatury skóry, ma miejsce dopływ ciepła z otoczenia. W warunkach klimatycznych Polski obserwuje się niekiedy, podczas letnich adwekcji gorącego powietrza zwrotnikowego, dopływ ciepła jawnego poprzez wymianę turbulencyjną (Błażejczyk 1991, 2000a) (ryc. 5.17).



Ryc. 5.17. Wymiana ciepła poprzez unoszenie (C) przy różnej temperaturze powietrza (t) i prędkości wiatru (v); uśrednione wyniki pomiarów przeprowadzonych w Polsce północno-wschodniej w lipcu 1989 r. na grupie osób ubranych w odzież o izolacyjności termicznej 1 clo

Fig. 5.17. Convective heat exchange (C) at various air temperature (t) and wind speed (v); averaged results of research carried out in north-eastern Poland in July 1989 with subjects wearing 1 clo garments

Badania własne. / Own data.

5.4.4. Przewodzenie (Kd)

Z wymianą ciepła przez przewodzenie (kondukcją) mamy do czynienia w przypadku bezpośredniego, dotykowego kontaktu człowieka z innym ciałem. Jej intensywność zależy od różnicy temperatury stykających się powierzchni oraz ich pojemności i przewodności cieplnej (Ingram, Mount 1975). W badaniach fizjoklimatycznych strumień ten jest pomijany z uwagi na jego znikomą wielkość, co jest związane z tym, że u człowieka stojącego powierzchnia ciała kontaktująca się z podłożem jest bardzo mała (ISO/DIS 7933; ISO/DC 11079). Kondukcyjny strumień ciepła jest rozpatrywany jedynie podczas analizy przepływu ciepła z wnętrza ciała do jego powierzchni lub też pomiędzy skórą a poszczególnymi warstwami odzieży (Burt i inni 1982a; Clark i inni 1980; Clark, Edholm 1985; Jokl 1982).

5.4.5. Promieniowanie długofalowe (L)

Pomiędzy człowiekiem a powietrzem i obiektami otoczenia następuje ciągły, wzajemny przepływ ciepła drogą promieniowania o długości fal większej od 4,0 μm . Skóra, tak jak każda powierzchnia fizyczna, emituje promieniowanie proporcjonalnie do swej temperatury i pochłania promieniowanie cieplne z otoczenia (Błażejczyk 1998a; Budyko, Cicenکو 1960; Clark i inni 1980; Clark, Edholm 1985; Monteith 1974; Nishi 1980). Wielkość wymiany ciepła poprzez promieniowanie długofalowe jest więc saldem pomiędzy promieniowaniem wyemitowanym a pochłoniętym przez skórę i zależy od pola temperatury wokół człowieka.

Z reguły mamy do czynienia z sytuacją, gdy skóra jest cieplejsza od otoczenia; wtedy saldo długofalowej wymiany ciepła jest ujemne – to oznacza, że nad pochłanianiem ciepła przeważa jego wypromieniowanie. W sytuacjach, gdy powietrze i obiekty otoczenia są znacznie cieplejsze od powierzchni ciała obserwuje się dodatnie saldo promieniowania długofalowego, co oznacza, że ta forma przepływu ciepła staje się jego źródłem dla organizmu. Sytuacje te ilustruje rycina 5.18. Pokazuje ona natężenie strumienia L obserwowanego w dwóch seriach pomiarowych, podczas których obserwatorzy nosili odzież o różnej termoizolacyjności: 0,5 clo w Wietnamie i 1 clo w Polsce. Porównanie wartości L z obydwu serii wskazuje także na istotne znaczenie odzieży w procesie wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem; w takich samych warunkach termicznych radiacyjne straty ciepła są prawie dwukrotnie mniejsze w odzieży o termoizolacyjności 1 clo niż 0,5 clo.

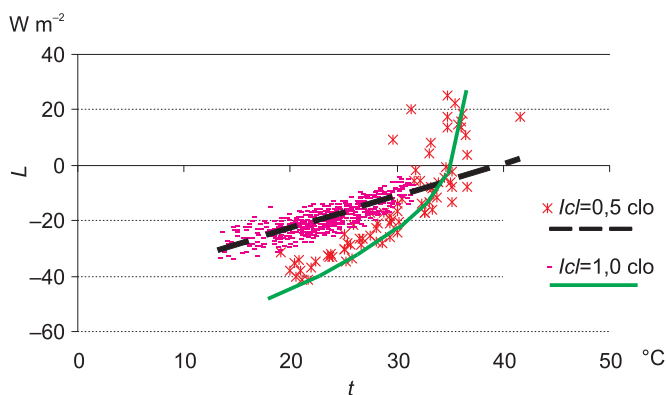
5.5. Saldo wymiany ciepła (S)

Wymianę ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem określa jej saldo (S). W warunkach chwilowych (niestacjonarnych) S ma najczęściej wartość dodatnią lub ujemną. W pierwszym przypadku mamy do czynienia z okresową przewagą

zysków ciepła nad jego stratami, w drugim natomiast – strat nad zyskami. Saldo dodatnie prowadzi do stopniowego gromadzenia się ciepła w organizmie, a ujemne – do zmniejszenia się wewnętrznych zasobów energetycznych (Bligh, Johnson 1973; Clark i inni 1980; Clark, Edholm 1985; Kaciuba-Uściłko 1990; Nishi 1980). W badaniach fizjologicznych zmiany zawartości ciepła w organizmie są określane poprzez bezpośrednie pomiary temperatury ciała. Dla poszczególnych momentów czasowych oblicza się zawartość ciepła w organizmie według wzoru [5.2]. Następnie, porównując wartości z kolejnych terminów, można określić zmiany zawartości, czyli saldo wymiany ciepła:

$$BHC = 3470 \cdot m \cdot (0,65 \cdot T_{re} - 0,35 \cdot T_{sk}), \quad [5.2]$$

gdzie 3470 jest ciepłem właściwym ciała człowieka ($J \text{ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$; Kaciuba-Uściłko 1990).



Ryc. 5.18. Wymiana ciepła poprzez promieniowanie długofalowe (L) przy różnej temperaturze powietrza (t) i w odzieży o różnej izolacyjności termicznej (I_{cl})

Fig. 5.18. Heat exchange by long-wave radiation (L) at various air temperature (t) and clothing insulation (I_{cl})

Badania własne. / Own data.

W badaniach bioklimatycznych saldo wymiany ciepła jest obliczane jako suma wszystkich strumieni ciepła. Zakłada się przy tym, że dodatnia wartość każdego strumienia oznacza, iż dostarcza on ciepło do powierzchni ciała; wartość ujemna mówi natomiast, że dany strumień odprowadza ciepło z powierzchni skóry do otoczenia (Błażejczyk 1991, 1993, 1994a, 1997, 2001a; Błażejczyk, Krawczyk 1991; Kravčik i inni 1991; Krawczyk, Błażejczyk 1991; Nielsen i inni 1988; Raynaud i inni 1976).

Zbyt duże i długo utrzymujące się saldo ujemne prowadzi do stopniowego ochładzania się wnętrza organizmu, a w warunkach skrajnych do jego wychłodzenia, czyli hipotermii, mogącej być przyczyną nawet ustania funkcji życiowych organizmu. Równie niebezpieczne jest saldo dodatnie, wskazujące na gromadze-

nie ciepła w organizmie. Do wzrostu temperatury ciała o 1°C konieczne jest zakułowanie 245–300 kJ ciepła (Clark i inni 1980; Smolander 1987). Odpowiada to strumieniowi ciepła o stałym natężeniu około $45 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ w ciągu jednej godziny. Pewna ilość ciepła jest przy tym gromadzona bezpośrednio w obrębie skóry i tkanki podskórnej oraz mięśni, nie przenikając do organów wewnętrznych (Nadel 1985). Zgromadzone ciepło może być przyczyną przegrzania organizmu (hipertermii), powodującego trwale uszkodzenia struktur białkowych wewnątrz komórek.

Głównymi czynnikami stymulującymi dodatnie wartości salda wymiany ciepła i powodującymi podwyższenie temperatury wewnętrznej są: praca oraz przebywanie w wysokiej temperaturze otoczenia (Błażejczyk 1993, 2000a; Garden i inni 1966; Givoni, Goldman 1973; Kenney 1985; Nielsen i inni 1972; Reynaud i inni 1976; Rowell i inni 1969; Smolander 1987; Strydom i inni 1966; Wyndham i inni 1973). Z drugiej strony, przebywanie w środowisku zimnym prowadzi do powstania ujemnego salda wymiany ciepła i ubytku ciepła w organizmie, a poprzez to do obniżenia się temperatury wewnętrznej (Błażejczyk 1998b; Gavhed, Holmér 1989a; Holmér 1989a, 1994; Iampietro i inni 1958).

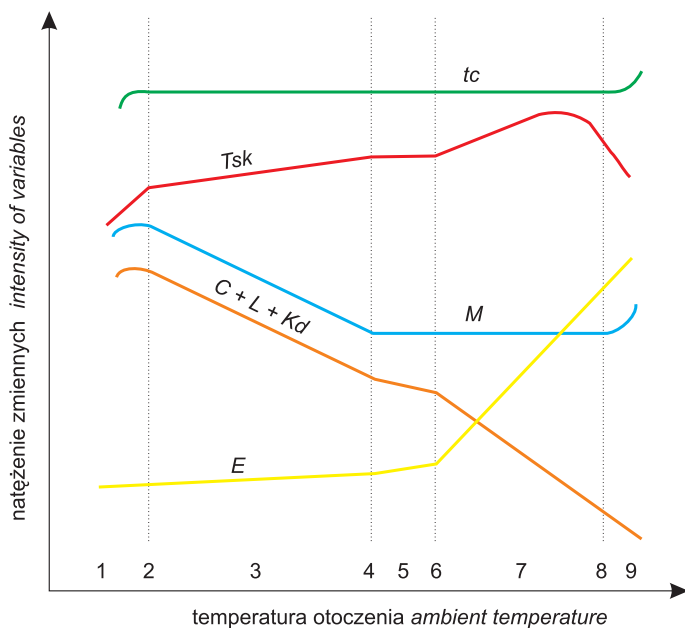
W krótkich okresach całkowite zbilansowanie się zysków i strat ciepła z organizmu jest praktycznie niemożliwe. Występuje ono jedynie „w wystarczająco długim czasie” (Clark, Edholm 1985; Ingram, Mount 1975; Mitchell 1977). Szczegółowe pomiary produkcji i strat ciepła w okresach dobowych wskazują, że w tym właśnie czasie wymiana ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem zamyka się bilansem zerowym (Aschoff i inni 1974; Kreider i inni 1958; Webb 1971) (ryc. 5.2).

Saldo wymiany ciepła kształtuje się w wyniku działania czynników fizjologicznych i meteorologicznych, a jego wielkość mówi o obciążeniu cieplnym organizmu i wskazuje na odczucia cieplne człowieka. Ogólnie biorąc, przy wzrastającej ilości ciepła w organizmie człowiek odczuwa „ciepło” lub „gorąco”, a przy ubytku ciepła dominują odczucia „komfortowo” i „zimno” (Błażejczyk 1993; Nishimura i inni 1978).

5.6. Mechanizmy regulacji temperatury ciała

Człowiek, jako istota stałocieplna, jest zdolny do zachowania stanu równowagi cieplnej i utrzymywania prawie stałej temperatury wewnętrznej, niezależnie od temperatury otoczenia i jej zmian (ryc. 5.19). Wraz ze zmianami temperatury otoczenia następują znaczne zmiany temperatury powierzchni ciała, niemniej jednak poziom poszczególnych strumieni ciepła odprowadzanego z organizmu do otoczenia sprawia, że w dość szerokim zakresie warunków termicznych organizm jest w stanie zachować względnie stałą temperaturę wewnętrzną.

Stan równowagi termicznej organizmu jest określane mianem homeotermii. Występuje ona wtedy, gdy temperatura wewnętrzna organizmu wynosi $37\pm 2^{\circ}\text{C}$ (Bligh, Johnson 1973; Mitchell 1977; Popoczko 1990). Nieco węższy zakres wahań temperatury ciała ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) podaje J. Narębski (1980). W fizjologii przyjmuje się, że



Ryc. 5.19. Wpływ temperatury otoczenia na produkcję ciepła (M) i jego straty (E – ewaporacyjne, C – konwekcyjne, L – radiacyjne, Kd – konducyjne) oraz na temperaturę wewnętrzną (tc) i temperaturę skóry człowieka (T_{sk});

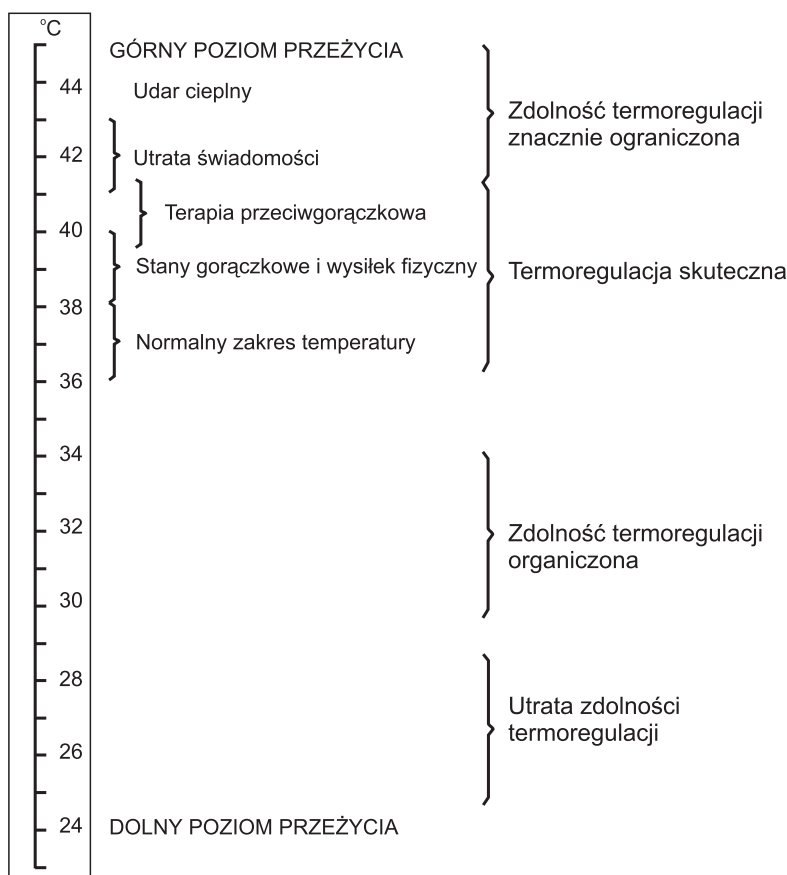
1 – strefa wychładzania organizmu, 2 – temperatura, w której metabolizm jest największy i rozpoczyna się wychładzanie, 3 – strefa narastającego stresu zimna, 4 – temperatura krytyczna, 5 – strefa najmniejszego obciążenia układu termoregulacyjnego, 6 – temperatura, w której wzrastają straty ciepła na parowanie, 7 – strefa narastającego stresu gorąca, 8 – temperatura, w której zaczyna się przegrzewanie organizmu, 9 – strefa przegrzewania organizmu; układ termoregulacyjny jest w pełni sprawny w strefach od 3 do 7

Fig. 5.19. Influence of ambient temperature on heat production (M), heat losses (E – by evaporation, C – by convection, L – by long-wave radiation, Kd – by conduction) as well as on core temperature (tc) and skin temperature (T_{sk}) in man;

1 – organism overcooling, 2 – temperature of the highest metabolism, 3 – increasing cold stress, 4 – critical temperature, 5 – the lowest load of thermoregulation system, 6 – temperature of sweat secretion, 7 – increasing hot stress, 8 – maximal tolerated hot stress, 9 – organism overheating; thermoregulation system is efficient within range of 3–7

Źródło / Source: Ingram, Mount (1975).

układ termoregulacyjny człowieka jest w pełni sprawny, gdy temperatura ciała wynosi 36–40°C (Hardy 1965; Klonowicz, Kozłowski 1970) (ryc. 5.20).



Ryc. 5.20. Sprawność układu termoregulacyjnego w różnej temperaturze wewnętrznej; w pojedynczych przypadkach dolny poziom przeżycia obserwowano nawet przy temperaturze wewnętrznej równej 18°C

Fig. 5.20. Efficiency of thermoregulatory system at various core temperature

Źródło / Source: Hardy (1965).

Termoregulacja to „dostosowywanie się wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem w sposób zapewniający równowagę bilansu cieplnego i stałą temperaturę wewnętrzną” (Kozłowski 1986). Mechanizm uaktywniania reakcji termoregulacyjnych oraz zapewnienia optymalnego kierunku i zakresu działań dostosowawczych organizmu wyjaśnia teoria *set-pointu*. Mianem tym określa się poziom temperatury wewnętrznej organizmu (najczęściej 37°C), na którą nastawione jest centrum termoregulacji znajdujące się w części mózgu zwanej podwzgórzem. Odchylenie temperatury ciała od tego poziomu wywołuje reakcje termoregulacyjne proporcjonalne do powstałego sygnału termicznego. Układ termoregulacyjny

człowieka może przy tym zmieniać swój poziom nastawienia, dostosowując go w wyniku aklimatyzacji do oddziałujących czynników zewnętrznych (Cabanac 1980; Hammel 1965; Hardy 1965; Kozłowski 1986).

Ludzki organizm jest bardzo delikatnym systemem. Komórkom i tkankom nie może być ani za ciepło, ani za zimno, ani za kwaśno, ani zbyt sucho. Najlepiej czujemy się, gdy temperatura otoczenia (mierzona w cieniu i miejscu bezwietrznym) waha się między 18 a 23°C. Gdy robi się cieplej lub zimniej, organizm uruchamia reakcje chroniące go przed przegrzaniem lub wychłodzeniem. Włączenie takich mechanizmów obronnych wymaga jednak energii, a jej zapasy są ograniczone. Zatem im intensywniej człowiek walczy z upałem, tym mniej energii pozostaje mu np. na szybszy bieg lub energiczny marsz.

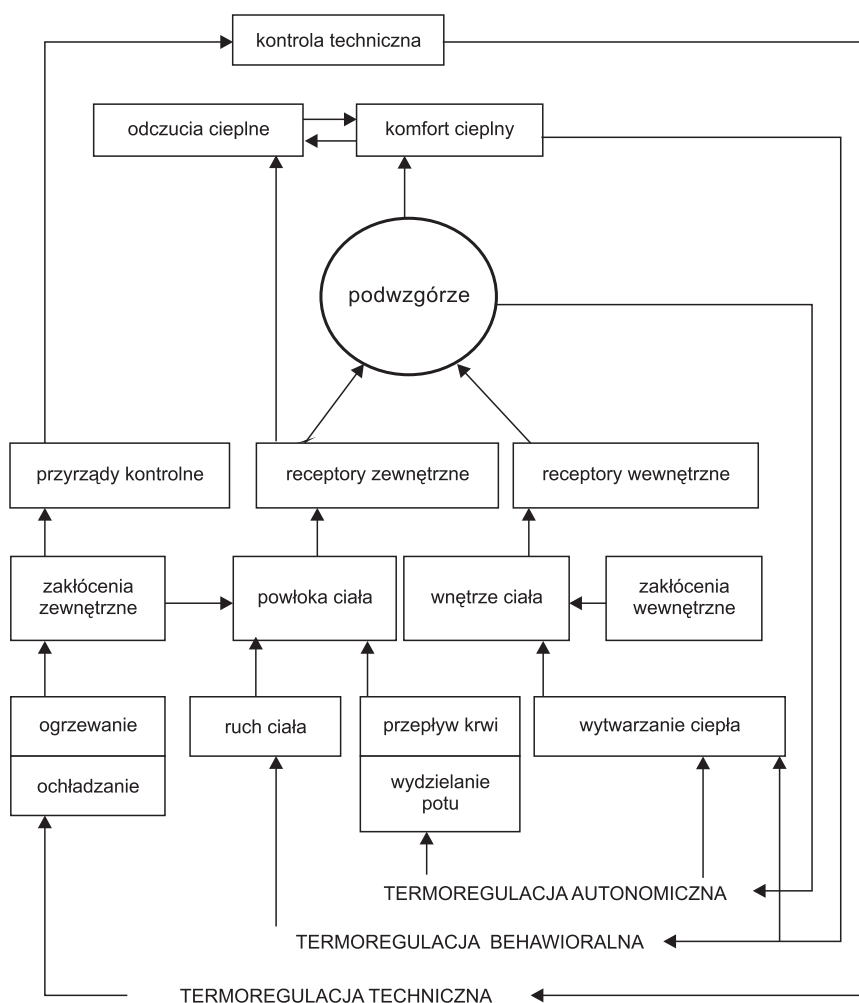
Nawet w optymalnych dla człowieka warunkach komórki naszego ciała wytwarzają ciepło. Gdy pozostajemy w spoczynku, produkują go 100–125 J·s⁻¹. W czasie wysiłku fizycznego ta ilość może się zwiększyć aż dwudziestokrotnie! Pracujące mięśnie „podgrzewają się” nawet o 10°C, a temperatura całego organizmu wzrasta o 1°C na każde 5–7 minut wysiłku. Gdyby nie mechanizmy termoregulacyjne, już po 15 minutach intensywnych ćwiczeń lub marszu mielibyśmy 40-stopniową gorączkę. U kończącego bieg maratończyka temperatura okolic wątroby wynosiłaby ponad 70°C! A przecież większość białek ulega denaturacji, czyli nieodwracalnemu zniszczeniu, już w temperaturze nieco powyżej 45°C.

Jak organizm broni się przed przegrzaniem? Istnieją dwa podstawowe, biologiczne rodzaje termoregulacji: autonomiczna i behawioralna oraz tak zwana termoregulacja techniczna (ryc. 5.21). Termoregulacja autonomiczna polega na regulacji temperatury ciała przez odruchowe reakcje fizjologiczne na ciepło i zimno. Składają się na nią trzy mechanizmy: zmiany metabolicznej produkcji ciepła, zmiany termoizolacyjnych właściwości zewnętrznej warstwy ciała oraz wydzielanie potu. Termoregulacja behawioralna wiąże się z odruchową lub kontrolowaną zmianą sposobu zachowania się człowieka, mającą na celu zminimalizowanie obciążających warunków termicznych otoczenia – np. poprzez dodatkowy ruch czy zmianę odzieży. W termoregulacji technicznej wykorzystuje się indywidualne urządzenia ogrzewcze i ochładzające (Hensel 1981).

5.6.1. Termoregulacja w środowisku zimnym

Jak już wspomniano, organizm człowieka ma duże zdolności dostosowania swoich procesów fizjologicznych do różnych termicznych warunków otoczenia. W zimnych warunkach podstawowymi mechanizmami termoregulacji autonomicznej są: obniżenie temperatury skóry oraz zmniejszenie peryferycznego przepływu krwi. Pierwsza z tych reakcji jest bezpośrednią odpowiedzią organizmu na bodziec zimna i powoduje zwiększenie się termoizolacyjnych właściwości tkanki skórnej. To z kolei zmniejsza tempo oddawania ciepła z wnętrza ciała do otoczenia i w pewnym stopniu zabezpiecza przed jego nadmiernym wychłodzeniem (Blanc 1975; Clark, Edholm 1985; Holmér 1988; ISO/DC 11079). Spowolnienie oddawania ciepła do otoczenia następuje także dzięki zmniejszeniu przepływu krwi w obrębie skóry i tkanki podskórnej, co skutkuje zmniejszeniem ilości cie-

plą przenoszonego z wnętrza ciała ku jego powierzchni. Efektem ubocznym tego procesu jest wzrost ciśnienia krwi, który w skrajnych sytuacjach może być niebezpieczny dla zdrowia. Dodatkowym mechanizmem termoregulacji autonomicznej w warunkach zimnego otoczenia jest drżenie mięśniowe.



Ryc. 5.21. Powiązania różnych mechanizmów termoregulacji

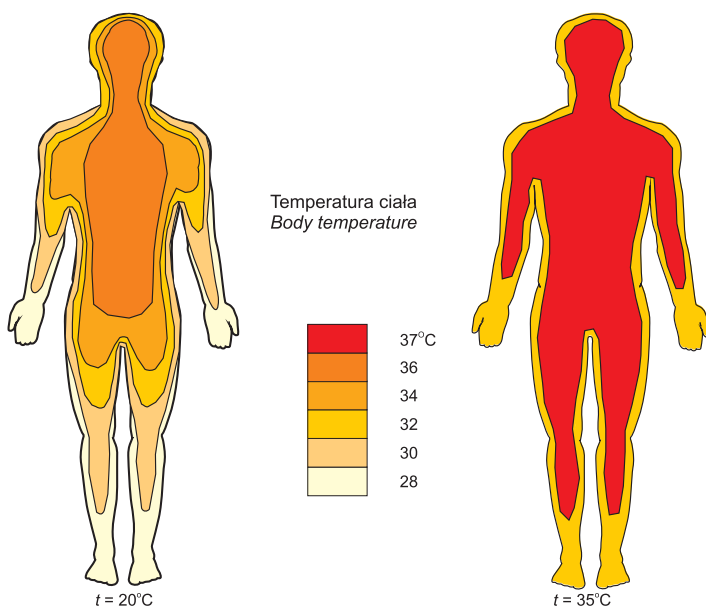
Fig. 5.21. Thermoregulatory mechanisms in man

Źródło / Source: Hensel (1981).

Mechanizmy termoregulacji autonomicznej są często niewystarczające do zachowania homeotermii, wspomaga je jednak termoregulacja behawioralna. Podstawowym, odruchowym działaniem człowieka jest dodatkowa aktywność fizyczna, która zwiększa metaboliczną produkcję ciepła, a także przyjęcie pozycji embryonalnej, co zmniejsza powierzchnię ciała kontaktującą się z zimnym otoczeniem

(wodą lub powietrzem). Do świadomych zachowań człowieka można także zaliczyć zmianę noszonej odzieży na taką, która ma odpowiednie właściwości termoz izolacyjne, zmniejszające oddawanie ciepła z organizmu do otoczenia. Jednym z mechanizmów termoregulacji behawioralnej jest również stosowanie odpowiedniej, wysokokalorycznej diety.

W obszarach polarnych i okołopolarnych, gdzie człowiek jest narażony na bardzo surowe warunki termiczne otoczenia, stosuje się także szereg technicznych urządzeń zmniejszających dyskomfort cieplny, a niekiedy wręcz zabezpieczających przez wychłodzeniem organizmu lub odmrożeniami. Są to różnego rodzaju ogrzewane, za pomocą baterii elektrycznych, kamizelki, rękawice czy buty. Powszechnie jest zwłaszcza używanie podgrzewanych rękawic i butów, jako że dłonie i stopy są najbardziej narażone na odmrożenia. W okresie znacznego deficytu ciepła organizm broni się bowiem przed wychłodzeniem swego wnętrza znacznym zmniejszeniem dopływu krwi – i przenieszonego z nią ciepła – do swych skrajnych części. Mówiąc obrazowo, chroniąc się przed wychłodzeniem organizm „poświęca” te swe części, bez których może zachować funkcje życiowe (ryc. 5.22).



Ryc. 5.22. Rozkład temperatury powierzchni ciała w różnej temperaturze otoczenia (t)

Fig. 5.22. Distribution of skin temperature at various ambient temperature (t)

Źródło / Source: Silbernagl, Despopoulos (1994).

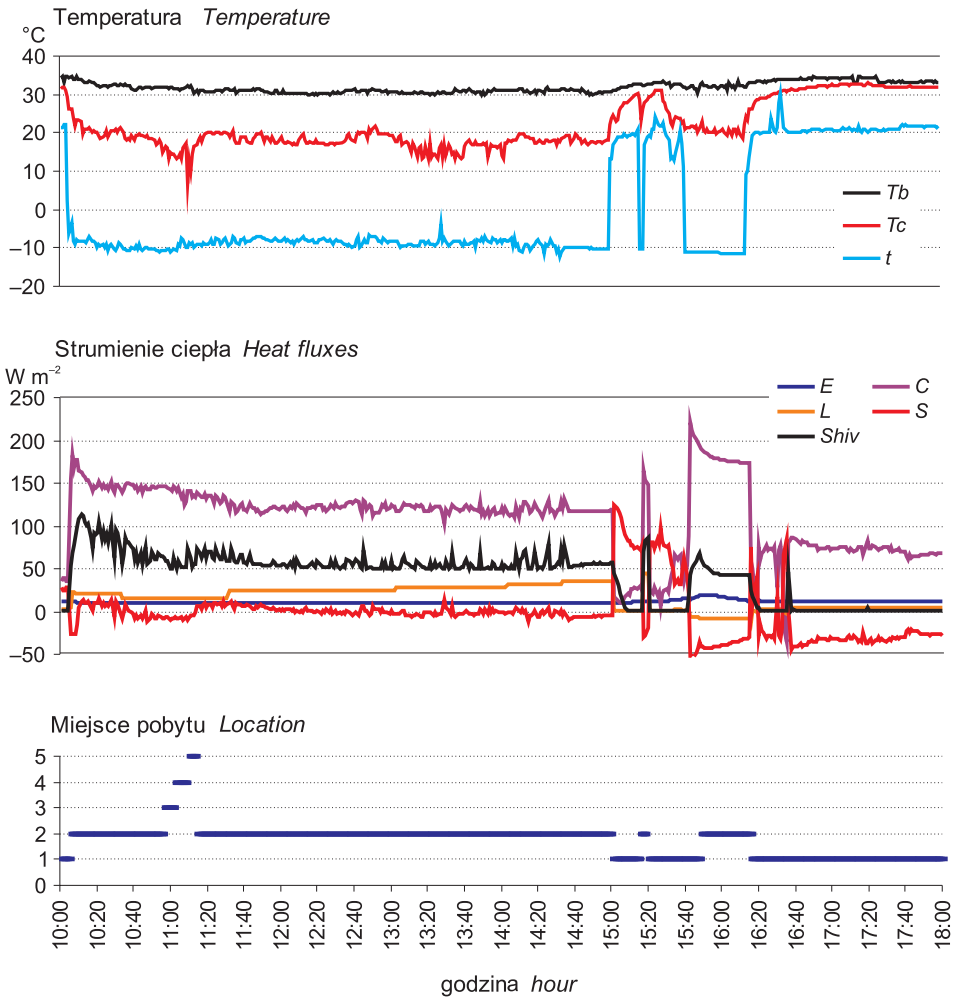
Przykład adaptowania się organizmu do zimnych warunków otoczenia podczas kilkogodzinnej aktywności turystycznej w północnej Finlandii pokazuje rycina 5.23. Po wyjściu z pomieszczenia na teren otwarty (o temperaturze około

-10°C) nastąpiło bardzo szybkie schłodzenie odsłoniętej twarzy z 32 do 20°C . Ten poziom temperatury utrzymywał się podczas całej wędrówki. Jedynie w czasie 3-minutowego zjazdu sankami (z prędkością około 30 km na godzinę) temperatura policzka gwałtownie obniżyła się do 8°C . Używana odzież zimowa (o termoizolacyjności $2,5$ clo) oraz ruch produkujący ciepło metaboliczne ($135\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) sprawiły, że temperatura klatki piersiowej przez cały czas utrzymywała się na poziomie około 30°C . Obserwowano także duże straty ciepła poprzez unoszenie, były one jednak w znacznej mierze rekompensowane przez dodatkową produkcję ciepła w wyniku drżenia mięśniowego, a saldo wymiany ciepła było zbliżone do zera. Po powrocie do pomieszczenia parametry fizjologiczne organizmu szybko wróciły do stanu neutralnego.

Niebezpieczeństwem związanym z ekspozycją na niską temperaturę powietrza (-12°C) i silny wiatr (średnio $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, w porywach $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) jest silne i szybkie wychładzanie powierzchni twarzy. Na dołączonym przykładzie, już po około 20 minutach ekspozycji powietrznej temperatura policzków spadła do około 5°C . Po tym czasie eksperyment przerwano, aby nie narazić badanych osób na odmrożenie twarzy. W przypadku nosa i czoła temperatura obniżyła się tylko do 16 – 18°C , a więc gradient powierzchniowy wyniósł aż 13°C . Tak niska temperatura powodowała uczucie bólu, a duży gradient wywoływał silne naprężenia na powierzchni skóry (ryc. 5.24). Odmrożenia twarzy są realnym zagrożeniem dla turystów, którzy w okresie zimowym korzystają przy niskiej temperaturze powietrza z uroków narciarstwa alpejskiego.

5.6.2. Termoregulacja w środowisku gorącym

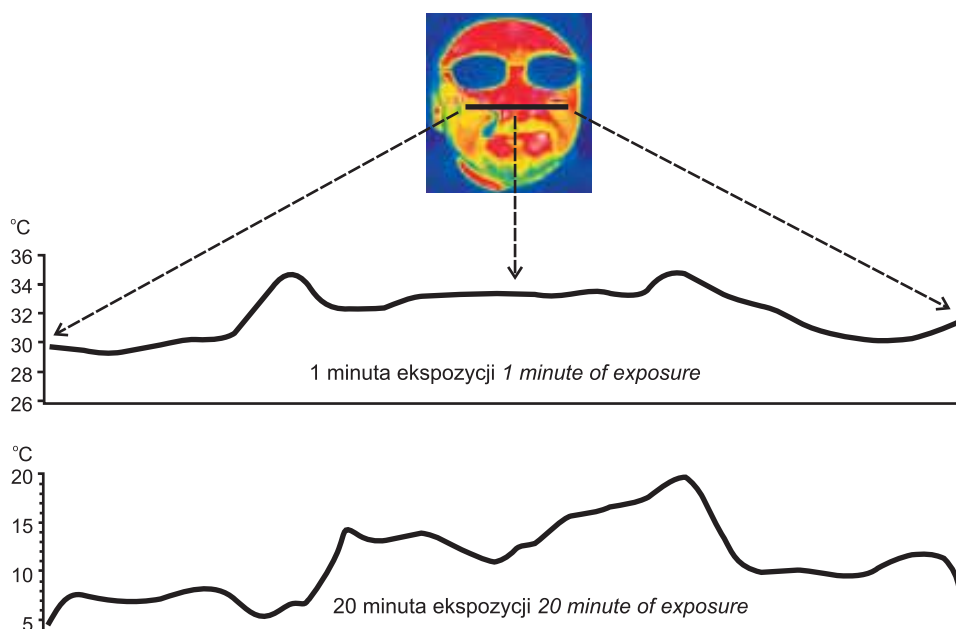
W wysokiej temperaturze otoczenia mechanizmy termoregulacji są odmiennie niż w środowisku zimnym. Aby zabezpieczyć organizm przed przegrzaniem, którego skutkiem może być udar cieplny lub trwale uszkodzenie struktur białkowych wewnątrz komórek, uruchamiany jest cały zespół reakcji autonomicznych. Następuje rozszerzenie peryferycznych naczyń krwionośnych oraz wzrost skórno-przepływu krwi, który odprowadza nadmiar ciepła z wnętrza ciała ku jego powierzchni. Efektem ubocznym tych procesów jest obniżenie ciśnienia tętniczego i zwiększenie tętna. Skutkiem wysokiej temperatury powietrza jest podwyższenie temperatury skóry (tempo wzrostu temperatury skóry zwielokrotnia się w przypadku dopływu bezpośredniego promieniowania słonecznego lub wiatru fizycznego). Podwyższona temperatura skóry uaktywnia gruczoły potowe. Gdy warunki wilgotnościowe otoczenia pozwalają na wchłonięcie dodatkowej ilości pary wodnej, pot pokrywający skórę paruje, obniżając jej temperaturę. Zwiększa się w ten sposób gradient termiczny pomiędzy wnętrzem ciała a jego powłoką. Dzięki temu możliwe jest intensywne przenoszenie ciepła z wnętrza ciała ku skórze, a następnie odprowadzanie go do atmosfery (Beaumont, Bullard 1965; Elizondo, Bullard 1971; Garden i inni 1966; Givoni, Beldings 1965; Givoni, Goldman 1973; Kaciuba-Uściłko 1990; Kenney 1985; Kozłowski 1986; Narębski 1980; Rewerski i inni 1972). Po obniżeniu się temperatury skóry w wyniku parowania potu, dalsze stymulowanie jego wydzielania przejmują termoreceptory



Ryc. 5.23. Przebieg temperatury: powietrza (t), klatki piersiowej (T_b) i policzka (T_c) oraz strumieni ciepła: parowania (E), unoszenia (C), promieniowania długofalowego (L), salda wymiany ciepła (S) oraz drżenia mięśniowego ($Shiv$) podczas ekspozycji w różnych miejscach pobytu: 1 – pomieszczenie, 2 – marsz $4 km \cdot godz^{-1}$, 3 – stojąc twarzą do wiatru, 4 – stojąc plecami do wiatru, 5 – zjazd sankami. Saariselka (Finlandia), 9 lutego 2008 r.

Fig. 5.23. Changes in: temperature of air (t), torso (T_b) and cheek (T_c); heat fluxes by evaporation (E), convection (C), long-wave radiation (L), net heat storage (S) and shivering ($Shiv$) during long lasting exposure in various locations (1 – indoor, 2 – walking $4 km \cdot h^{-1}$, 3 – standing face to wind, 4 – standing back to wind, 5 – sledge downhill). Saariselka (Finland), 9 February 2008

Badania własne. / Own data.



Ryc. 5.24. Rozkład temperatury na powierzchni twarzy przed ekspozycją terenową oraz po 20 minutach ekspozycji twarzą do wiatru o prędkości $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ w temperaturze -10°C . Saariselka (Finlandia), 7 lutego 2008

Fig. 5.24. Distribution of face temperature along cross section before outdoor exposure (upper panel) and after 20 min of exposure facing to wind of $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ at air temperature of -10°C . Saariselka (Finland), 7 February 2008

Badania własne. / Own data.

ośrodkowe (por. rozdz. 5.7). Straty ciepła na parowanie są bardzo efektywnym procesem jego usuwania z organizmu. Przestaje on jednak funkcjonować, gdy występuje pełne nasycenie powietrza parą wodną. Drugim czynnikiem ograniczającym zdolność ewaporacyjnej eliminacji ciepła jest maksymalne możliwe wydzielanie potu, które nie może przekroczyć 4 litrów na godzinę (Kozłowski 1986).

Ruch powietrza intensyfikuje usuwanie ciepła z organizmu poprzez parujący pot, dlatego częstym sposobem zachowania człowieka jest zwiększenie ruchu powietrza poprzez używanie wentylatorów lub wachlarzy.

W warunkach o skrajnie wysokiej temperaturze powietrza stosowane są ponadto specjalne urządzenia techniczne obniżające temperaturę ciała, na przykład kamizelki z wmontowanym systemem chłodzenia. Obniżeniu temperatury powierzchni i wnętrza ciała sprzyja także okresowe zanurzanie dłoni i stóp w zimnej wodzie na czas od kilku do kilkunastu minut.

Rycina 5.25 pokazuje przykład reakcji dostosowawczych organizmu do warunków gorących. Badania przeprowadzono na Pustyni Negev w Izraelu. Podczas eksperymentu osoby badane przebywały okresowo w klimatyzowanym autobusie lub

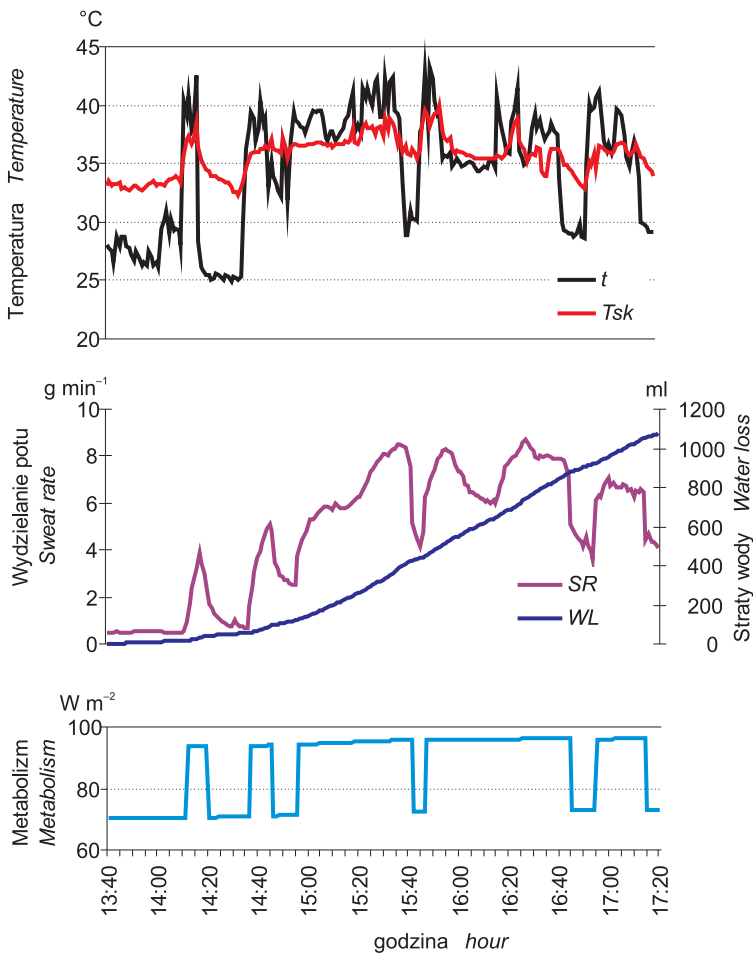
innych pomieszczeniach o temperaturze 20–30°C. Temperatura powietrza sięgała 43°C. Reakcją organizmu było podwyższenie temperatury skóry (maksymalnie do blisko 39°C). Uaktywniało to gruczoły potowe, które w krótkich okresach produkowały nawet ponad 8 gramów potu w ciągu minuty. Intensywne pocenie i odparowywanie potu (wilgotność względna nie przekraczała 20%) doprowadzało do cyklicznego ochładzania skóry i zwiększenia gradientu temperatury pomiędzy wnętrzem ciała i jego powierzchnią. Umożliwiało to intensyfikowanie odprowadzania ciepła z wnętrza ciała do jego powłoki. Aby jednak zapewnić bezpieczeństwo osobom badanym, okresowo musiały one korzystać z pomieszczeń klimatyzowanych. Mimo tych okresowych pobytów w pomieszczeniach ogólne straty wody przekroczyły 1 litr podczas całej, niespełna 4-godzinnej ekspozycji. Dawało to średnio ponad 250 ml potu na godzinę. Największe straty wody miały miejsce podczas drugiej godziny eksperymentu, kiedy z organizmu odparowało prawie 500 ml potu.

Wyniki przedstawionych badań pokazują, jak ważne podczas wypraw turystycznych na obszary gorące jest zapewnienie odpowiedniej ilości płynów, które uzupełnią ubytki wody w organizmie i zabezpieczą przed jego odwodnieniem. Gdyby zawiodły mechanizmy termoregulacyjne lub wystąpiły poważne zaburzenia w usuwaniu ciepła z organizmu, już po 15 minutach temperatura ciała wzrosłaby do 40°C (u maratończyka kończącego 42-kilometrowy bieg w czasie 2,5 godz. temperatura wewnętrzna wynosiłaby ponad 70°C!). O niebezpieczeństwach związanych z zaburzeniami gospodarki wodnej i elektrolitycznej jest mowa w rozdziale 6.

5.7. Znaczenie skóry w wymianie ciepła

Skóra stanowi anatomiczną barierę na drodze ciepła z otoczenia do organizmu oraz na drodze ciepła odprowadzanego z wnętrza ciała do otoczenia. W skórze znajdują się receptory ciepła i zimna oraz gruczoły potowe odgrywające ważną rolę w procesie wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem i otoczeniem (Michajlik, Ramotowski 1996) (ryc. 5.26).

Liczba receptorów zimna jest znacznie większa niż liczba receptorów ciepła. Obydwa typy receptorów rozmieszczone są w skórze nierównomiernie; najwięcej ich znajduje się w skórze twarzy. Receptory zimna są silnie pobudzone w temperaturze skóry od 12 do 25°C, a receptory ciepła – powyżej 35°C. W temperaturze od 25 do 35°C stymulowane są obydwie grupy receptorów; im niższa jest temperatura skóry, tym wyższa jest częstotliwość impulsów receptorów zimna i odwrotnie, wraz ze wzrostem temperatury znacznie zwiększa się częstotliwość impulsów wysyłanych przez receptory ciepła. Temperatury ekstremalne (poniżej 12°C i powyżej 45°C) są stale rejestrowane jako zimno lub jako gorąco, co ma na celu natychmiastowe uruchomienie reakcji obronnych zabezpieczających przed uszkodzeniem skóry i wnętrza organizmu. Informacje o niskiej i wysokiej temperaturze skóry docierają do podwzgórze nie tylko za pomocą ter-



Ryc. 5.25. Zmiany temperatury skóry (T_{sk}) oraz ilości wydzielanego potu (SR) i ogólnych strat wody z organizmu (WL) podczas ekspozycji w warunkach wysokiej temperatury powietrza (t) na Pustyni Negev; metabolizm badanych zmieniał się od 70 do 95 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$

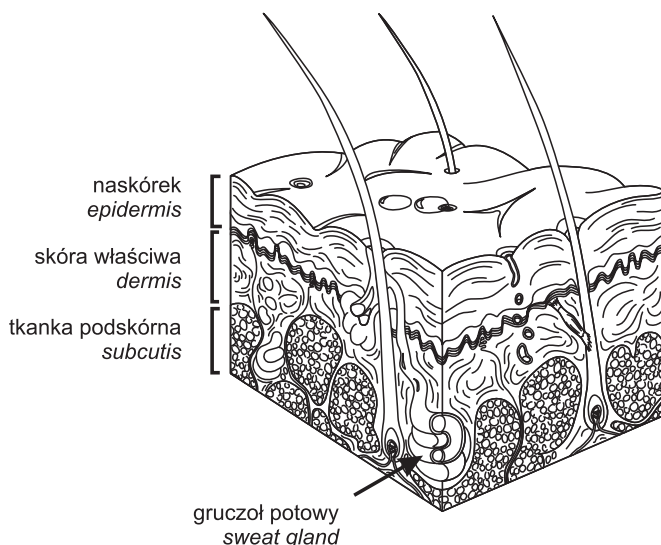
Fig. 5.25. Changes in skin temperature (T_{sk}), sweat rate (SR) and total water loss (WL) from the body during exposure to high air temperature (t) at Negev Desert; metabolism in subjects varied from 70 to 95 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$

Badania własne. / Own data.

moreceptorów, ale także poprzez termospecyficzne receptory bólu (Silbernagl, Despoupoulos 1994).

Liczbę gruczołów potowych w całym organizmie szacuje się na około 2 miliony, a najwięcej ich znajduje się na czole, dłoni, plecach oraz na podeszwie. Gruczoły potowe są uaktywniane w przypadku znacznego podwyższenia się temperatury ciała. Niemniej należy pamiętać, że podczas intensywnego parowania potu

następuje znaczne ochłodzenie powierzchni skóry i sygnał termiczny informujący o niebezpieczeństwie przegrzania organizmu przekazują do podwzgórze nie termoreceptory rozmieszczone w skórze – rejestrują one bowiem niską temperaturę w swoim otoczeniu – lecz termoreceptory w ośrodkowym układzie nerwowym (w podwzgórze i w rdzeniu kręgowym) (Silbernağl, Despopoulos 1994; Michajlik, Ramotowski 1996).



Ryc. 5.26. Budowa skóry człowieka

Fig. 5.26. Skin in man

Źródło / Source: Silbernağl, Despopoulos (1994).

Efektywność skóry jako bariery na drodze wymiany ciepła pomiędzy wnętrzem organizmu a otoczeniem doskonale ilustrują znane przykłady, kiedy nawet w bardzo wysokiej i bardzo niskiej temperaturze otoczenia organizm jest w stanie zachować względną równowagę cieplną (Kozłowski 1986).

5.8. Znaczenie odzieży w wymianie ciepła

Drugą barierą na drodze przepływu ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem jest odzież. Zabezpiecza ona organizm zarówno przed nadmiernymi stratami, jak i przed zbyt dużym dopływem ciepła z otoczenia (stanowi barierę izolacyjną pomiędzy powierzchnią ciała a atmosferą). Podstawową miarą wyrażającą izolacyjność termiczną odzieży jest clo (od angielskiego słowa *clothing*, oznaczającego odzież); 1 clo odpowiada oporowi cieplnemu równemu $0,155 \text{ K}\cdot\text{m}^2 \cdot\text{W}^{-1}$ (ISO/DIS 9920).

Na termoizolacyjne właściwości odzieży wpływa przede wszystkim jej grubość i liczba warstw. Duże znaczenie mają także: rodzaj tkaniny, z której wykonano odzież, spłot włókien i krój odzieży, a nawet sposób jej noszenia. Cechy te wpływają na właściwości izolacyjne różnych zestawów odzieży, a poprzez to na wartości poszczególnych strumieni ciepła oraz na saldo jego wymiany (ryc. 5.27).



Ryc. 5.27. Obraz termalny (wykonany kamerą termowizyjną ThermaCAM PM695, Flir Systems, Szwecja) osób eksponowanych na niską temperaturę powietrza (-12°C) oraz silny wiatr ($12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$); 3 osoby ubrane w odzież zimową o termoizolacyjności około 2 clo, osoba z prawej strony bez ocieplającej warstwy pod spodniami

Fig. 5.27. Infrared image (by ThermaCAM PM695, Flir System, Sweden) of subjects exposed to low air temperature (-12°C) and strong wind ($12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$); 3 subjects have used winter clothing with insulation of about 2 clo, subject on the right without warm underwearing on legs

Badania własne. / Own data.

Podczas ekspozycji w warunkach niskiej temperatury powietrza ($t = -12^{\circ}\text{C}$) i silnego wiatru ($v=12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) trzy osoby używały odzieży o termoizolacyjności około 2 clo, z warstwą ocieplającą pod spodniami, natomiast jedna osoba tej warstwy nie miała. Na obrazie termalnym widać wyraźnie, że u osoby nienoszącej bielizny

ocieplającej przepływ ciepła przez 1 warstwę odzieży był zdecydowanie większy niż u pozostałych. Pokazuje to znacznie wyższa temperatura powierzchni odzieży w tej części ciała. W takich warunkach szybko może dojść do nadmiernego wychłodzenia ciała.

Izolacyjność termiczną konkretnych zestawów odzieżowych ocenia się na podstawie pomiarów w komorach klimatycznych. Jeśli jest to niemożliwe, posługujemy się specjalnymi tabelami zawierającymi normatywne cechy poszczególnych sztuk odzieży lub całych jej zestawów (ISO/DIS 9920). Przykłady termoizolacyjności wybranych zestawów odzieży, stosowanych w różnych porach roku, zawiera tabela 5.3.

Wartości termoizolacyjności podstawowej (I_{cl}) zawarte w tabeli 5.3 odnoszą się do warunków bezwietrznych. W praktycznych rozważaniach bilansu ciepłego człowieka uwzględnia się natomiast termoizolacyjność całkowitą (I_t) oraz termoizolacyjność efektywną (I_{ef}). Wartość I_t jest sumą termoizolacyjności podstawowej (I_{cl}) i izolacyjności termicznej przypowierzchniowej warstwy powietrza (I_a). Wartość I_a można – za J. Fourtem i N. Holliesem (1970) – obliczyć następująco:

$$I_a = 1 / (0,61 + 1,9 \cdot v^{0,5}) \quad [5.3]$$

Efektywne właściwości termoizolacyjne odzieży są natomiast zmniejszane przez ruch powietrza oraz ruch samego człowieka; można to zapisać jako:

$$I_{ef} = I_{cl} \cdot [1 - 0,27 \cdot (v + v')^{0,4}] \quad [5.4]$$

6. Gospodarka wodna i mineralna organizmu

Jak już wspomniano wyżej, gdy temperatura otoczenia przekracza 25°C, głównym sposobem usuwania ciepła z organizmu jest parowanie potu. W temperaturze 20°C w spoczynku tracimy około 25 ml płynu w ciągu godziny, a biegając albo jeżdżąc na rowerze, możemy wypocić nawet 3,5 l. Ten mechanizm chłodzenia jest bardzo wydajny, ale prowadzi do szybkiej utraty płynów, odwodnienie zaś pogarsza możliwości wysiłkowe i termoregulacyjne organizmu. Utrata wody w ilości zaledwie 1% masy ciała (około 500–700 ml, czyli tyle, ile kolarz traci w trakcie 10 minut wyścigu) pogarsza funkcjonowanie układu krążenia. Przy dalszym odwodnieniu następuje upośledzenie czynności psychicznych, obniża się wydolność organizmu, zmniejsza zdolność do zwiększonych wysiłków fizycznych i wytrzymałość mięśniowa oraz narasta uczucie zmęczenia. Odwodnienie sięgające 3% masy ciała nie tylko powoduje znaczne obniżenie wydolności fizycznej, ale także zwiększa ryzyko takich powikłań jak bolesne kurcze mięśni kończyn dolnych, bóle brzucha czy omdlenie cieplne. Nie wolno dopuścić, by

Tabela 5.3. Podstawowa izolacyjność termiczna zestawów odzieży (Icl) przeznaczonych do przebywania na wolnym powietrzu
 Table 5.3. Basic thermal insulation of clothing ensembles (Icl) to be used outdoor

Typ Type	Rodzaj odzieży Clothing description	Icl	
		clo	K·m ² ·W ⁻¹
1.	Odzież letnia <i>Summer clothing</i>		
1.1.	Bardzo lekka <i>Very light</i>		
	a) szorty <i>shorts</i>	0,1	0,016
	b) szorty, koszula z krótkim rękawem <i>shorts, T-shirt</i>	0,3	0,045
1.2.	Lekka <i>Light</i>		
	a) długie spodnie, koszula z krótkim rękawem <i>long trousers, T-shirt</i>	0,5	0,078
	b) damska sukienka z krótkim rękawem <i>robe with short sleeves</i>	0,5	0,078
	c) lekka odzież robocza <i>light working clothing</i>	0,6	0,093
	d) wojskowy mundur roboczy <i>light military uniform</i>	0,7	0,108
	e) lekki ubiór sportowy <i>light sport's wear</i>	0,9	0,140
1.3.	Zwykła <i>Ordinary</i>		
	a) męski garnitur wełniany <i>wool men's suit</i>	1,0	0,155
	b) żakiet, spódnica wełniana <i>wool women's suit</i>	1,0	0,155
	c) typowy ubiór roboczy <i>typical working clothing</i>	1,0	0,155
2.	Odzież sezonów przejściowych (wiosna, jesień), tradycyjna odzież europejska noszona po pracy <i>Transient season's clothing</i>		
	a) koszula, garnitur męski, płaszcz lub kurtka <i>men's suit, shirt, coat</i>	1,5	0,232
	b) żakiet, spódnica, cienki płaszcz <i>women's suit, blouse, coat</i>	1,5	0,232
	c) typowy ubiór roboczy, kurtka <i>typical working clothing, coat</i>	1,5	0,232
	d) ocieplany ubiór roboczy <i>warm working clothing</i>	1,5	0,232
	e) zestaw odzieży jak w typie 2a i 2b oraz nakrycie głowy, szalik, rękawiczki <i>similar to type 2a, 2b + hat, scarf, gloves</i>	2,5	0,388
3.	Odzież zimowa <i>Winter clothing</i>		
3.1.	Lekka <i>Light</i>		
	zestaw odzieży jak w typie 1.3a, b oraz płaszcz na watolinie, nakrycie głowy, szalik, rękawiczki <i>similar to type 1.3 + warm coat, cap, scarf, gloves</i>	3,0	0,465
3.2.	Zwykła <i>Ordinary</i>		
	zestaw odzieży jak wyżej z uwzględnieniem ocieplanej bielizny i obuwia <i>similar to type 3.1 + warm underwear, boots</i>	3,5	0,542
3.3.	Ciężka (arktyczna) <i>Arctic</i>		
	futro lub płaszcz z podbiciem z futra, kurtka puchowa, futrzane rękawiczki, nakrycie głowy i obuwie, pozostałe części garderoby jak w typie 1.3a, b <i>thermoinsulative underwear, polar (sweter), heavy coat, cap, gloves, boots</i>	>4,0	>0,620

Źródło / Source: Krawczyk (1993).

odwodnienie organizmu osiągnęło 4% masy ciała, gdyż wtedy picie nie przynosi poprawy, zwłaszcza, jeśli wysiłek jest kontynuowany. Wtedy pracujące mięśnie i chłodząca ciało skóra konkurują ze sobą, a nawet z mózgiem, o krew, tej zaś jest coraz mniej, bo spada ilość osocza wypełniającego naczynia krwionośne. Mimo maksymalnego rozkurczu w naczyniach skórnych spada ciśnienie i dochodzi do zahamowania produkcji chłodzącego potu – skóra staje się gorąca i sucha, przestaje więc chronić wnętrze ciała przed przegrzaniem. Niedotleniony i niedożywiony w wyniku spadku przepływu krwi mózg reaguje drgawkami i omdleniem. Brakuje płynu do usuwania produktów przemiany materii z mięśni – dochodzi do ich zakwaszenia i skurczów. Jest zbyt mało krwi przeznaczonej dla nerek, co może prowadzić do ostrej niewydolności tego narządu. Reszta ciała pozostaje właściwie w stanie niedokrwienia. Próby uzupełnienia płynów drogą doustną mogą być nieskuteczne – jelita po prostu nie pracują i nie absorbują wypitej wody. Jeśli szybko nie podłączy się wyczerpanego człowieka do kroplówki, może dojść do rozległej martwicy i rozpadu zakwaszonych mięśni oraz do obrzęku płuc, które wypełniają się płynem uniemożliwiającym pobieranie tlenu z powietrza. Dalsze odwodnienie prowadzi do wyczerpania cieplnego, hipertermii i wreszcie udaru cieplnego, który może być przyczyną śmierci (Bailes i inni 2002; Bouchama i Knochel 2002; Casa 1999; Coyle i Montain 1992; Nielsen 1996). Funkcje poszczególnych organów wewnętrznych człowieka w warunkach groźących odwodnieniem przedstawia tabela 6.1.

Groźnym ubocznym skutkiem adaptacji do warunków gorąca lub do dużego wysiłku fizycznego, a zwłaszcza odwodnienia organizmu, jest usuwanie wraz z potem niezbędnych mikroelementów, co zaburza gospodarkę mineralną organizmu. Do prawidłowego funkcjonowania wielu narządów konieczne są bowiem odpowiednie stężenia minerałów w osoczu krwi (Pawlikowski, 1995). Obecne są tam one w postaci jonów. Do najważniejszych kationów, w ilości 3500 mg·l⁻¹ należą: sód, potas, wapń i magnez. Natomiast najważniejszymi anionami, występującymi w ilości 70 000 mg·l⁻¹, są: chlor, jod i fluor. Niedobory poszczególnych jonów mogą powodować (Pawlikowski 1995):

- w przypadku sodu – zaburzenia trawienia, osłabienie, wyczerpanie fizyczne, apatie,
- potasu – zaburzenia pracy serca, skurcze mięśni i marznięcie,
- wapnia – skurcze mięśni, drganie powiek, osłabienie, zaburzenia psychiczne,
- magnezu – zaburzenia chemizmu krwi, stany nadpobudliwości,
- jodu – zaburzenia chemizmu krwi,
- fluoru – demineralizację kości i zębów.

Jak zatem sobie radzić z zaburzeniami gospodarki wodnej i mineralnej? Pić! Ale – paradoksalnie – nie wodę! Ma ona tę wielką wadę, że... gasi pragnienie. Dlatego przestajemy pić, zanim zostaną wyrównane niedobory wody w organizmie. Woda nie zawiera przy tym cennych dla komórek jonów sodu i chlorków, które tracimy z potem, a których brak prowadzi do nudności, bolesnych kurczów mięśni, zaburzeń w przepływie impulsów nerwowych, osłabienia koncentracji i koordynacji ruchów, a w skrajnych przypadkach może nawet grozić śmiercią.

Ubytki wody w organizmie najlepiej uzupełniają opracowane specjalnie dla sportowców napoje izotoniczne. Są szybko przyswajane, dostarczają energii

Tabela 6.1. Funkcje organów wewnętrznych człowieka w warunkach odwadniania organizmu

Table 6.1. Functions of particular body organs during dehydration risk

Organ wewnętrzny <i>Body organ</i>	Funkcje fizjologiczne <i>Physiological functions</i>
Mózg <i>Brain</i>	<p>W odpowiedzi na utratę wody uaktywniają się: osmoreceptory w podwzgórzcu i III komórce mózgu. Dają one przysadce sygnał do produkcji ADH – hormonu zatrzymującego wodę w nerkach.</p> <p>Spada aktywność współczulna, przez co rozszerzają się naczynia krwionośne. Jednocześnie mózg koordynuje mechanizmy przetrwania: przyspiesza oddech oraz akcję serca, by przyspieszyć usuwanie z wnętrza ciała ciepła wraz z krwią obwodową.</p> <p><i>Brain osmoreceptors are activated as the reaction on water loss. They initiate ADH hormone in pituitary body. Sympathetic activity decreases. The brain supports survival mechanisms, e.g. increasing in breathing and heart rate.</i></p>
Serce <i>Heart</i>	<p>Gdy spada objętość krwi, receptory w przedsionku serca pobudzają wytwarzanie ADH, a układ współczulny sprawia, że serce przyspiesza rytm, by dostarczyć do tkanek tlen i składniki odżywcze.</p> <p>Gdy do odwodnienia dołącza się przegrzanie, pracuje niemal „na pusto”, a pozbawiona tlenu i pełna produktów przemiany materii krew zalega w drobnych, rozszerzonych ciałkach naczyń.</p> <p><i>Because of reduction in blood volume the receptors in atrium cordis activate ADH secretion. Sympathetic system increase heart rate for better supply of oxygen and nutriments to body tissues. During overheating blood is devoided of oxygen and nutriments stand over capillary vessels.</i></p>
Tętnice szyjne <i>Carotid</i>	<p>Na obniżenie ciśnienia krwi w naczyniach i obniżenie w niej zawartości tlenu reagują receptory w ścianach tętnic szyjnych. Wysyłają one sygnały do centrum termoregulacji w mózgu.</p> <p><i>Receptors in carotid cells react for reduction in blood pressure and oxygen content. They send signals to the thermoregulation centre in brain.</i></p>
Naczynia włosowate <i>Capillary vessels</i>	<p>W miarę wzrostu temperatury rozszerzają się drobne naczynia krwionośne skóry, by odprowadzić z organizmu jak najwięcej ciepła, a podgrzewając otoczenie gruczołów potowych uaktywnić je jak najszybciej i zwiększyć pocenie.</p> <p>W warunkach odwodnienia nie ma jednak wystarczającej ilości krwi, by je wypełnić; poszerzone odbierają krew ważnym narządem wewnętrznym (płuca, nerki, mózg), a wydzielanie potu spada niemal do zera.</p> <p><i>Due to rise in body temperature capillary vessels became wider to intensify heat expenditure from the body and to activate sweat glands for sweat secretion. However, at dehydration state the blood volume is insufficient to fill vessels supplying lungs, reins and brain. Sweat secretion is reduced almost to zero.</i></p>
Nerki <i>Reins</i>	<p>Nerki filtrują krew. Do usunięcia produktów przemiany materii potrzeba im wody (minimalnie muszą wydalac około 400 ml na dobę). Odwodnienie nie tylko pozbawia je „rozpuszczalnika” produktów przemiany materii, ale i krwi niezbędnej do przetrwania.</p> <p>Spadek przepływu aktywuje wytwarzanie reniny – pierwszego z hormonów podwyższających ciśnienie krwi.</p> <p>Dłuższe niedokrwienie (zwłaszcza przy nadprodukcji związków, które trzeba z organizmu usunąć) prowadzi do ostrej niewydolności tego narządu.</p> <p><i>Reins need water to eliminate metabolic products from blood. Dehydration reduces water and blood resources. Reduction in reins efficiency leads to secretion of renine, the first hormone increasing blood pressure. Continuous ischemia leads to reins disfunctions.</i></p>

Organ wewnętrzny Body organ	Funkcje fizjologiczne Physiological functions
Nadnercza <i>Adrenal glands</i>	Im więcej potu, tym bardziej wzrasta wydzielanie aldosteronu w nadnerczach. Pomaga on wychwytywać sód i chlorki w gruczołach potowych, dzięki czemu zapobiega utracie tych jonów. <i>Increase in sweating leads to increased secretion of aldosterone. It helps to catch sodium and chlorides ions in sweat glands.</i>
Tarczycza <i>Thyroid</i>	Spada produkcja hormonów tarczycy. Dlatego podczas długiego wysiłku zaczyna się odczuwać apatię lub rozdrażnienie. <i>Reduction of thyroid hormone which lead to apathy or annoyance.</i>
Układ współczulny <i>Sympathetic system</i>	Zmniejszenie objętości krwi jest sygnałem dla układu współczulnego. W odpowiedzi na bodźce docierające z termoreceptorów pobudza prace gruczołów potowych m.in. poprzez wydzielanie hormonu – bradykininy. Stymuluje nerki do wychwytywania jonów sodu. <i>The reaction of sympathetic system to reduction of blood volume is activation of bradykinine hormone secretion. It stimulates reins to catching sodium ions.</i>
Mięśnie <i>Muscles</i>	Podstawą efektywnej pracy mięśni jest chłodzenie, które może się odbywać tylko za pośrednictwem krwi. Jeśli krąży ona zbyt wolno, kurczące się włókna przegrzewają się. Jeśli wysiłek trwa dalej – mogą nawet ulec martwicy. <i>The muscles can effectively work when they are cooling by capillary blood vessels. If blood circulates to slow the muscles can overheat. At continuous heating it can lead to muscles necrosis.</i>

Źródło / Source: Błażejczyk, Szyguła (2004).

niezbędnej mięśniom do pracy, a przy tym w przeciwieństwie do czystej wody nie gaszą tak szybko pragnienia, więc lepiej nawadniają organizm. W tej chwili na rynku dostępny jest cały szereg produktów, nie wszystkie jednak spełniają stawiane im wymagania. Według Europejskiej Komisji ds. Zdrowia i Ochrony Konsumenta izotonicznymi mogą być nazwane napoje o osmolalności 270–330 mOsm na 1 kg wody (*Report... 2001*). Napoje te powinny zawierać 6–8% węglowodanów, gdyż wtedy wchłaniają się najłatwiej oraz od 460 do 1150 mg·l⁻¹ sodu.

Nie mniej ważne od tego, co się pije, jest to, kiedy się pije. Nie ma w tej mierze specjalnych zaleceń adresowanych do turystów i rekreantów, są natomiast zalecenia dla sportowców, sporządzone przez amerykańskie Narodowe Stowarzyszenie Trenerów (NATA). Ponieważ część wysiłków rekreacyjnych i turystycznych można porównać z wysiłkiem sportowca, można te zalecenia przenieść także na grunt rekreacji i turystyki (Błażejczyk, Szyguła 2004):

- na 2–3 godziny przed wysiłkiem należy wypić 500–600 ml płynów,
- w trakcie wysiłku pij 100–200 ml płynu co 20–30 minut,
- nie wolno zapominać o uzupełnieniu strat wodnych i elektrolitowych po zakończonym wysiłku; trzeba co 15–20 minut pić 200–250 ml napoju.

W ciągu 4–6 godzin po intensywnym wysiłku należy wypić o 25–50% więcej płynów niż straciliśmy ich z potem i moczem.

IV. METODY OCENY WARUNKÓW BIOKLIMATYCZNYCH DLA REKREACJI I TURYSTYKI

Od początku XX wieku trwają poszukiwania metod oceny wpływu na organizm różnych elementów meteorologicznych, przede wszystkim: temperatury i wilgotności powietrza, promieniowania słonecznego i prędkości wiatru. W wyniku tych poszukiwań powstało kilkadziesiąt różnych wskaźników biometeorologicznych, czyli opisujących chwilowe warunki atmosferyczne z punktu widzenia ich oddziaływania na organizm człowieka. Wskaźniki te można podzielić na trzy główne grupy (Błażejczyk i inni 2011):

- 1) oparte na pomiarach przyrządami (analogami ciała człowieka), na których wskazania wpływają różne cechy fizyczne atmosfery;
- 2) zespołowe, mające postać wzoru matematycznego, w skład którego wchodzi wartości różnych elementów meteorologicznych, a wartość wynikowa jest wskaźnikiem oddziaływania atmosfery na człowieka;
- 3) biotermiczne, oparte na analizie bilansu cieplnego człowieka; ich wartości charakteryzują rzeczywiste oddziaływanie warunków meteorologicznych na reakcje fizjologiczne człowieka.

Oprócz wskaźników biometeorologicznych są także wskaźniki bioklimatyczne, których podstawą są wieloletnie dane meteorologiczne. Za ich pomocą ocenia się różne cechy klimatu z punktu widzenia ich wpływu na człowieka.

W tej części przedstawiono tylko te wskaźniki, które mają zastosowanie w ocenie warunków bioklimatycznych na potrzeby rekreacji i turystyki.

7. Wskaźniki biometeorologiczne

Zespołowe wskaźniki biometeorologiczne opierają się na analizie chwilowych stanów atmosfery, rozpatrywanych z punktu widzenia ich oddziaływania na organizm człowieka. Zarówno wyniki pomiarów przyrządami analogowymi, jak

i wskaźniki zespołowe obliczone na podstawie wzorów empirycznych mają charakter wskaźników biometeorologicznych. Ich wartości mówią o chwilowym natężeniu bezpośrednich lub pośrednich oddziaływań atmosfery na człowieka. W niektórych krajach (np. Stany Zjednoczone, Kanada) prognozy pogody są wzbogacane o informacje dotyczące warunków biometeorologicznych. Dokonywane na bieżąco pomiary lub obliczenia wskaźników biometeorologicznych mogą być w ośrodkach rekreacyjno-turystycznych cennym uzupełnieniem informacji o warunkach zdrowego i efektywnego wypoczynku.

W dalszej części rozdziału 7 przedstawiono te wskaźniki biometeorologiczne, które mogą być używane zarówno w badaniach naukowych, jak i w codziennej praktyce do określania warunków wypoczynku, rekreacji i turystyki. Należy jednak pamiętać, że wskaźniki te nie są bezpośrednio powiązane z fizjologicznymi reakcjami organizmu człowieka. Wskaźniki i charakterystyki uwzględniające fizjologiczne interakcje pomiędzy człowiekiem a atmosferą są omówione w rozdziale 8.

7.1. Wskaźniki wyznaczone metodami pomiarowymi

Przy konstruowaniu przyrządów mających służyć ocenie oddziaływania kilku czynników meteorologicznych na organizm człowieka zakładano, że powierzchnia przyrządu podlega takim samym procesom wymiany ciepła jak powierzchnia ciała człowieka. Najczęstszymi kształtami przyrządów były kula i walec.

Jednym z pierwszych przyrządów tego typu był katatermometr, skonstruowany przez L. Hilla w 1913 r. Katatermometr to termometr alkoholowy ze zbiorniczkiem w kształcie walca, o powierzchni 23 cm^2 (średnica około 12 mm i wysokość około 34 mm) (por. Błażejczyk 2004a). Za jego pomocą mierzy się tzw. wielkość ochładzającą powietrza, która ujmuje łączne działanie temperatury powietrza i prędkości ruchu powietrza na człowieka. Wielkość ochładzająca powietrza (H), zwana również ochładzaniem biologicznym, jest proporcjonalna do ilości ciepła, którą jednostka powierzchni katatermometru (1 cm^2) oddaje otoczeniu poprzez turbulencyjną wymianę ciepła jawnego w ciągu 1 sekundy.

Zmierzona wartość ochładzania nie jest równoznaczna ze stratami ciepła z powierzchni ciała człowieka. Jest ona jednak wskaźnikiem przydatnym do oceny odczuć cieplnych ludzi w ruchu, ubranych stosownie do pory roku. Wielkość ochładzającą powietrza można również obliczyć na podstawie wzorów empirycznych opracowanych przez L. Hilla i innych (1916).

$$H = 41,868 \cdot [(36,5 - t) \cdot (0,20 + 0,40 \cdot v^{0,5})] \quad [7.1]$$

gdym $v \leq 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

$$H = 41,868 \cdot [(36,4 - t) \cdot (0,13 + 0,47 \cdot v^{0,5})] \quad [7.2]$$

gdym $v > 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Do oceny odczuć cieplnych stosowana jest najczęściej skala S. Petroviča i M. Kacvinsky'ego (za: Kozłowska-Szczęsna, red. 1985):

H ($W \cdot m^{-2}$)	Odczucie ciepłe
$\leq 210,0$	upalnie
210,1–420,0	gorąco
420,1–630,0	łagodnie
630,1–840,0	przyjemnie chłodno
840,1–1260,0	chłodno
1260,1–1680,0	zimno
1680,1–2100,0	bardzo zimno
$> 2100,0$	nieznośnie zimno i wietrznie.

Przyjmuje się, że H w przedziale 420–840 $W \cdot m^{-2}$ wskazuje na optymalne dla człowieka (w ruchu) warunki termiczne. Sytuacje pogodowe sprzyjające przegrzaniu lub przechłodzeniu organizmu cechują się wartościami ochładzania $\leq 210 W \cdot m^{-2}$ (upalnie) oraz $>2100 W \cdot m^{-2}$ (nieznośnie zimno i wietrznie).

W 1925 r. C. Dorno i R. Thilenius skonstruowali frygoryometr, którego czujnik stanowi pocerniona miedziana kula o średnicy 7,5 cm, ogrzewana prądem elektrycznym do stałej temperatury 36,5°C (Marciniak 1979). W 1933 r. H. Pflieger i K. Büttner przedstawili frygorygraf – przyrząd rejestrujący o kształcie kuli, lecz o średnicy 15 cm. W obydwu przyrządach mierzy się ilość energii elektrycznej niezbędnej do utrzymania powierzchni tych przyrządów w podanej wyżej temperaturze. Zużycie prądu przelicza się na ilość energii cieplnej, która jest wskaźnikiem odnoszonym do odczuć cieplnych człowieka. Zarówno frygoryometr, jak i frygorygraf nie rozpowszechniły się tak jak katatermometr i były używane tylko w nielicznych ośrodkach naukowych.

Prostym analogiem ciała człowieka skonstruowanym przez B.A. Ajzenšta jest walec wykonany z blachy stalowej o grubości około 0,5 mm. Jego średnica wynosi 80 mm, a wysokość 110 mm. We wnętrzu cylindra jest umieszczony czujnik termometru. W warunkach suchego i gorącego klimatu Azji środkowej, przyrząd ten służy do wyznaczania strat ciepła na parowanie i określania stopnia obciążenia układu termoregulacyjnego. K. Błażejczyk (1990c, 2004a) zaproponował wykorzystanie tego przyrządu jako miernika odczuć cieplnych. Temperatura wnętrza cylindra (T_c) kształtuje się bowiem pod wpływem temperatury powietrza i prędkości wiatru oraz dopływu promieniowania słonecznego, a więc tych elementów meteorologicznych, które oddziałują także na warunki termiczne odczuwane przez człowieka. T_c jest zatem wskaźnikiem temperatury odczuwalnej. Poszczególnym wartościom T_c można przypisać następujące odczucia ciepłe człowieka (Błażejczyk 2002a):

T_c (°C)	Odczucie cieplne
< -23,5	bardzo zimno
-23,5-2,4	zimno
2,5-18,4	chłodno
18,5-24,9	komfortowo
25,0-34,4	ciepło
34,5-40,9	gorąco
≥ 41,0	bardzo gorąco.

W grupie przyrządów analogowych, służących do wyznaczenia wskaźników odczucia ciepła, wymienić można również różnego typu termometry kuliste, miernik komfortu cieplnego (miernik PMV o kształcie elipsoidy) oraz manekiny cieplne (tzw. *cooper man*). Te ostatnie stosowane są głównie w laboratoryjnych badaniach termoizolacyjności odzieży. Opis tych przyrządów i ich zastosowania do wyznaczania różnych wskaźników odczucia ciepła można znaleźć w publikacjach: F. Bradtke i W. Liese (1958), E. Flach (1981), M. Jokl (1965), D.H.K. Lee (1980), K.C. Parsons (1993).

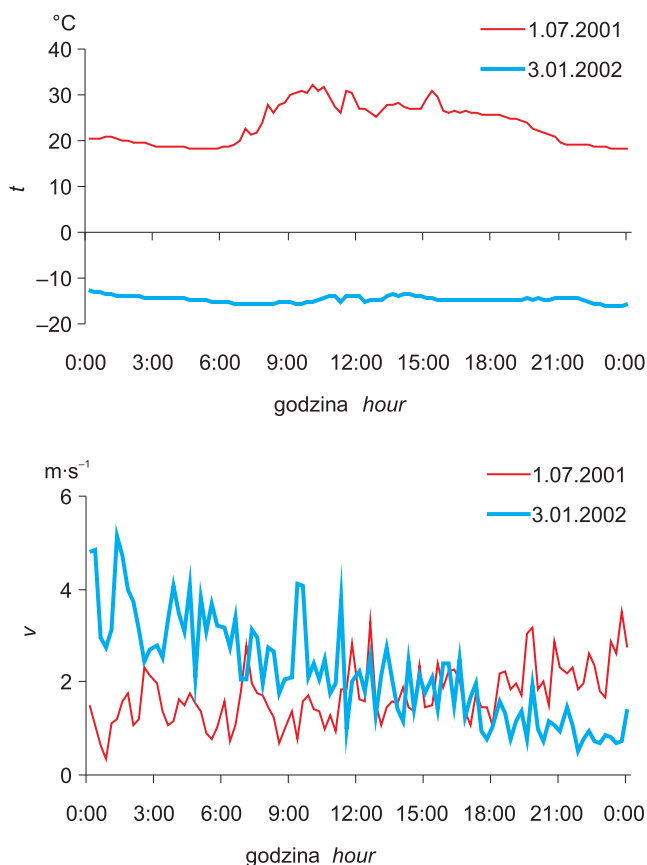
Pomimo podejmowania licznych prób, nie udało się skonstruować przyrządu, który w pełni oddawałby reakcje żywego organizmu na zmiany warunków środowiska atmosferycznego. Głównym problemem merytorycznym i technicznym jest symulowanie pocenia się i ewaporacyjnych strat ciepła z powierzchni ciała (Błażejczyk, Holmér 2000). Niemniej, w różnych laboratoriach naukowych i technicznych trwają prace nad skonstruowaniem „idealnego” przyrządu analogowego.

7.2. Wskaźniki zespołowe, wyznaczone metodami obliczeniowymi

Do oceny warunków biometeorologicznych i bioklimatycznych stosuje się powszechnie wskaźniki biometeorologiczne, które ujmują w postać wzorów matematycznych związki między wartościami kilku elementów meteorologicznych. Poszczególne wartości tych wskaźników przypisywane są określone, subiektywne reakcje (najczęściej odczucia cieplne) ludzi. Skale odczuć cieplnych są tworzone na podstawie wyników badań ankietowych przeprowadzanych na grupach ludzi ekspozowanych na działanie czynników meteorologicznych w komorach klimatycznych lub w terenie otwartym. Wskaźniki te były wcześniej prezentowane w książkach: K. Błażejczyka (2004a), T. Kozłowskiej-Szczęsnej i innych (1997) oraz K.C. Parsonsa (1993, 2003). Informacje o nich podają także: K. Błażejczyk i inni (2011), Y. Epstein (2006), E. Flach (1981), J. Jankowiak, red. (1976), M. Jokl (1965), B. Kiełczewski i J. Bogucki (1972), S. Klonowicz i S. Kozłowski (1970), T. Kozłowska-Szczęsna, red., (1985), H.E. Landsberg (1972), D.H.K. Lee (1980) i R. Taesler (1987). Dlatego tutaj przedstawiono tylko te wskaźniki, które okazały się szczególnie przydatne do oceny relacji 'klimat-rekreacja/turystyka'. Omówiono także nowe, opracowane w ostatnich latach, wskaźniki, które nie są jeszcze powszechnie stosowane.

O wyborze odpowiedniego wskaźnika biometeorologicznego decyduje cel opracowania (np. ocena odczuć cieplnych człowieka w ruchu, w spoczynku, w cieniu, w słońcu), dane meteorologiczne, którymi dysponujemy, a także rodzaj środowiska termicznego lub sezon, który podlega ocenie. Część wskaźników może być bowiem stosowana tylko w szczególnych warunkach otoczenia.

Podano przykłady zastosowania kolejnych wskaźników biometeorologicznych do charakterystyki wybranych dni (upalnego i bardzo mroźnego, ryc. 7.1). Powinno to pomóc czytelnikowi w wyrobieniu sobie opinii na temat możliwości ich zastosowania we własnych badaniach.



Ryc. 7.1. Przebieg dobowy temperatury powietrza (t) i prędkości wiatru (v) w wybranym dniu upalnym (1.07.2001) i mroźnym (3.01.2002), Warszawa

Fig. 7.1. Daily courses of air temperature (t) and wind speed (v) in hot day (1.07.2001) and frosty day (3.01.2002), Warsaw

Badania własne. / Own data.

7.2.1. Wskaźnik ochładzania wiatrem (WCI)

Wskaźnikiem zespołowym, uwzględniającym dwa elementy meteorologiczne: temperaturę powietrza i prędkość wiatru, jest wskaźnik ochładzania wiatrem (WCI – *Wind Chill Index*, w $W \cdot m^{-2}$), przydatny do oceny warunków bioklimatycznych okresu zimowego. WCI został opracowany w 1945 r. przez P. A. Siple'a i C.F. Passela (1945) na podstawie wyników prowadzonych na Antarktydzie badań konwekcyjnych strat ciepła z powierzchni miedzianego cylindra, który był analogiem nieosłoniętych części ciała człowieka. Podobnie jak w przypadku katatermometru, ani zmierzona, ani obliczona wartości strat ciepła nie jest równa faktycznym stratom ciepła z organizmu. Jest jednak dobrym wskaźnikiem odczuć cieplnych człowieka. WCI nazywa się również wskaźnikiem konwekcyjnych strat ciepła (Gregorczyk 1976). Wskaźnik ochładzania wiatrem liczy się według wzoru:

$$WCI = 1,162 \cdot [(10,45 - v + 10 \cdot v^{0,5}) \cdot (33 - t)] \quad [7.3]$$

Następującym wartościom WCI przypisane są różne odczucia człowieka ubranego w odzież o termoizolacyjności 4,0 clo, czyli tzw. odzież arktyczną (Maarouf i Bitzos 2001):

WCI ($W \cdot m^{-2}$)	Odczucie cieplne
< 58,3	skrajnie gorąco
58,3–116,3	gorąco
116,4–232,6	zbyt ciepło
232,7–581,5	komfortowo
581,6–930,4	chłodno
930,5–1628,1	zimno
1628,3–2325,9	mroźno
$\geq 2326,0$	skrajnie mroźno.

Przy WCI powyżej 1628,3 $W \cdot m^{-2}$ istnieje niebezpieczeństwo odmrożeń nieosłoniętych części ciała ekspozowanych na działanie zimnego powietrza nawet przez krótki czas. Przy wartościach WCI większych od 2326 $W \cdot m^{-2}$ odmrożenie nieosłoniętych części ciała następuje już po 30 sekundach; zaleca się pozostanie w pomieszczeniach (Maarouf i Bitzos 2001).

Przykład dobowego przebiegu WCI w dniu bardzo mroźnym przedstawia rycina 7.2. Wartości WCI wahały się od około 1000 do 1500 $W \cdot m^{-2}$, co odpowiada występowaniu odczucia „zimno” w ciągu całego dnia. Przebieg WCI wskazuje na stopniowe łagodzenie w ciągu wybranego dnia mroźnego warunków termicznych odczuwalnych przez człowieka, na skutek zmniejszenia prędkości wiatru.

WCI jest dobrym wskaźnikiem oceny przydatności warunków klimatycznych w okresie zimowym do rekreacji. Stosuje się przy tym nie wartości średnie wskaźnika, a częstotliwość występowania WCI o wartościach mieszczących się w podanych

wyżej przedziałach. Przykład zastosowania wskaźnika ochładzania wiatrem do oceny bioklimatu okresu zimowego przedstawia tabela 7.1.

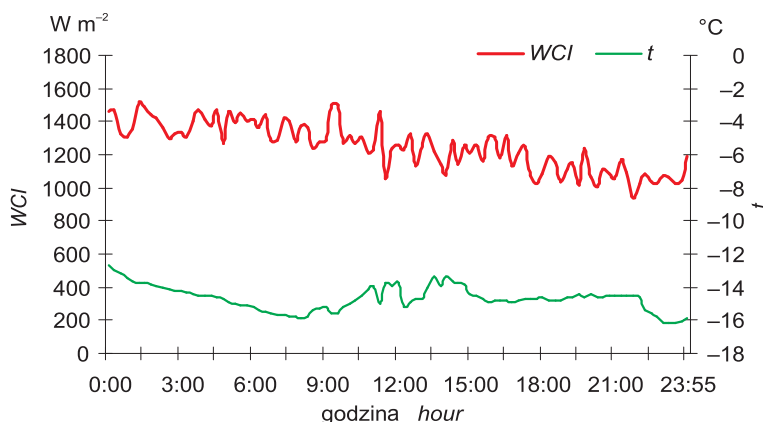
Tabela 7.1. Częstość (%) występowania różnych odczuć cieplnych człowieka w wybranych miejscowościach, określonych na podstawie wartości wskaźnika WCI, 1971–1990

Table 7.1. Frequency (%) of various thermal sensations in man based on WCI in selected sites, 1971–1990

	Listopad <i>November</i>	Grudzień <i>December</i>	Styczeń <i>January</i>	Luty <i>February</i>	Marzec <i>March</i>	Kwiecień <i>April</i>	Rok <i>Year</i>
Iwonicz-Zdrój							
Skrajnie gorąco <i>Extremely hot</i>	.	.	.	.	.	.	.
Gorąco <i>Hot</i>	.	.	.	.	.	.	.
Zbyt ciepło <i>Warm</i>	.	.	.	.	0,3	2,2	0,4
Komfortowo <i>Comfortable</i>	40,3	28,5	24,0	33,8	53,9	78,2	43,1
Chłodno <i>Cool</i>	51,8	56,5	58,9	56,8	42,9	19,5	47,7
Zimno <i>Cold</i>	7,8	15,0	17,1	9,4	2,9	0,2	8,7
Mroźno <i>Frosty</i>	.	.	.	.	.	.	.
Skrajnie mroźno <i>Extremely frosty</i>	.	.	.	.	.	.	.
Kołobrzeg							
Skrajnie gorąco <i>Extremely hot</i>	.	.	.	.	.	.	.
Gorąco <i>Hot</i>	.	.	.	.	.	.	.
Zbyt ciepło <i>Warm</i>	.	.	.	.	.	0,7	0,1
Komfortowo <i>Comfortable</i>	32,7	10,8	10,3	18,2	25,5	45,2	23,8
Chłodno <i>Cool</i>	66,7	85,2	80,0	78,2	73,4	53,7	72,9
Zimno <i>Cold</i>	0,7	4,0	9,7	3,5	1,1	0,5	3,3
Mroźno <i>Frosty</i>	.	.	.	.	.	.	.
Skrajnie mroźno <i>Extremely frosty</i>	.	.	.	.	.	.	.

Badania własne. / Own data.

Widać wyraźnie, że w miejscowości nadmorskiej (Kołobrzeg) częstość sytuacji pogodowych odczuwanych jako 'chłodno' jest znacznie większa niż w uzdrowisku górskim (Iwonicz), co jest związane z dużymi prędkościami wiatru w strefie brzegowej Bałtyku. Należy jednak zwrócić uwagę na odczucie zimna, które w Iwoniczu pojawia się nieco częściej niż w Kołobrzegu. Jest to spowodowane częstymi w górach sytuacjami inwersji termicznych, które doprowadzają do silnego wychłodzenia powietrza.



Ryc. 7.2. Przebieg dobowy wskaźnika ochładzania wiatrem (WCI) i temperatury powietrza (t) w dniu bardzo mroźnym (3 stycznia 2002, Warszawa)

Fig. 7.2. Daily course of wind chill index (WCI) and air temperature (t) during frosty day (3 Jan. 2002, Warsaw)

Badania własne. / Own data.

7.2.2. Temperatura ochładzania wiatrem (WCT)

Badania teoretyczne i eksperymenty termofizjologiczne prowadzone w Kanadzie i Stanach Zjednoczonych, związane z wpływem temperatury i ruchu powietrza na warunki odczuwalne w okresie zimowym, pozwoliły służbom meteorologicznym tych państw na opracowanie i wprowadzenie do codziennych prognoz meteorologicznych wskaźnika tzw. temperatury ochładzania wiatrem (WCT – Wind Chill Temperature lub Wind Chill Factor, w °C). Wskaźnik ten liczy się według następującego wzoru:

$$WCT = 13,12 + 0,6215 \cdot t - 11,37 \cdot v_{10}^{0,16} + 0,3965 \cdot t \cdot v_{10}^{0,16} \quad [7.4]$$

Wyniki najnowszych badań prowadzonych w Kanadzie pozwoliły na sformułowanie kryteriów oceny warunków biometeorologicznych i ich ryzyka dla zdrowia człowieka (Błażejczyk i inni 2011, tab. 7.2).

Rozmowy z mieszkańcami Kanady wskazują, że traktują oni podane wyżej informacje i ostrzeżenia bardzo poważnie, stosując się do przekazywanych zaleceń.

Przykład zmian temperatury ochładzania wiatrem w dniu bardzo mroźnym podano na rycinie 7.3. Wartości WCT w ciągu dnia wzrastały stopniowo od około -20°C w godzinach porannych do około -12°C w godzinach wieczornych. Według skali oceny te wartości WCT powodują jedynie małe ryzyko odmrożenia odsłoniętych części ciała. Dyskomfort może się pojawić w przypadku długotrwałego przebywania w terenie otwartym bez odpowiedniej odzieży.

Tabela 7.2. Charakterystyka warunków biometeorologicznych na podstawie wskaźnika WCT

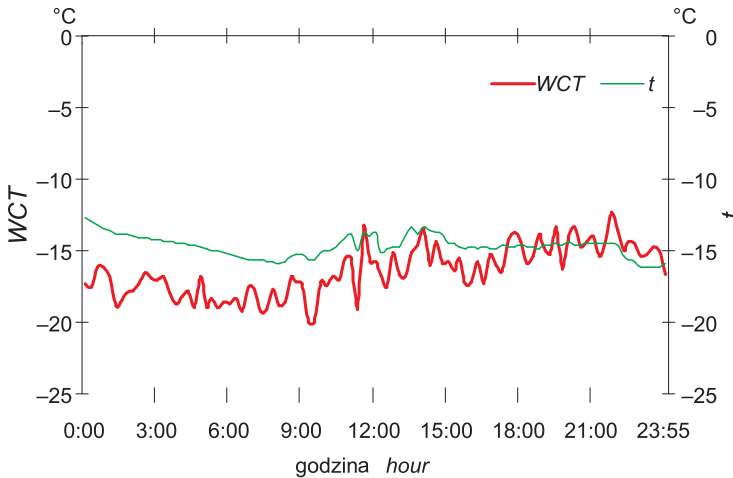
Table 7.2. Characteristic of biometeorological conditions based on WCT index

WCT (°C)	Ryzyko odmrożenia <i>Risk of frostbites</i>	Konsekwencje zdrowotne <i>Health concern</i>
> -9,9	małe <i>low</i>	Nieznaczny wzrost dyskomfortu. <i>Slight increase in discomfort.</i>
-10,0- -27,9	małe <i>low</i>	Dyskomfort. Ryzyko hypotermii podczas długiego pobytu poza pomieszczeniami bez odpowiedniej odzieży. <i>Uncomfortable. Risk of hypothermia if outside for long periods without adequate protection.</i>
-28,0- -39,9	znaczne <i>risk</i>	Odmrożenie możliwe po 10–30 minutach. Należy sprawdzać czy na twarzy i odkrytych dłoniach nie pojawiają się zwiastuny odmrożenia (drętwienie, białe plamy). Ryzyko hypotermii podczas długiego pobytu poza pomieszczeniami bez odpowiedniej odzieży lub osłon przeciwwietrznych. <i>Exposed skin can freeze in 10 to 30 minutes. Check face and extremities for numbness or whiteness. Risk of hypothermia if outside for long periods without adequate clothing or shelter from wind and cold.</i>
-40,0- -47,9	duże <i>high</i>	Odmrożenie możliwe po 5–10 minutach*. Należy sprawdzać czy na twarzy i odkrytych dłoniach nie pojawiają się zwiastuny odmrożenia (drętwienie, białe plamy). Ryzyko hypotermii podczas długiego pobytu poza pomieszczeniami bez odpowiedniej odzieży lub osłon przeciwwietrznych. <i>Exposed skin can freeze in 5 to 10 minutes*. Check face and extremities for numbness or whiteness. Risk of hypothermia if outside for long periods without adequate clothing or shelter from wind and cold.</i>
-48,0- -54,9	bardzo duże <i>very high</i>	Odmrożenie możliwe po 2–5 minutach*. Z uwagi na bardzo duże ryzyko odmrożenia należy często sprawdzać czy na twarzy i odkrytych dłoniach nie pojawiają się zwiastuny odmrożenia (drętwienie, białe plamy). Poważne ryzyko hypotermii podczas długiego pobytu poza pomieszczeniami bez odpowiedniej odzieży lub osłon. <i>Exposed skin can freeze in 2 to 5 minutes*. Check face and extremities frequently for numbness or whiteness. Serious risk of hypothermia if outside for long periods without adequate clothing or shelter from wind and cold.</i>
≤-55,0	skrajnie duże <i>extremely high</i>	Odmrożenie możliwe po mniej niż 2 minutach*. Przebywanie poza pomieszczeniami jest niebezpieczne dla zdrowia i życia. <i>Exposed skin can freeze in less than 2 minutes*. Danger! Outdoor conditions are hazardous.</i>

* Przy wietrze o prędkości ponad $14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (50 km na godzinę) odmrożenie może nastąpić przed wskazanym czasem.

In sustained winds over 50 km per hour, frostbite can occur faster than indicated.

Źródło / Source: <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/> (→ hazardous weather → winter weather → winter hazards → wind chill → wind chill index, 22.09.2011)



Ryc. 7.3. Przebieg dobowy temperatury ochładzania wiatrem (WCT) i temperatury powietrza (t) w dniu bardzo mroźnym (3 stycznia 2002, Warszawa)

Fig. 7.3. Daily course of wind chill temperature (WCT) and air temperature (t) during frosty day (3 Jan. 2002, Warsaw)

Badania własne. / Own data.

7.2.3. Wskaźnik *Humidex*

W Kanadzie, Stanach Zjednoczonych oraz w państwach południowej Europy uciążliwość warunków termiczno-wilgotnościowych w okresie letnim (podczas wysokiej temperatury powietrza) jest określana za pomocą wskaźnika *Humidex*. Wartości wskaźnika, wyrażone w °C, obrazują temperaturę odczuwaną przez człowieka, która kształtuje się pod wpływem warunków termiczno-wilgotnościowych otoczenia. Informacje o przewidywanych wartościach *Humidex* są we wspomnianych wyżej krajach podawane w prognozach meteorologicznych. Liczy się go według wzoru:

$$Humidex = t + 0,5555 \cdot (vp - 10) \quad [7.5]$$

Ciśnienie pary wodnej (vp) można obliczyć korzystając z następujących wzorów:

– gdy mamy informacje o temperaturze powietrza i jego wilgotności względnej:

$$vp = 6,112 \cdot 10^{[7.5 \cdot t / (237.7 + t)]} \cdot 0,01 \cdot RH, \text{ lub} \quad [7.6]$$

– gdy dysponujemy danymi o temperaturze punktu rosy (td):

$$vp = 6,112 \cdot e^{[5417.753 \cdot [1 / 273,16 - 1 / (273,16 + td)]]} \quad [7.7]$$

Dla wartości wskaźnika *Humidex* przekraczających 20°C stosowana jest specjalna skala zagrożenia termiczno-wilgotnościowego opracowana przez kanadyjską służbę meteorologiczną (Błażejczyk i inni 2011, tab. 7.3).

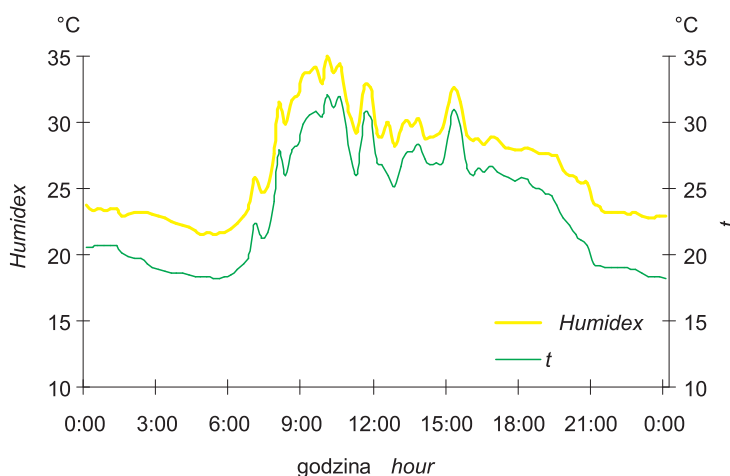
Tabela 7.3. Skala oceny wskaźnika *Humidex*Table 7.3. Assessment scale of *Humidex*

<i>Humidex</i> (°C)	Stopień dyskomfortu <i>Degree of discomfort</i>
20,0–30,0	brak dyskomfortu <i>no discomfort</i>
30,1–40,0	niewielki dyskomfort <i>some discomfort</i>
40,1–45,0	duży dyskomfort, należy unikać wysiłku fizycznego <i>great discomfort; avoid exertion</i>
> 45,0	niebezpieczeństwo udaru cieplnego <i>dangerous; possible heat stroke</i>

Źródło / Source: <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/> (→ hazardous weather → summer weather → summer hazards → heat and humidity → humidex, 22.09.2011).

Pomimo rosnącej popularności wskaźnika *Humidex* należy pamiętać, że nie uwzględnia on dwóch ważnych elementów meteorologicznych: promieniowania słonecznego i prędkości wiatru. Stopień zagrożenia może się znacznie nasilać przy wzroście natężenia promieniowania słonecznego i przy bardzo małej prędkości wiatru.

Przebieg wartości wskaźnika *Humidex* w dniu upalnym wskazuje, że przez całą dobę wartości temperatury odczuwalnej przewyższały wartości temperatury powietrza, ale nie przekroczyły poziomu ostrzegawczego (ryc. 7.4). Przyczyną tej

Ryc. 7.4. Przebieg dobowy wartości wskaźnika *Humidex* i temperatury powietrza (*t*) w dniu upalnym (1 lipca 2001, Warszawa)Fig. 7.4. Daily course of *Humidex* and air temperature (*t*) during hot day (1 July 2001, Warsaw)

Badania własne. / Own data.

różnicy jest fakt, że wskaźnik *Humidex* nie uwzględnia wiatru, który w znacznym stopniu łagodzi odczuwanie ciepła. Oceniając warunki termiczne w wybranym dniu można stwierdzić, że w godzinach 8.00–16.00 występował poziom ostrzegawczy wskaźnika (od 30,1 do 40,0°C), który charakteryzował wzrost dyskomfortu, a długotrwały wysiłek fizyczny mógł doprowadzić do przegrzania organizmu. Przez pozostałą część doby nie było zagrożeń termiczno-wilgotnościowych.

7.2.4. Temperatura efektywna (*TE*)

W opracowaniach bioklimatycznych i badaniach higienicznych dość często jest stosowana temperatura efektywna (*TE* – *Effective Temperature*, w °C), która odzwierciedla łączny wpływ temperatury, wilgotności powietrza i prędkości wiatru na odczuwalność cieplną człowieka, zarówno ubranego jak i rozebranego do pasa, przebywającego w cieniu (wskaźnik ten nie uwzględnia bowiem promieniowania słonecznego).

Podstawy *TE* opracowali w 1923 r. amerykańscy inżynierowie ciepłownictwa, F.C. Houghten i C. P. Yaglou, a do badań bioklimatycznych temperaturę efektywną zaadoptował F.A. Missenard (1933). W zależności od tego, jaka jest prędkość wiatru, stosuje się jeden z poniższych wzorów. W przypadku prędkości wiatru $< 0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ wzór ma postać:

$$TE = t - 0,4 \cdot (t - 10,0) \cdot (1 - 0,01 \cdot RH) \quad [7.8]$$

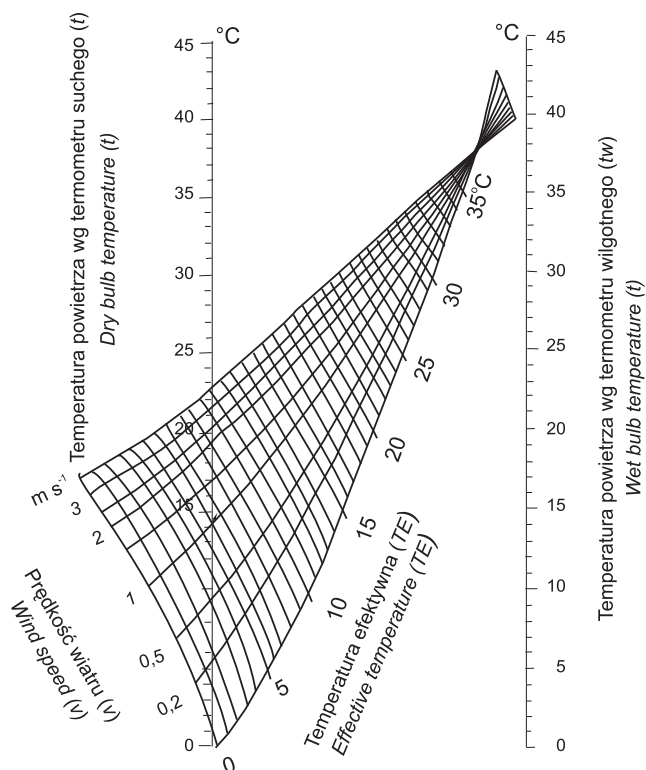
Dla prędkości wiatru $\geq 0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ wzór ma następującą formę:

$$TE = 37,0 - \frac{37,0 - t}{0,68 - 0,0014 \cdot RH + 1/(1,76 + 1,40 \cdot v^{0,75})} - 0,29 \cdot t \cdot (1 - 0,01 \cdot RH) \quad [7.9]$$

Przyjęcie prędkości wiatru $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ jako wartości granicznej wynika z założenia Missenarda, że ruch powietrza poniżej tej prędkości jest odczuwany przez człowieka jako cisza.

Wartość temperatury efektywnej można także wyznaczyć za pomocą specjalnych nomogramów opracowanych przez C.P. Yaglou (za: Flach 1981; Klonowicz i Kozłowski 1970). Jeden z nich (ryc. 7.5) dotyczy człowieka rozebranego do połowy i pozostającego w spoczynku (tzw. skala podstawowa), drugi (ryc. 7.6) – człowieka wykonującego lekką pracę (np. spacer) i ubranego w odzież o termoizolacyjności 1 clo, czyli w tzw. zwykłą odzież letnią (tzw. skala normalna; tej skali dotyczą także podane wyżej wzory). Komfort termiczny wyznaczają wartości *TE* zawarte w przedziale od 17,3 do 21,7°C (w przypadku człowieka rozebranego) oraz od 15,7 do 20,6°C (dla człowieka ubranego).

Wyniki badań subiektywnych odczuć cieplnych ludzi oraz ich reakcji fizjologicznych przy różnych wartościach *TE* pozwoliły na skonstruowanie skali odczuwalności cieplnej. Według N.Z. Michajłowa (za: Bajbakova i inni 1963), kolejne przedziały temperatury efektywnej odpowiadają następującym odczuciom cieplnym:



Ryc. 7.5. Diagram do wyznaczania temperatury efektywnej (skala podstawowa, dla człowieka stojącego, rozebranego)

Fig. 7.5. Diagram of effective temperature (basic scale – standing, nude man)

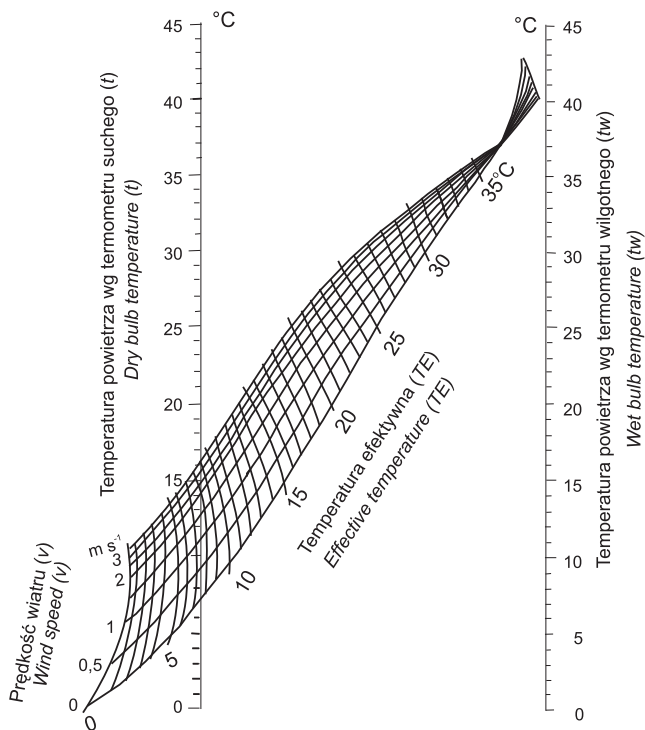
Źródło: Yaglou, za: Flach (1981). / Source: /Yaglou, after: Flach (1981).

TE (°C)	Odczucie ciepłe
< 1,0	bardzo zimno
1,0–8,9	zimno
9,0–16,9	chłodno
17,0–20,9	orzeźwiająco
21,0–22,9	komfortowo
23,0–26,9	ciepło
≥ 27,0	gorąco.

Skala Michajłowa może być stosowana tylko w dodatniej temperaturze powietrza. Najkorzystniejsze dla człowieka ubranego w zwykłą odzież letnią i wykonującego lekką pracę (np. spacerującego) są warunki z temperaturą efektywną w zakresie od 17,0 do 22,9°C. Warunki sprzyjające intensywnej rekreacji występują przy TE od 9,0 do 16,9°C.

Badania M. Baranowskiej i innych (1986) pokazały sezonową i regionalną zmienność wrażliwości termicznej człowieka, w wyniku przystosowania do

różnych warunków klimatycznych oraz do zmienności sezonowej klimatu. Na tej podstawie autorki opracowały skalę odczucia termicznego według *TE* dla regionów Polski, różniących się pod względem termicznym (średnia roczna temperatura powietrza $< 7^{\circ}\text{C}$, $7\text{--}8^{\circ}\text{C}$ lub $> 8^{\circ}\text{C}$). Skala ta dotyczy człowieka ubranego stosownie do pory roku, w czasie ruchu lub wykonywania czynności niewymagających dużego wysiłku fizycznego. Zaletą tej skali jest możliwość oceny odczuć ciepłych przy ujemnych wartościach *TE*, wadą natomiast brak ciągłości niektórych klas odczuć ciepłych w okresie zimowym i letnim (ryc. 7.7).



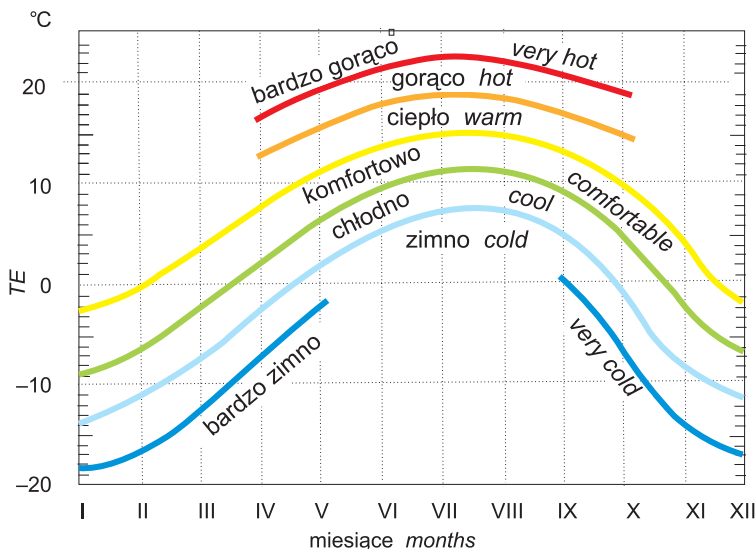
Ryc. 7.6. Diagram do wyznaczania temperatury efektywnej (skala normalna, dla człowieka wykonującego lekką pracę, ubranego w zwykłą odzież letnią)

Fig. 7.6. Diagram of effective temperature (normal scale – man walking in summer clothing)

Źródło: Yaglou, za: Flach (1981). / Source: Yaglou, after: Flach (1981).

Przed 10 laty formuła Missenarda została wprowadzona pod nazwą Normalna Temperatura Efektywna (*NET*) do opracowywania prognoz biometeorologicznych w Obserwatorium w Hong Kongu (Li i Chan 2000). Na podstawie wieloletnich ciągów obserwacyjnych autorzy określili poziomy skrajne *NET*: skrajnie ciepły dla lata i skrajnie zimny dla zimy, nazywając je Wskaźnikiem Stresu Pogodowego. Przedmiotem prognozy ostrzegawczej jest prawdopodobieństwo wystąpienia skrajnych wartości *NET* określonych na podstawie aktualnych (lub prognozowa-

nych) wartości temperatury i wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru. Obserwatorium w Hong Kongu formułuje swe prognozy dla znacznego obszaru Azji Południowo-Wschodniej. Z uwagi na coraz częstsze wyjazdy turystów z Europy do tej strefy klimatycznej warto wiedzieć, na jakiej podstawie są podawane ewentualne ostrzeżenia przed wystąpieniem silnego stresu pogodowego.



Ryc. 7.7. Skala odczuć cieplnych określonych na podstawie temperatury efektywnej, obszar Polski o średniej rocznej temperaturze powietrza 7–8°C

Fig. 7.7. Scale of thermal sensations in man at various values of effective temperature

Źródło: Baranowska i inni (1986). / Source: Baranowska et al. (1986).

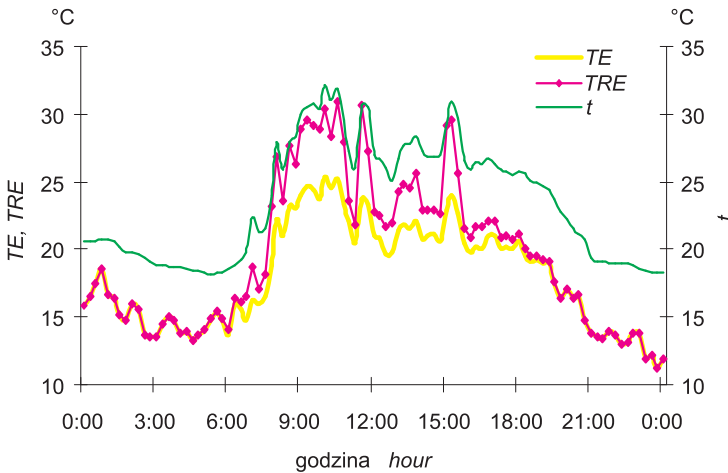
7.2.5. Temperatura radiacyjno-efektywna (*TRE*)

Temperatura radiacyjno-efektywna (*TRE* – Radiative-and-Effective Temperature, w °C) jest wskaźnikiem pochodnym od temperatury efektywnej. *TRE* uwzględnia bardzo ważny czynnik bioklimatyczny, jakim jest promieniowanie słoneczne, dzięki temu można określić odczucia cieplne człowieka przebywającego w terenie otwartym w miejscach nasłonecznionych.

G.V. Szelejchovskij (za: Kozłowska-Szczęśna, red., 1985) opracował specjalny nomogram, za pomocą którego można wyznaczyć *TRE*. Ponieważ korzystanie z nomogramu jest mało wygodne, K. Błażejczyk opracował na jego podstawie wzór pozwalający na obliczenie *TRE* przy znanej wartości temperatury efektywnej (*TE*) oraz natężenia całkowitego promieniowania słonecznego (*Kglob*). Wzór ma następującą postać:

$$TRE = TE + (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot K_{glob} \cdot [(0,0155 - 0,00025 \cdot TE) - (0,004 - 0,0001 \cdot TE)] \quad [7.10]$$

Do oceny odczuć cieplnych człowieka na podstawie temperatury radiacyjno-efektywnej stosuje się jedną ze skal przedstawionych w rozdziale 7.2.4. (N. Michajłowa lub M. Baranowskiej).



Ryc. 7.8. Przebieg dobowy temperatury efektywnej (TE), temperatury radiacyjno-efektywnej (TRE) i temperatury powietrza (t) w dniu upalnym (1 lipca 2001, Warszawa)

Fig. 7.8. Daily course of effective temperature (TE), radiation-and-effective temperature (TRE) and air temperature (t) during hot day (1 July 2001, Warsaw)
Badania własne. / Own data.

Rycina 7.8 zawiera przykłady przebiegu dobowego wskaźników TE i TRE w dniu upalnym w Warszawie. W przeciwieństwie do omówionego wcześniej wskaźnika *Humidex*, wartości temperatury efektywnej i temperatury radiacyjno-efektywnej były przez całą dobę niższe od temperatury powietrza – jest to efekt ochładzającego działania wiatru.

Widać także wyraźnie, że w ciągu dnia intensywny dopływ promieniowania słonecznego spowodował, iż wartości TRE były znacznie wyższe od wartości TE . W godzinach nocnych, przy braku promieniowania słonecznego temperatura radiacyjno-efektywna ma takie same wartości jak temperatura efektywna. W tym okresie doby wartości TE i TRE wskazują na występowanie odczuć cieplnych 'chłodno' i 'orzeźwiająco' (ocenianych wg skali Michajłowa). W ciągu dnia pozostawanie w miejscach zacienionych wiązało się z występowaniem odczuć 'komfortowo' i 'ciepło'. W tym samym czasie przebywanie w miejscach nasłonecznionych powodowało wystąpienie odczuć 'gorąco'. Według skali M. Baranowskiej odczucia ciepłe zmieniały się od 'komfortowo' w godzinach nocnych do 'bardzo gorąco' w ciągu dnia – niezależnie czy było to miejsce zacienione, czy nasłonecznione.

7.2.6. Ekwiwalent temperatury standardowej (SST)

Do oceny warunków termicznych odczuwanych przez człowieka można zastosować tzw. ekwiwalent temperatury standardowej (SST – *Still Shade Temperature*, w °C), to znaczy temperatury powietrza obserwowanej w cieniu i przy braku wiatru (Burton i Edholm 1955). Na subiektywne odczuwanie warunków termicznych składają się: wzrost temperatury spowodowany przez promieniowanie słoneczne (TRI) oraz jej obniżenie przez ruch powietrza (TWD). Wskaźnik SST jest wyrażony w °C i liczy się go według wzoru:

$$SST = t + TRI - TWD \quad [7.11]$$

Wartość TRI liczy się następująco:

$$TRI = 0,42 \cdot (1 - 0,009 \cdot N) \cdot (100 - ac) \cdot 1 / (0,61 + 1,9 \cdot v^{0,5}), \quad [7.12]$$

a TWD na podstawie wzoru:

$$TWD = 0,15673 \cdot M \cdot [1 - 1 / (0,61 + 1,9 \cdot v^{0,5})] \quad [7.13]$$

Do oceny odczuć cieplnych człowieka na podstawie wartości SST można stosować następującą skalę:

SST (°C)	Odczucie cieplne
< -7,5	skrajnie zimno
-7,5-0,3	bardzo zimno
0,4-2,0	zimno
2,1-5,2	chłodno
5,3-11,3	neutralnie
11,4-18,8	ciepło
18,9-20,9	gorąco
21,0-23,6	bardzo gorąco
> 23,6	skrajnie gorąco.

Skala ta odzwierciedla odczucia człowieka ubranego w odzież o termoizolacyjności 1 clo (zwykła odzież letnia), spacerującego z prędkością około 4 km na godzinę.

W przykładzie przebiegu dobowego ekwiwalentu temperatury standardowej (ryc. 7.9) wartości SST były wyraźnie niższe od temperatury powietrza, co jest efektem ochładzającej siły wiatru. Odczucia cieplne zmieniały się od 'neutralnie' w godzinach nocnych do 'skrajnie gorąco' w ciągu dnia.

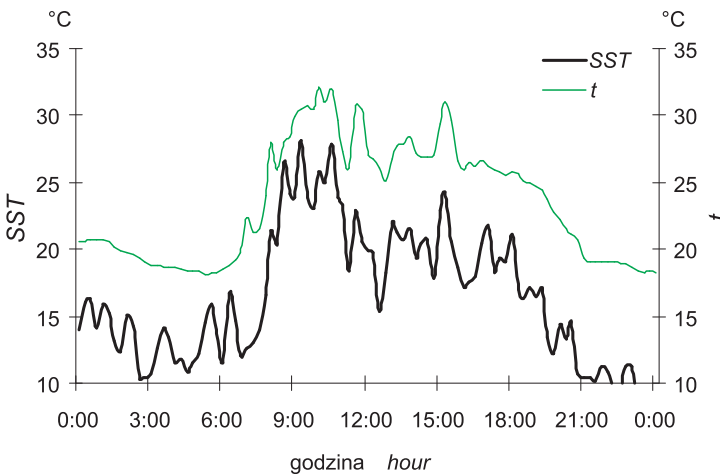
7.2.7. Częstotliwość tętna (HR) i dopuszczalny poziom aktywności fizycznej (MHR)

Jedną z ważniejszych charakterystyk fizjologicznych jest częstotliwość tętna (HR – *Heart Rate*). Określa ona liczbę uderzeń serca w ciągu minuty. Na wartość

HR mają wpływ zarówno aktywność fizyczna człowieka, jak i niektóre parametry meteorologiczne (temperatura powietrza i ciśnienie pary wodnej). Informacja o możliwej częstotliwości tętna jest bardzo przydatna w ocenie warunków pracy oraz aktywnej rekreacji i turystyki. *HR* jest najczęściej mierzonym parametrem pracy serca, może także być oszacowana według następującego wzoru (Fuller, Brouha 1966):

$$HR = 22,4 + 0,18 \cdot M + 0,25 \cdot (5 \cdot t + 2,66 \cdot vp) \quad [7.14]$$

Wartość wskaźnika *HR* wzrasta wraz ze wzrostem temperatury powietrza i ciśnienia pary wodnej oraz ze zwiększeniem wysiłku fizycznego. Podręczniki fizjologii podają, że prawidłowe tętno wynosi u mężczyzny 70–72 uderzenia na minutę, a u kobiet 78–82 uderzenia na minutę. Wraz ze wzrostem *HR* powyżej tej wartości wzrasta obciążenie układu krwionośnego. Wartością ostrzegawczą *HR* jest 90 uderzeń serca na minutę.



Ryc. 7.9. Przebieg dobowy ekwiwalentu temperatury standardowej (SST) i temperatury powietrza (*t*) w dniu upalnym (1 lipca 2001, Warszawa)

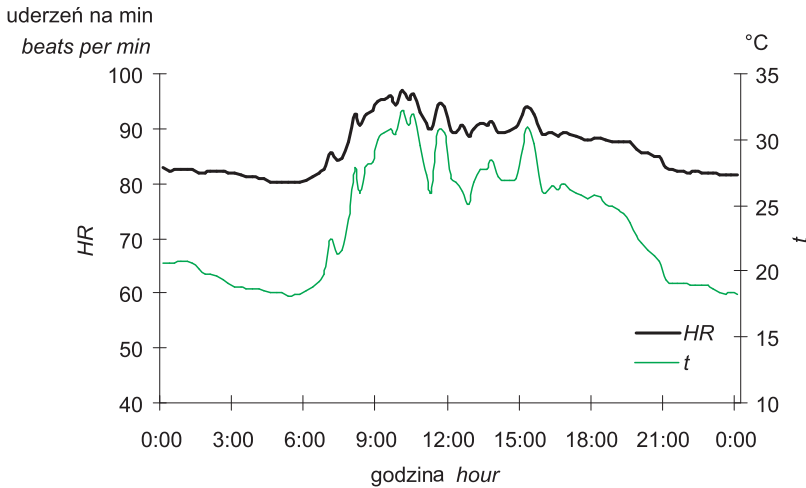
Fig. 7.9. Daily course of Still Shade Temperature (SST) and air temperature (*t*) during hot day (1 July 2001, Warsaw)

Badania własne. / Own data.

Obliczone dla wybranego dnia upalnego w Warszawie wartości częstotliwości tętna wskazują, że przy umiarkowanej aktywności fizycznej (spacer z prędkością 4 km na godzinę) przez okres całej doby wartości *HR* przekraczają 80 uderzeń serca na minutę, a w godzinach od 8 do 16 przekraczają poziom ostrzegawczy, czyli 90 uderzeń na minutę (ryc. 7.10).

Znając aktualne warunki meteorologiczne podczas rekreacji można zatem określić dopuszczalny poziom aktywności fizycznej (*MHR*, w $W \cdot m^{-2}$) niepowodujący nadmiernego obciążenia serca:

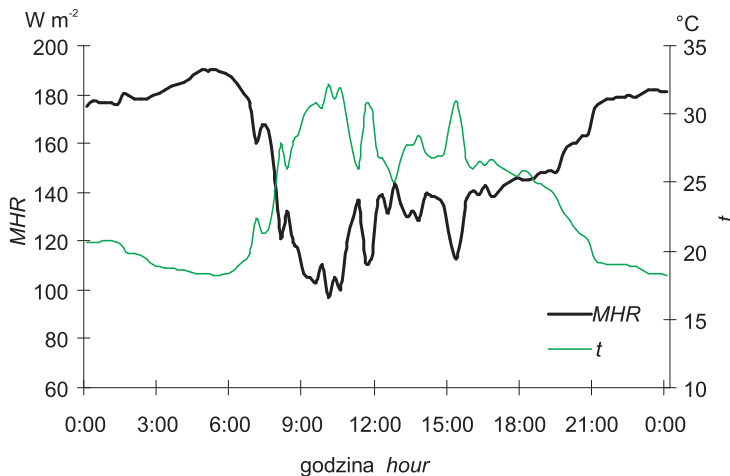
$$MHR = [90 - 22,4 - 0,25 \cdot (5 \cdot t + 2,66 \cdot vp)] / 0,18 \quad [7.15]$$



Ryc. 7.10. Przebieg dobowy częstotliwości tętna (*HR*) i temperatury powietrza (*t*) w dniu upalnym (1 lipca 2001, Warszawa)

Fig. 7.10. Daily course of heart rate (*HR*) and air temperature (*t*) during hot day (1 July 2001, Warsaw)

Badania własne. / Own data.



Ryc. 7.11. Dopuszczalny poziom aktywności fizycznej (*MHR*) przy różnej temperaturze powietrza (*t*) w dniu upalnym (1 lipca 2001, Warszawa)

Fig. 7.11. Maximal level of activity (*MHR*) at various air temperature (*t*) during hot day (1 July 2001, Warsaw)

Badania własne. / Own data.

Obliczenia dopuszczalnego poziomu aktywności fizycznej wykonane dla dnia upalnego w Warszawie wskazują, że warunki termiczno-wilgotnościowe pozwalały na podejmowanie intensywnego wysiłku fizycznego jedynie w godzinach nocnych; wartości *MHR* dochodziły wtedy nawet do $190 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. W ciągu dnia aktywność fizyczna człowieka powinna być ograniczona, aby nie powodować nadmiernego obciążenia układu krążenia; metaboliczna produkcja ciepła nie powinna przekraczać $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (ryc. 7.11). Informacje o metabolicznej produkcji ciepła podczas różnej aktywności fizycznej człowieka można znaleźć w rozdziale 5.2.1.

7.2.8. Przewidywana termoizolacyjność odzieży (*Iclp*)

Jak już wspomniano w rozdziale 5.8, znaczna liczba problemów z dostosowaniem się do zmieniających się warunków otoczenia wynika z używania nieodpowiedniej odzieży. Wskaźnikiem, który w prosty i szybki sposób pozwala na określenie izolacyjności termicznej odzieży potrzebnej w danych warunkach meteorologicznych do zachowania równowagi cieplnej organizmu, jest wskaźnik przewidywanej termoizolacyjności odzieży (*Iclp* – *Insulation Predicted*, w jednostkach clo). Do jego konstrukcji wykorzystano wzór A.C. Burtona i O.G. Edholma (1955) pozwalający na określenie całkowitej termoizolacyjności odzieży i otaczającej ją cienkiej, przypowierzchniowej warstwy powietrza oraz wzór J. Fourta i N. Holliesa (1970) wyznaczający termoizolacyjność przypowierzchniowej warstwy powietrza.

Ostatecznie przewidywaną termoizolacyjność odzieży (*Iclp*) wyznacza się ze wzoru (Błażejczyk i inni 2003):

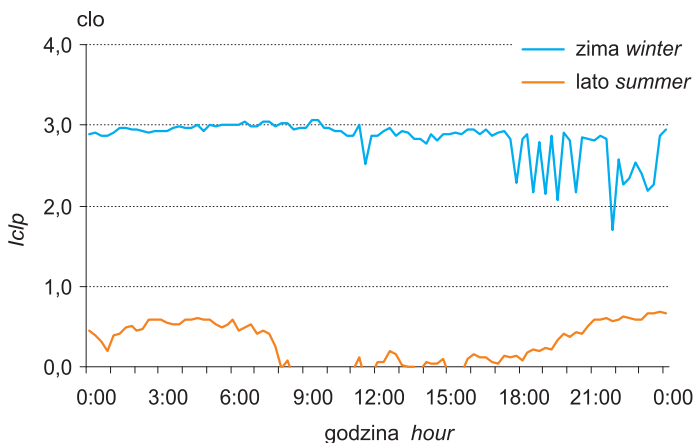
$$Iclp = [0,082 \cdot [91,4 - (1,8 \cdot t + 32)] / (0,01724 \cdot M)] - [1 / (0,61 + 1,9 \cdot v^{0,5})] \quad [7.16]$$

W odniesieniu do wskaźnika *Iclp* można zastosować następującą skalę oceny środowiska termicznego zaproponowaną przez B. Krawczyk (2000):

<i>Iclp</i> (clo)	Środowisko termiczne
$\leq 0,30$	bardzo ciepłe
0,31–0,80	ciepłe
0,81–1,20	neutralne
1,21–2,00	chłodne
2,01–3,00	zimne
3,01–4,00	bardzo zimne
> 4,00	arktyczne.

Zakres stosowalności wskaźnika *Iclp* jest ograniczony do warunków meteorologicznych z temperaturą powietrza niższą od około 20°C . Przy wyższej temperaturze, zwłaszcza wtedy, gdy prędkość wiatru jest mała, wartości wskaźnika spadają poniżej zera. Wartości takie należy interpretować jako reprezentujące środowisko bardzo ciepłe.

Przykład przebiegu dobowego I_{clp} w dniu mroźnym i upalnym przedstawia rycina 7.12. Przez większą część dnia zimowego dominowało zimne środowisko termiczne, a w godzinach porannych nawet (chwilowo) – bardzo zimne. W dniu letnim natomiast panowało środowisko termiczne ciepłe lub bardzo ciepłe. Mimo swej prostoty wskaźnik I_{clp} dobrze ilustruje warunki termiczne. Może być zatem stosowany jako wskazówka dla turystów i rekreantów, jaką odzież należy stosować w danych warunkach pogodowych, zwłaszcza w okresie zimowym.



Ryc. 7.12. Przebieg dobowy wartości wskaźnika I_{clp} w dniu zimowym i letnim

Fig. 7.12. Daily course of I_{clp} index in winter and summer days

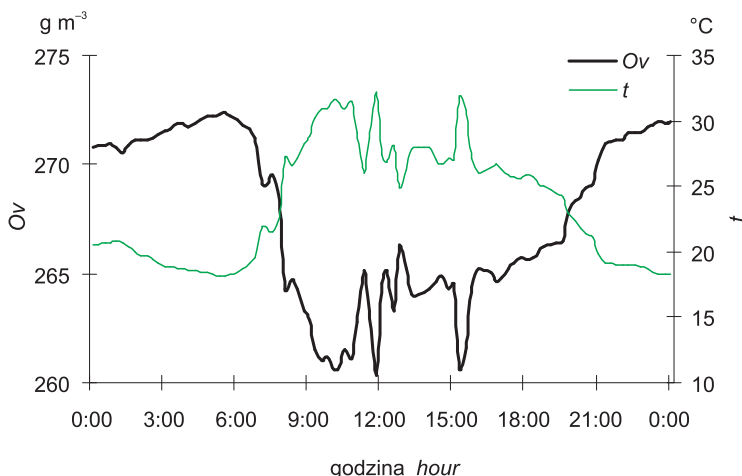
Badania własne. / Own data.

7.2.9. Zawartość tlenu w powietrzu (O_v)

W rozdziale 3.8 omówiono skutki, jakie niesie ze sobą zmiana zawartości tlenu w powietrzu zachodząca wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza. Ilość ta zależy także od aktualnych warunków meteorologicznych, przede wszystkim temperatury i wilgotności powietrza oraz ciśnienia atmosferycznego, dlatego zawartość tlenu w powietrzu (O_v – Oxygen Volume, w $g \cdot m^{-3}$) jest traktowana jak wskaźnik biometeorologiczny (Wojtach 2003). Oblicza się ją według wzoru:

$$O_v = [80,51 \cdot a_p / (t + 273)] \cdot (1 - v_p / a_p) \quad [7.17]$$

W wybranym dniu upalnym zawartość tlenu w powietrzu zmieniała się od 260 do 273 $g \cdot m^{-3}$. W godzinach okołopołudniowych, przy najwyższej temperaturze powietrza, ilość tlenu była o około 4% mniejsza niż w godzinach nocnych. Świadczy to o znacznej uciążliwości warunków biotermicznych, zwłaszcza w przypadku osób wykonujących pracę fizyczną lub korzystających z aktywnych form rekreacji (ryc. 7.13).



Ryc. 7.13. Przebieg dobowy zawartości tlenu w powietrzu (O_v) oraz temperatury powietrza (t) w dniu letnim

Fig. 7.13. Daily courses of oxygen volume (O_v) and air temperature (t) during summer day
Badania własne. / Own data.

7.2.10. Wskaźnik WBGT

Wskaźnik WBGT (*Wet-bulb-globe-temperature*, w °C), który można po polsku nazwać temperaturą wilgotnego termometru kulistego, jest jednym z najpowszechniej stosowanych na świecie wskaźników oceny uciążliwości warunków gorąca. Został on opracowany na potrzeby marynarki wojennej Stanów Zjednoczonych do oceny ryzyka powstania dysfunkcji organizmu związanych z ćwiczeniami i pracą w wysokiej temperaturze powietrza (Yaglou, Minard 1957). W latach późniejszych wskaźnik ten znalazł zastosowanie w ocenie warunków pracy i jest rekomendowany przez amerykańską agencję rządową (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, [http://www.osha.gov/...](http://www.osha.gov/)) (ACGIH 2004) oraz w medycynie sportowej. Służba meteorologiczna Australii proponuje ten wskaźnik także do oceny ryzyka stresu cieplnego podczas różnych zajęć fizycznych w terenie otwartym (a więc również zajęć rekreacyjnych i turystyki) ([http://www.bom.gov.au/...](http://www.bom.gov.au/)).

W wersji oryginalnej wartość WBGT oblicza się na podstawie specjalnych pomiarów suchym i zwilżonym termometrem kulistym. Do powszechnego użycia jest to rozwiązanie niepraktyczne, dlatego w australijskiej służbie pogody opracowano następujący wzór uproszczony do obliczania WBGT ([http://www.bom.gov.au/...](http://www.bom.gov.au/)):

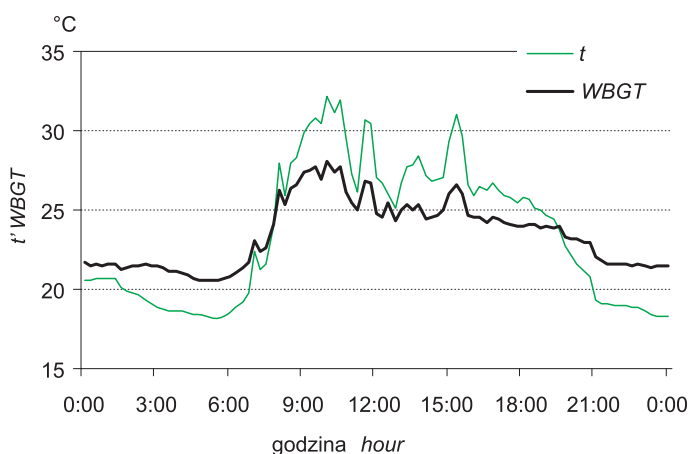
$$WBGT = 0,567 \cdot t + 1,548 \cdot v_p \quad [7.18]$$

Skalę oceny warunków aktywności fizycznej w terenie otwartym zawiera poniższe zestawienie:

WBGT (°C)	Możliwość aktywności fizycznej
< 18,0	nieograniczona
18,1–23,0	zachowaj ostrożność – mogą wystąpić objawy stresu cieplnego
23,1–28,0	osoby niezaaklimatyzowane powinny przerwać intensywne ćwiczenia fizyczne
28,1–30,0	intensywne ćwiczenia fizyczne są możliwe tylko w przypadku osób zaaklimatyzowanych i wytrenowanych; wszyscy inni powinni zaprzestać jakiegokolwiek aktywności fizycznej
> 30,0	wszystkie osoby powinny zaprzestać wszelkiej aktywności fizycznej.

Źródło / Source: <http://www.bom.gov.au/info/wbgt/wbgtrecs.shtml>, 22.09.2011.

Wskaźnik WBGT ma zastosowanie tylko w odniesieniu do okresu ciepłego. W przykładowym dniu letnim wartości WBGT od godziny 8 do 20 mówiły o przeciwwskazaniach do uprawiania intensywnych form aktywności fizycznej (biegi, gry, jazda na rowerze) z uwagi na niebezpieczeństwo przegrzania organizmu, zwłaszcza u osób niezaaklimatyzowanych (ryc. 7.14).



Ryc. 7.14. Przebieg dobowy temperatury powietrza (t) i wskaźnika WBGT w dniu letnim

Fig. 7.14. Daily course of air temperature (t) and WBGT index in summer day
Badania własne. / Own data.

7.2.11. Temperatura pozorna (AT)

Temperatura pozorna (AT – *Apparent Temperature*, °C) jest definiowana jako temperatura, która w referencyjnych warunkach wilgotności (określonych temperaturą punktu rosy równą 14°C), wywołuje takie samo wrażenie dyskomfortu, jakie jest obserwowane w rzeczywistych warunkach termicznych, wilgotnościowych i radiacyjnych (Steadman 1984). Gdy wilgotność powietrza jest większa

od referencyjnej, wartości AT są wyższe od temperatury powietrza. AT może być stosowana w szerokim zakresie warunków termicznych. Przy niskiej temperaturze otoczenia uwzględnia ona również prędkość wiatru, natomiast w warunkach gorąca – także promieniowanie słoneczne. Pełną wersję AT uzyskuje się poprzez rozwiązanie pełnego modelu bilansu cieplnego (Steadman 1984). W powszechnym użyciu funkcjonują natomiast formuły uproszczone.

Australijskie Biuro Meteorologiczne (<http://www.bom.gov.au/...>) proponuje następujące sposoby obliczania AT :

– bez uwzględnienia promieniowania słonecznego:

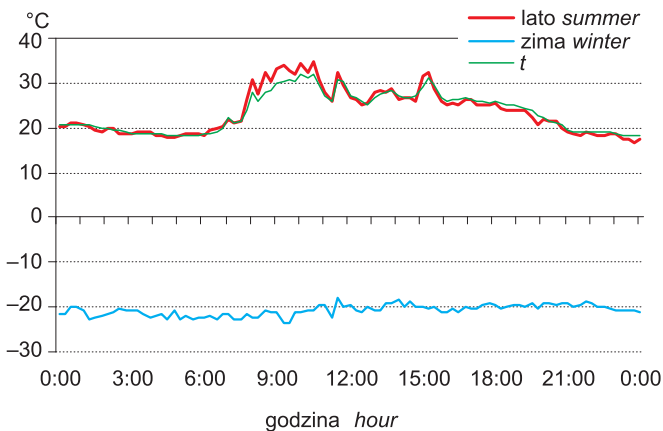
$$AT = t + 0,33 \cdot vp - 0,7 \cdot v_{10} - 4,0 \quad [7.19]$$

– z uwzględnieniem promieniowania słonecznego:

$$AT = t + 0,348 \cdot vp - 0,7 \cdot v_{10} + 0,7 \cdot R / (v_{10} + 10) - 4,25 \quad [7.20]$$

Nie istnieje obecnie szczegółowa skala oceny AT . W odniesieniu do warunków ciepła używa się jedynie rozgraniczenia wartości AT na wyższe od temperatury powietrza (mówią one o obciążeniu termiczno-wilgotnościowym) oraz AT niższe od t , gdy obciążenia takie nie występują. W przypadku warunków chłodu przyjmuje się progi AT równe: +10, 0 i -15°C , jako mówiące o nasilaniu się stresu zimna.

W przykładowym dniu zimowym wartość AT wskazuje na duże nasilenie stresu zimna. W dniu letnim pomiędzy godziną 8 a 10 wartości AT były wyraźnie wyższe od temperatury powietrza, co wskazuje na obciążenie termiczno-wilgotnościowe w tym czasie. W pozostałej części dnia wartości t i AT były podobne do siebie (ryc. 7.15).



Ryc. 7.15. Przebieg dobowy wartości temperatury pozornej (AT) w dniu zimowym i letnim oraz temperatury powietrza (t) w dniu letnim

Fig. 7.15. Daily course of Apparent Temperature (AT) in winter and summer days as well as air temperature (t) in summer day

Badania własne. / Own data.

8. Wskaźniki biotermiczne

Przez określenie „wskaźniki biotermiczne” należy rozumieć różne miary oddziaływania warunków termicznych na organizm człowieka, ilustrujące rzeczywiste procesy i obciążenia fizjologiczne zachodzące pod wpływem warunków panujących w otoczeniu człowieka. Wskaźniki te opierają się na analizie bilansu cieplnego człowieka, dlatego przed omówieniem samych wskaźników dokonano przeglądu modeli bilansu cieplnego.

Wyniki szczegółowych badań eksperymentalnych, prowadzonych zarówno przez fizjologów i lekarzy, jak i przez bioklimatologów, pozwoliły na stworzenie różnych modeli bilansu cieplnego człowieka. Ich wspólną cechą jest przyjmowanie pewnych uproszczeń, polegających głównie na odejściu od jednostkowych reakcji fizjologicznych pojedynczego człowieka ku ich typowym przebiegom. Niemniej jednak dzięki tym modelom, w powiązaniu z łatwym dostępem do komputerowych technik obliczeniowych, możliwe jest szerokie zastosowanie analiz gospodarki cieplnej organizmu człowieka w badaniach termofizjologicznych i bioklimatycznych. W zależności od stopnia skomplikowania rozpatrywanych przepływów ciepła modele te można podzielić na proste i wielowęzłowe. W modelach prostych rozpatruje się organizm człowieka jako jednorodną całość (niekiedy jako 2–3 segmenty) i uwzględnia tylko przepływy ciepła pomiędzy powierzchnią ciała a otoczeniem. Modele wielowęzłowe traktują ciało człowieka jak zespół połączonych segmentów, pomiędzy którymi i w obrębie których następują przepływy ciepła. Kształtują one fizyczne i fizjologiczne cechy powierzchni ciała i wpływają na wielkość wymiany ciepła z otoczeniem. Modele bilansu cieplnego są podstawą wielu wskaźników biotermicznych.

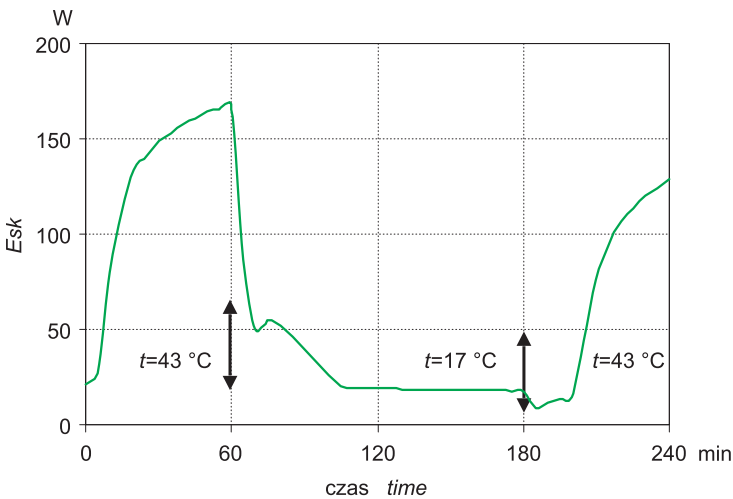
8.1. Modele proste bilansu cieplnego człowieka

Modele proste bilansu cieplnego człowieka można – zależnie od warunków jakie opisują – podzielić na trzy podstawowe grupy:

- modele dla warunków niestacjonarnych,
- modele dla warunków stacjonarnych,
- modele oceniające ogólne warunki bioklimatyczne.

Jako niestacjonarne określa się takie warunki, w których następują chwilowe wahania reakcji termoregulacyjnych organizmu, będące wynikiem obciążenia pracą lub zmieniających się warunków termicznych otoczenia, a saldo wymiany ciepła jest różne od zera (Clark i inni 1980). W modelach opisujących niestacjonarne warunki wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem mierzy się, lub szacuje za pomocą metod pośrednich, wartości wszystkich podstawowych składników bilansu cieplnego. Odnosi się to do parametrów zarówno meteorologicznych, jak i fizjologicznych.

O warunkach stacjonarnych można mówić w przypadku ustabilizowania się wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem przy w miarę niezmiennych warunkach meteorologicznych w naszym otoczeniu. Zależnie od warunków środowiskowych ustabilizowanie się wymiany ciepła następuje po około 20–30 minutach. W pierwszej fazie pobytu w danym środowisku następują intensywne zmiany dostosowawcze, a następnie poziom wymiany ciepła nie podlega większym wahaniom. Przykładem są zmiany ewaporacyjnych strat ciepła z powierzchni skóry w sytuacji zmieniającej się temperatury otoczenia podczas czterogodzinnego eksperymentu. Zmiany temperatury nastąpiły w 60 i 180 minucie eksperymentu. Straty ciepła na parowanie stabilizowały się po około 30 minutach ekspozycji (ryc. 8.1). W odniesieniu do dłuższych okresów (co najmniej doby), brane są pod uwagę uśrednione wartości parametrów fizjologicznych i meteorologicznych, które zapewniają równowagę się zysków i strat ciepła (Mitchell 1977). Modele tego typu są stosunkowo często stosowane w badaniach bioklimatycznych.



Ryc. 8.1. Zmiany strat ciepła na parowanie z powierzchni skóry (E_{sk}) jako odpowiedź dostosowawcza organizmu na zmianę temperatury otoczenia (t); strzałkami oznaczono momenty zmiany środowiska termicznego

Fig. 8.1. Changes in evaporative heat loss from the skin (E_{sk}) as adaptive response of an organism to varying ambient temperature (t); arrows indicate changes of ambient conditions

Badania własne. / Own data.

Pierwsze proste modele bilansu cieplnego człowieka dla warunków niestacjonarnych pojawiły się w latach 1966–1975 (Ajzenštat 1973; Budyko 1975; Gagge i inni 1971; Morgan, Baskett 1974; Terjung 1966, 1970; Tuller 1975; Webb 1971). Wraz z rozwojem technik komputerowych w latach 1980. i 1990. powstała kolejna grupa modeli. Część z nich była rozwinięciem i uszczegółowieniem modeli

wcześniejszych. Znaczna ich część jest nadal stosowana w badaniach bioklimatycznych (Błażejczyk 1993, 1994a, b; Gagge i inni 1986; de Freitas, Ryken 1989; Höppe 1984; Jendritzky 1990; Nielsen i inni 1988). W większości z nich przyjmuje się założenie, że fizjologiczne składniki bilansu cieplnego mają wartości stałe (np. temperatura skóry 33°C , metabolizm 70 lub $135\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, jako stała jest także przyjmowana termoizolacyjność odzieży).

W końcowych dekadach XX w. badania fizjoklimatyczne, podczas których mierzy się parametry meteorologiczne i fizjologiczne, zaczęto prowadzić nie tylko w komorach klimatycznych, ale także w terenie otwartym. Określone w tych badaniach zmiany zawartości ciepła w organizmie są realnymi wielkościami fizjologicznymi, mówiącymi o rzeczywistych, termicznych obciążeniach organizmu. Badania B. Nielsen i innych (1988) dotyczyły osób ćwiczących na ergometrze, ubranych tylko w spodenki gimnastyczne, C.R. de Freitas i M.G. Ryken (1989) prowadzili zaś pomiary na osobach biegających w stroju gimnastycznym. Badania K. Błażejczyka i B. Krawczyk prowadzone były w różnych strefach klimatycznych i odnosiły się do człowieka ubranego w odzież letnią (o izolacji termicznej 1 clo), stojącego w pozycji spoczynkowej (Błażejczyk 1988, 1991; Błażejczyk, Krawczyk 1991; Krawczyk, Błażejczyk 1991).

K. Błażejczyk w swoich eksperymentach terenowych zajmował się różnymi aspektami bilansu cieplnego człowieka. Badał, między innymi, wpływ na bilans cieplny:

- 1) ekstremalnych warunków termicznych (Błażejczyk 1997, 2000a);
- 2) promieniowania słonecznego (Błażejczyk 1995, 1996, 1998a, b, 2000b; Błażejczyk i inni 1998, 2000b);
- 3) odzieży o różnej barwie i izolacyjności termicznej (Błażejczyk, Holmér 2000; Błażejczyk i inni 1999);
- 4) wysiłku fizycznego podczas aktywności turystycznej i rekreacyjnej (Błażejczyk 1997, 2002b; Błażejczyk i inni 2008; Błażejczyk, Kunert 2010).

Modele dostosowane do stacjonarnych warunków wymiany ciepła zakładają równoważenie się w cyklu dobowym zysków i strat ciepła z organizmu i służą do ogólnej oceny warunków bioklimatycznych. Równoważenie bilansu cieplnego następuje poprzez zmiany: temperatury skóry (Błażejczyk 1993; Budyko 1975; Burt i inni 1982 a,b,c; de Freitas 1985; Morgan, Baskett 1974), termoizolacyjności odzieży (Błażejczyk 1993; Budyko 1975; Hammer i inni 1986; Holmér 1988), poziomu aktywności fizycznej (Hammer i inni 1988) lub ilości potu parującego z powierzchni ciała (Ajzenštat 1973; Givoni 1976). Wartość wybranego czynnika równoważącego jest z reguły wskaźnikiem oceny termicznych warunków środowiska.

Część modeli była z powodzeniem wykorzystywana do przedstawiania przestrzennego zróżnicowania warunków bioklimatycznych. Z ważniejszych opracowań regionalnych należy wymienić atlasy bilansu cieplnego człowieka Azji Środkowej (Ajzenštat 1973) i Bułgarii (*Atlas kurortno...* 1971) i mapy rozkładu różnych wskaźników opartych na bilansie cieplnym człowieka, wykonane dla obszaru Stanów Zjednoczonych (Steadman 1979; Terjung 1966) oraz byłego ZSRR (Cicenکو 1967). Przykładami regionalnych opracowań bioklimatycznych są mapy obciążeń cieplnych człowieka na obszarze byłej RFN (Jendritzky 1990)

oraz mapa typów bioklimatu Polski wyznaczonych na podstawie izolacyjności termicznej odzieży, gwarantującej komfort cieplny (Krawczyk 1993, 2000). K. Błażejczyk (2004a) oraz K. Błażejczyk i A. Matzarakis (2007) scharakteryzowali cechy bilansu cieplnego człowieka w różnych regionach bioklimatycznych Polski. C. Endler i A. Matzarakis (2010) przedstawili zróżnicowanie warunków biotermicznych w południowych Niemczech, a A. Matzarakis i inni (2004) – na terenie Austrii.

Są także opracowania odnoszące się do skali lokalnej. Znaczna ich liczba dotyczy miast i obszarów zurbanizowanych, gdzie badano zróżnicowanie przestrzenne ilości pochłoniętego promieniowania słonecznego oraz obciążeń cieplnych człowieka (Błażejczyk 2002a; Burt i inni 1982b; Clarke, Bach 1971; Kozłowska-Szczęsna i inni 1996; Morgan, Baskett 1974; Terjung 1970). Zróżnicowanie bilansu cieplnego człowieka w naturalnych typach krajobrazu było badane: na pustyni Kyzylkum i w górach Kopet-dag (Abdumalikov 1974) oraz na północnym Kaukazie (Povolockaja 1975). W Polsce badaniami objęto: Beskidy i południowe wybrzeże Bałtyku (Krawczyk 1979, 1983, 1984), dolinę Wisły w okolicach Warszawy i Pojezierze Suwalskie (Błażejczyk 1988, 1990b, 1991, 1992b), fragment Puszczy Knyszyńskiej (Kozłowska-Szczęsna i inni 1995), Krasnobród na Roztoczu (Kozłowska-Szczęsna i inni 2001) oraz Tatry (Błażejczyk 1998a; Błażejczyk i Kunert 2010; Błażejczyk, Baranowski i inni 2010). A. Kunert (2010) opracowała mapy zróżnicowania wskaźnika *UTCI* na Nizinie Mazowieckiej, a K. Błażejczyk (2011) – na terenie Warszawy.

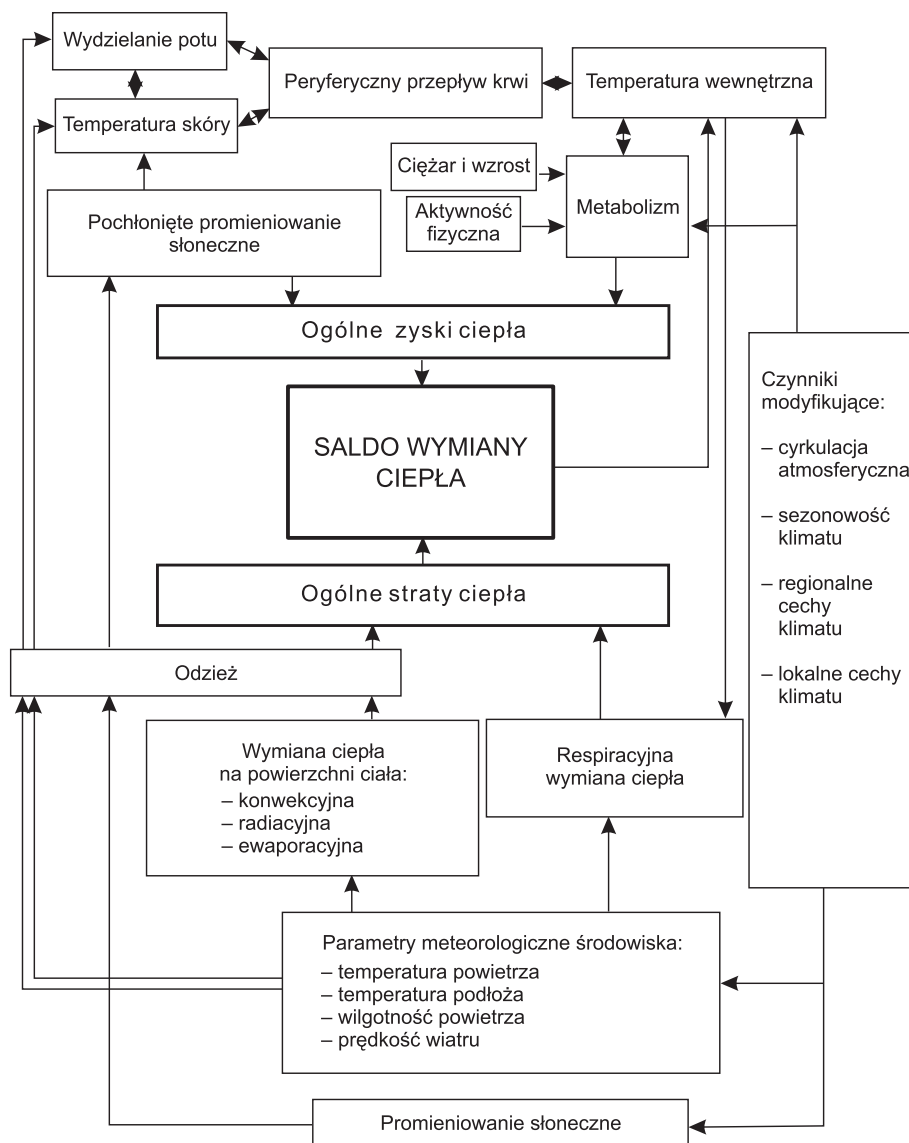
Opracowano również metody wydzielenia jednostek biotopoklimatycznych o jednorodnych cechach bilansu cieplnego człowieka. Metoda G. Menza (1990) – wykorzystująca „Klima-Michel-Modell” – pozwala na wyznaczenie typów terenu z charakterystyczną liczbą dni, podczas których może latem wystąpić niebezpieczeństwo przegrzania organizmu. W metodzie K. Błażejczyka (1988, 1990b, 1992b, 1993, 2002a) proponuje się wydzielenie biotopoklimatów na podstawie struktury zysków i strat ciepła z organizmu w warunkach stacjonarnych.

8.1.1. MENEX_2005 – kompleksowy model wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem

Wieloletnie badania eksperymentalne K. Błażejczyka doprowadziły do opracowania modelu MENEX_2005, za pomocą którego możliwa jest analiza bilansu cieplnego człowieka w terenie otwartym, w warunkach zarówno niestacjonarnych, jak i stacjonarnych. Model zawiera także opcję uproszczonego wyznaczania przybliżonych wartości charakterystyk bilansu cieplnego człowieka, która umożliwia szerokie jego zastosowanie w badaniach bioklimatycznych. Pierwotna wersja modelu, o nazwie MENEX, powstała w roku 1993 i była kilkakrotnie omawiana (Błażejczyk 1993, 1994a, b, 2001a, 2004a, 2007a). Ogólny schemat modelu MENEX_2005 przedstawia rycina 8.2.

W modelu uwzględniono zalecenia rekomendowane przez Międzynarodowe Towarzystwo Biometeorologii (ISB). Strumienie ciepła i inne charakterystyki bilansu cieplnego człowieka można obliczyć wykorzystując program Bio-

Klima@2.6, który jest dostępny na stronie internetowej: <http://www.igipz.pan.pl/geoekoklimat...>



Ryc. 8.2. Ogólny schemat modelu wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem – MENEX_2005

Fig. 8.2. General scheme of man-environment heat exchange model MENEX_2005

Źródło / Source: Błażejczyk (1994b).

Dane wejściowe w modelu MENEX_2005 składają się z zestawu elementów meteorologicznych panujących w otoczeniu człowieka (natężenie promieniowania słonecznego, zachmurzenie, temperatura i wilgotność powietrza, temperatura podłoża, prędkość wiatru), parametrów fizjologicznych (metaboliczna produkcja ciepła, temperatura skóry) oraz informacji o termoizolacyjnych właściwościach odzieży.

Dane wyjściowe dostarczają informacji na temat natężenia poszczególnych strumieni ciepła (Q , R , C , E , L , Res), salda wymiany ciepła (S), a także innych wielkości charakteryzujących bilans cieplny człowieka (ryzyko wychłodzenia i przegrzania organizmu – Oc_H , Oh_H , straty wody – SW , ryzyko odwodnienia – DhR). Do oceny natężenia czynników środowiskowych służy wskaźnik temperatury odczuwalnej (STI). Natężenie i kierunek reakcji fizjologicznych organizmu na czynniki środowiskowe charakteryzuje wskaźnik stresu termofizjologicznego (PhS). W wyniku tych reakcji kształtuje się temperatura odczuwana fizjologicznie (PST) oraz subiektywne odczucia cieplne. Każda z powyższych wielkości nie tylko jest wskaźnikiem biotermicznym, ale także mówi o rzeczywistych obciążeniach cieplnych człowieka.

Ogólne równanie bilansu cieplnego człowieka zastosowane w modelu MENEX_2005 ma następującą postać:

$$M + Q + E + C + Res = S \quad [8.1]$$

Rozwiązanie bilansu cieplnego człowieka odbywa się w dwóch etapach. W pierwszym określany jest bilans cieplny w momencie zetknięcia się organizmu z konkretnymi warunkami otoczenia. Wymiana ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem osiąga wtedy swój poziom podstawowy. Jednocześnie sytuacja ta uaktywnia określone reakcje fizjologiczne w organizmie, mające na celu dostosowanie wymiany ciepła do aktualnych warunków środowiskowych. Reakcje te prowadzą do zrównoważenia zysków ciepła i ich strat z organizmu i zachowania homeotermii. W zależności od warunków zewnętrznych i sprawności układu termoregulacyjnego, po około 10–20 minutach adaptacji ustala się wynikowy poziom parametrów fizjologicznych i procesów wymiany ciepła z otoczeniem, który będzie się utrzymywał do czasu istotnej zmiany warunków atmosferycznych w otoczeniu człowieka. Wartości wynikowe strumieni wymiany ciepła są obliczane w drugim etapie rozwiązywania modelu i służą do wyznaczenia różnych wartości wskaźnikowych opisujących oddziaływanie środowiska atmosferycznego na człowieka. Szczegółowe wzory poszczególnych składników modelu MENEX_2005 znajdują się w załączniku A.

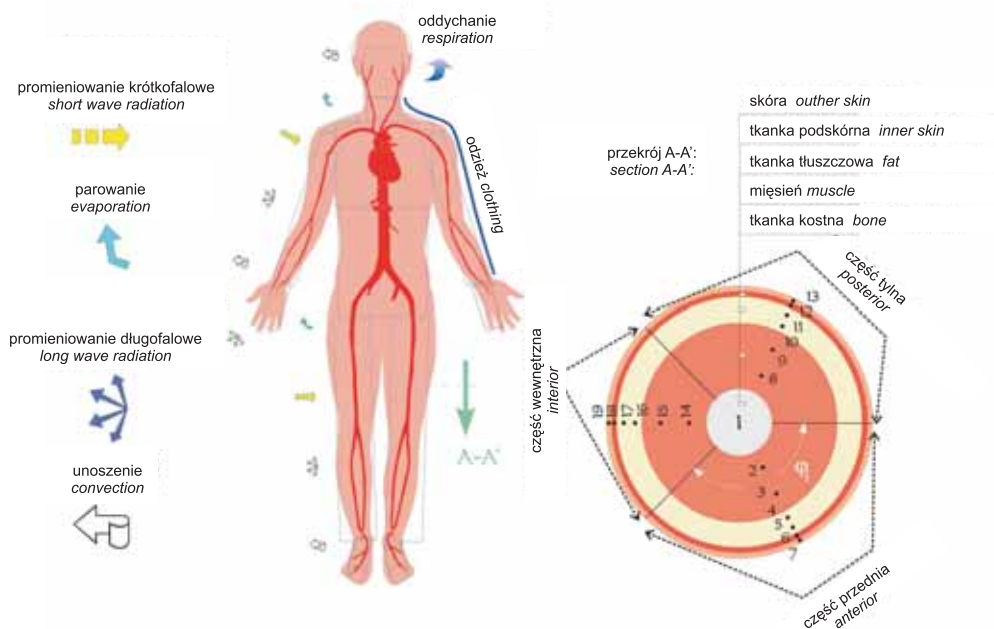
8.2. Modele wielowęzłowe bilansu cieplnego człowieka

W ostatnich 10 latach powstała nowa generacja modeli bilansu cieplnego człowieka, tzw. modele wielowęzłowe (*multi-node models*). Uwzględniają one zarówno

no wymianę ciepła z otoczeniem zachodzącą na powierzchni ciała (jak miało to miejsce w modelach prostych), jak i przepływy ciepła pomiędzy poszczególnymi warstwami organizmu (wnętrze, mięśnie, skóra) (Fiala i inni 1999, 2001, 2003, 2005; Huizenga i inni 2001; Tanabe i inni 2002). Parametry fizjologiczne (temperatura wewnętrzna, temperatura skóry, uwilgotnienie skóry, intensywność pocenia, drżenie mięśniowe) oraz natężenie przepływających strumieni ciepła są określone dla różnych warstw i różnych części ciała. Modele te mogą być wykorzystywane nie tylko do szczegółowej charakterystyki gospodarki cieplnej organizmu, ale także jako podstawa oceny obciążeń organizmu związanych z przebywaniem w różnych warunkach środowiskowych. W badaniach bioklimatycznych w Europie, w wyniku prac Akcji COST 730, jako podstawowy został przyjęty model Fiala.

8.2.1. Model Fiala

Model Fiala składa się z dwóch podsystemów regulacji wymiany ciepła: pasywnego i aktywnego. Podsystem pasywny uwzględnia fizyczne elementy transportu ciepła wewnątrz organizmu oraz na powierzchni ciała (ryc. 8.3). Jego składowymi są: krążenie krwi oraz produkcja ciepła, jego transport w organizmie i wymiana



Ryc. 8.3. Podsystem pasywny modelu Fiala; 1–19 – numery węzłów wymiany ciepła w obrębie uda

Fig. 8.3. Passive sub-system of Fiala model; 1–19 – numbers of nodes at thigh cross section

Źródło: Fiala i inni (1990). / Source: Fiala et al. (1999).

z otoczeniem. Obejmuje on także numeryczne algorytmy uwzględnionych procesów. Zastosowanie równań i szczegółowych algorytmów pozwala na obliczenie składników wymiany ciepła w sposób dynamiczny, określając ich wartości dla różnych, założonych kroków czasowych (od jednej do kilkudziesięciu minut). Podsystem pasywny rozpatruje przepływy ciepła w obrębie 19 różnych części ciała (głowa, twarz, szyja, barki, ramiona, przedramiona, dłonie, uda, łydki, stopy oraz górna i dolna część tułowia). Każda z tych części jest dodatkowo podzielona na 5 warstw (kość, mięsień, tkanka tłuszczowa i podskórna oraz skóra) i 2–3 segmenty (przedni, tylny i wewnętrzny). Każda z tych części ciała, jego warstwa i segment są reprezentowane przez jeden węzeł. Łącznie algorytmy opisują przepływy ciepła pomiędzy ponad 300 węzłami.

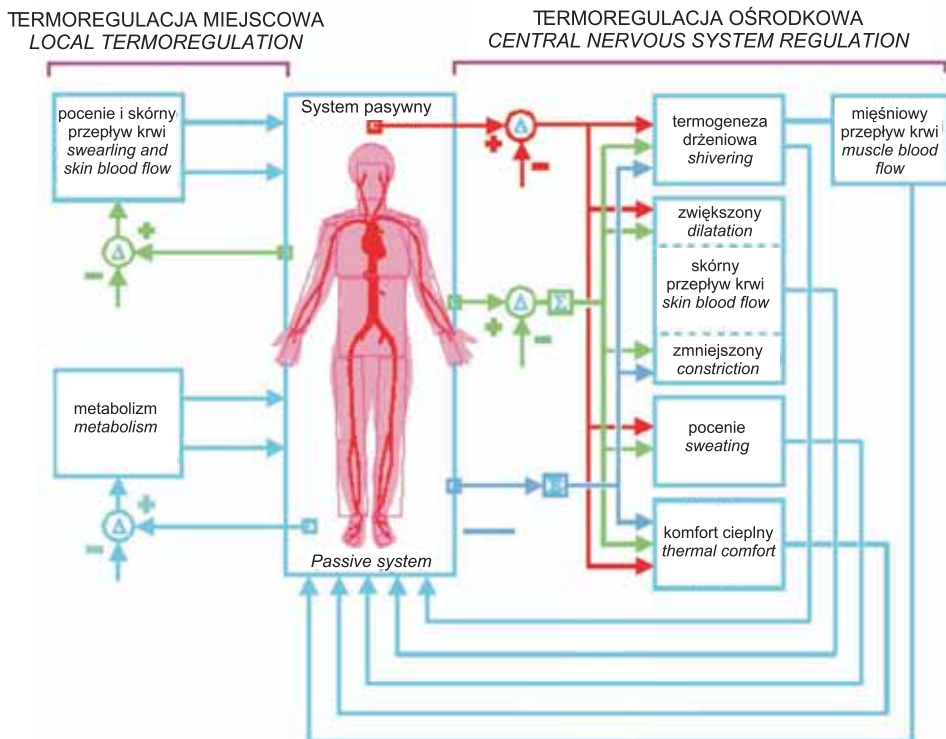
Drugi podsystem, tzw. aktywny, uwzględnia fizjologiczne mechanizmy termoregulacji i obejmuje:

- 1) skórę z rozmieszczonymi w niej gruczołami potowymi oraz receptorami ciepła i zimna;
- 2) system nerwowy przesyłający sygnały z termoreceptorów do mózgu;
- 3) podwzgórze, czyli centralny ośrodek termoregulacji w mózgu;
- 4) reakcje termoregulacyjne stymulowane przez podwzgórze, a mające na celu zachowanie komfortu cieplnego:
 - wydzielanie potu (maksymalnie około 1,5 litra w ciągu godziny, co w przypadku jego wyparowania pozwala na odprowadzenie 1000 W ciepła),
 - produkcję ciepła w wyniku tzw. termogenezy drżeniowej (*shivering thermogenesis* – maksymalnie 400 W), określanej niekiedy drżeniem mięśniowym,
 - zmiany tempa skórniego przepływu krwi: wzrost przepływu (*vasodilatation* – maksymalnie 3–4 litry w ciągu minuty), zahamowanie przepływu (*vasoconstriction* – przepływ dążący do zera).

Model uwzględnia aktywne, fizjologiczne procesy termoregulacji zmieniając wielkość strumieni ciepła zależnie od warunków otoczenia oraz aktywności fizycznej (ryc. 8.4).

Danymi wejściowymi do modelu są informacje meteorologiczne (temperatura powietrza, ciśnienie pary wodnej, prędkość wiatru oraz tzw. średnia temperatura promieniowania) i fizjologiczne (metaboliczna produkcja ciepła, albedo powierzchni ciała i odzieży, współczynnik emisyjności ciała i odzieży, izolacyjność termiczna i ewaporacyjna odzieży). Model dostarcza informacji o wielkości poszczególnych fizjologicznych parametrów organizmu (uwilgotnienie skóry, wydzielanie potu, skórny przepływ krwi, termogeneza drżeniowa, temperatura wewnętrzna, temperatura skóry w różnych częściach ciała) oraz strumieni ciepła (konwekcyjnego, radiacyjnego, ewaporacyjnego, respiracyjnego i kondukcyjnego).

Model został szczegółowo opisany w publikacjach D. Fiali i innych (1999, 2001, 2003) oraz A. Psikuty i innych (2011). Można w nich znaleźć informacje dotyczące parametryzacji zmiennych wejściowych oraz równania do obliczania składników bilansu cieplnego.



Ryc. 8.4. Podsystem aktywny modelu bilansu cieplnego człowieka Fiala

Fig. 8.4. Active sub-system of Fiala model

Źródło: Fiala i inni (1999). / Source: Fiala et al. (1999).

8.3. Przegląd wskaźników biotermicznych

Każdy z opracowanych modeli, zwłaszcza prostych, poza podstawowymi informacjami o wielkości wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem proponuje wskaźniki ilustrujące oddziaływanie środowiska atmosferycznego na człowieka oraz jego reakcji na bodźce zewnętrzne. Poniżej przedstawiono najczęściej stosowane wskaźniki.

Klasyczny, dwuwęzłowy model bilansu cieplnego A.P. Gaggego i inni (1971, 1986) proponuje wskaźnik Standardowej Temperatury Efektywnej (*SET* – *Standard Effective Temperature*, w °C). Definiuje się ją jako ekwiwalentną temperaturę powietrza środowiska izotermicznego o wilgotności względnej 50%, w której to temperaturze osoba ubrana adekwatnie do warunków i aktywności ma taką samą temperaturę skóry i jej uwilgotnienie jak w warunkach rzeczywistych. Wskaźnik *SET* był początkowo wykorzystywany do charakteryzowania środowiska pomieszczeń. J. Pickup i R. de Dear (2000) zaadaptowali sposób obliczania wskaźnika do warunków otwartych i nadali mu skrót *SET**.

Innym, klasycznym dla pomieszczeń modelem bilansu cieplnego jest model P.O. Fanger'a (1970). Jako wskaźnik oddziaływania środowiska atmosferycznego na człowieka proponuje on tzw. Przewidywaną Średnią Ocenę (*PMV – Predicted Mean Vote*). Jest to wskaźnik bezwymiarowy, o 7 punktach skali oceny (od -3 do +3), który określa „różnicę pomiędzy wewnętrzną produkcją ciepła i jego stratami u osoby, która w danych warunkach zachowuje komfortowy poziom temperatury skóry i wydzielania potu”. Wskaźnik *PMV* stosuje się powszechnie do oceny środowiska pracy.

W modelu MEMI (Höppe 1999) proponuje się wskaźnik Fizjologicznej Temperatury Ekwiwalentnej (*PET – Physiological Equivalent Temperature*, w °C). Jest ona definiowana jako „temperatura izotermicznego środowiska referencyjnego (bez wiatru i promieniowania słonecznego, o ciśnieniu pary wodnej 12 hPa), w której bilans cieplny człowieka utrzymuje temperaturę wewnętrzną i temperaturę skóry na takim samym poziomie jak w warunkach rzeczywistych”. *PET* jest często używany w badaniach klimatu miast i na potrzeby turystyki.

Klima-Michel-Model G. Jendritzky'ego (1990) powstał z połączenia modeli Fanger'a i Gagge'go. Wskaźnikiem na nim opartym jest Temperatura Odczuwalna (*PT – Perceived Temperature*, w °C). Określa temperaturę środowiska referencyjnego (bez wiatru i promieniowania słonecznego, o wilgotności względnej 50%), w której występują te same wartości *PMV* jak w warunkach rzeczywistych. *PT* jest stosowana w Niemieckiej Służbie Pogody do prognoz biometeorologicznych i zalecana przez Niemieckie Stowarzyszenie Inżynierów do różnych badań o charakterze bioklimatycznym (VDI 2008).

Aby obliczyć przedstawione powyżej wskaźniki należy rozwiązać dla konkretnej sytuacji pogodowej specyficzne dla nich równania bilansu cieplnego i zdefiniować poziom parametru fizjologicznego będącego podstawą wskaźnika. Następnie, metodą kolejnych przybliżeń poszukuje się takiej temperatury powietrza, która spełnia założone przez wskaźnik warunki i daje taki sam efekt fizjologiczny jak warunki rzeczywiste. Dlatego do obliczenia konkretnych wskaźników stosowane są specjalne programy komputerowe, które przyspieszają poszukiwanie odpowiedniego ekwiwalentu temperatury.

Na innych podstawach obliczane są wartości omówionych poniżej wskaźników opartych na modelu MENEX_2005.

8.3.1. Stres termofizjologiczny (*PhS*)

Bodźce atmosferyczne wywołują w organizmie różnorodne procesy dostosowawcze mające na celu zrównoważenie zysków i strat ciepła. Wskaźnik stresu termofizjologicznego (*PhS – Physiological Strain*, bez wymiaru) pozwala na określenie, jakie termoregulacyjne reakcje dostosowawcze organizmu występują w danych warunkach otoczenia. *PhS* jest stosunkiem strat ciepła z organizmu człowieka poprzez unoszenie (konwekcję) do strat ciepła w wyniku parowania potu (ewaporacji):

$$PhS = C / E$$

[8.2]

Wtedy gdy występuje względna równowaga konwekcyjnych i ewaporacyjnych strat ciepła ($0,75 < PhS < 1,5$), reakcje termoregulacyjne organizmu mają niewielką intensywność, a stan taki nazywany jest warunkami termoneutralnymi.

Gdy przeważają konwekcyjne straty ciepła ($PhS \geq 1,5$), występuje fizjologiczny stres zimna. Przejawia się on następującymi reakcjami organizmu (de Blanc 1975; Clark, Edholm 1985; Holmér 1988; ISO/DC 11079):

- obniżenie temperatury skóry,
- osłabienie przepływu krwi w obrębie mięśni i skóry,
- zwiększenie ciśnienia krwi,
- zwiększenie właściwości termoizolacyjnych skóry oraz
- drżenie mięśniowe w warunkach silnego i ekstremalnego stresu zimna.

Ogólnie można stwierdzić, że im wyższa jest wartość PhS , tym większe jest nasilenie stresu zimna i tym intensywniejsze są wymienione wyżej dostosowawcze reakcje organizmu do warunków otoczenia.

Stres gorąca występuje wtedy, gdy w wymianie ciepła z otoczeniem dominuje ewaporacja ($PhS \leq 0,75$). Stan taki prowadzi do:

- zwiększenia przepływu krwi w obrębie skóry,
- zmniejszenia ciśnienia krwi (Kenney 1985; Clark, Edholm 1985; Mitchell 1977),
- zwiększenia częstości tętna (Błażejczyk 2002b; Błażejczyk i inni 1999),
- intensywnego pocenia się, którego skutkiem może być odwodnienie organizmu (Beaumont, Bullard 1965).

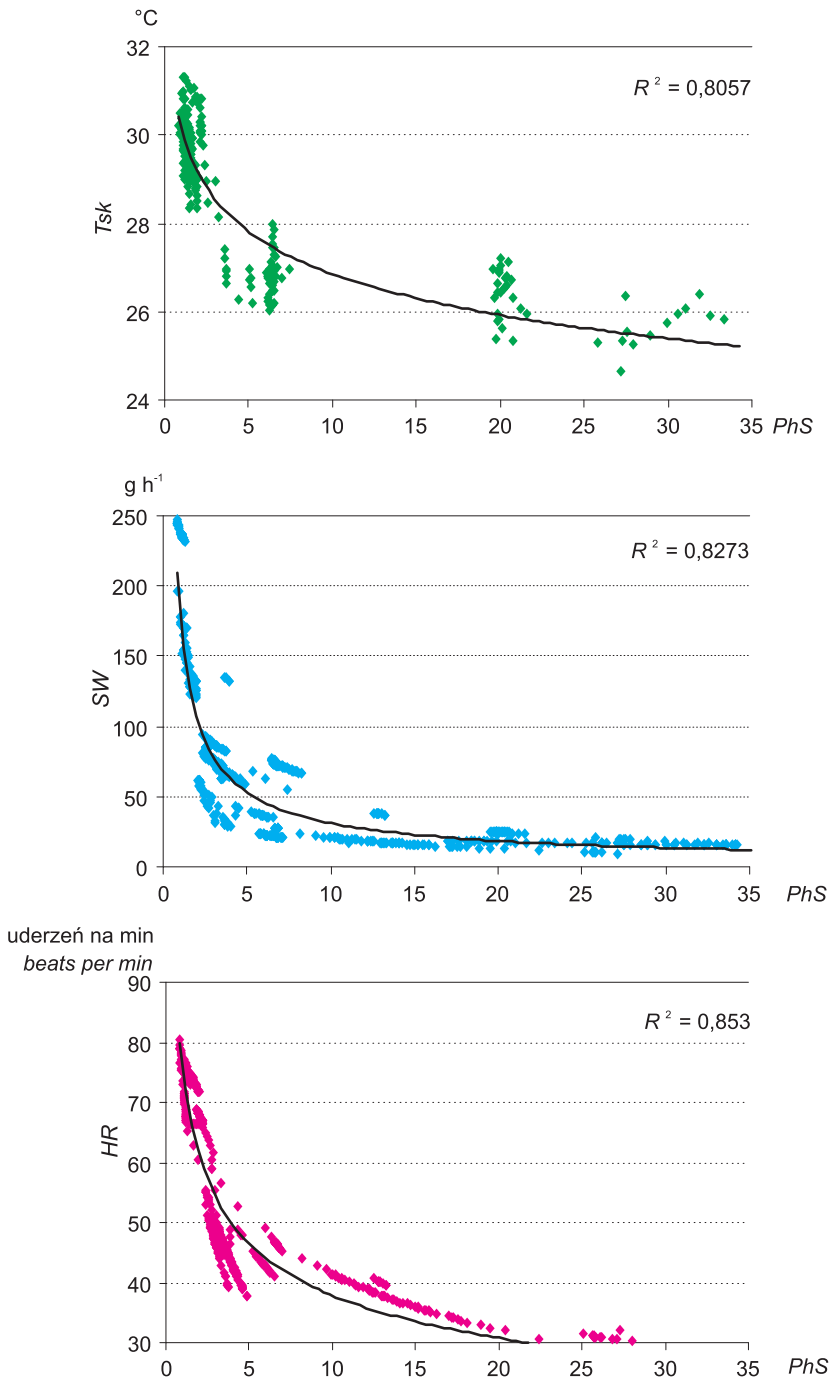
Stres gorąca przejawia się także okresowymi zmianami temperatury skóry – od bardzo wysokiej podczas nagrzewania się suchej skóry do niskiej podczas fazy pocenia się (Błażejczyk 1993, 1998a; Malchaire 1991). Im mniejsze jest PhS , tym większe natężenie stresu gorąca, a wymienione wyżej reakcje dostosowawcze organizmu stają się coraz intensywniejsze (ryc. 8.5).

Poszczególnym przedziałom PhS odpowiada następujące natężenie stresu termofizjologicznego:

PhS	Rodzaj i natężenie stresu
< 0,00	ekstremalny stres gorąca
0,00–0,25	duże natężenie stresu gorąca
0,26–0,75	znaczne natężenie stresu gorąca
0,76–1,50	warunki termoneutralne
1,51–4,00	znaczne natężenie stresu zimna
4,01–8,00	duże natężenie stresu zimna
> 8,00	ekstremalny stres zimna.

Powyższa skala nie ma charakteru wartościującego (oceniającego) warunki biotermiczne, a jedynie informuje o tym, z jakimi – i o jakim natężeniu – reakcjami dostosowawczymi organizmu do warunków otoczenia mamy do czynienia w danej sytuacji pogodowej.

Podczas dnia zimowego, przez całą dobę dominował stres zimna, a przez pierwszą połowę doby był to stres zimna o dużym natężeniu. Należało się wtedy liczyć z silnymi reakcjami dostosowawczymi organizmu, aż do wystąpienia drżenia

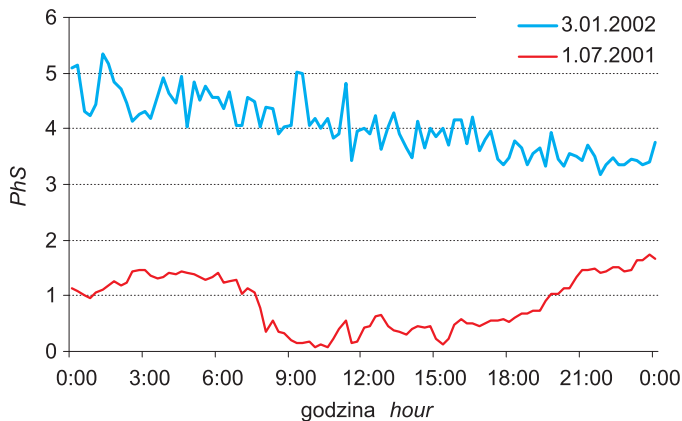


Ryc. 8.5. Intensywność reakcji fizjologicznych organizmu: temperatury skóry (T_{sk}), ilości wydzielonego potu (SW) i częstotliwości tętna (HR) przy różnych wartościach wskaźnika stresu termofizjologicznego (PhS)

Fig. 8.5. Intensity of physiological reactions of an organism: skin temperature (T_{sk}), sweat secretion (SW) and heart rate (HR) at various values of physiological strain index (PhS)

Badania własne. / Own data.

mięśniowego włącznie. W przykładowym dniu lipca wystąpił stres gorąca, który w godzinach przedpołudniowych odznaczał się dużym natężeniem. Latem, w godzinach nocnych występowały warunki termoneutralne, o niewielkim oddziaływaniu na układ termoregulacyjny (ryc. 8.6).



Ryc. 8.6. Wartości wskaźnika stresu termofizjologicznego (PhS) w wybranych dniach w Warszawie podczas spacerów z prędkością 4 km na godzinę
Fig. 8.6. Physiological strain (PhS) in Warsaw when walking with the speed of 4 km per hour

Badania własne. / Own data.

8.3.2. Temperatura odczuwana fizjologicznie (PST)

Bodźce termiczne otoczenia oddziałują na termoreceptory aktywując reakcje dostosowawcze organizmu (o kierunku i natężeniu tych reakcji informuje nas wskaźnik stresu termofizjologicznego – PhS). W wyniku reakcji receptorów ciepła i zimna na bodźce termiczne, docierające do nich z otoczenia i z wnętrza ciała, kształtuje się wokół powierzchni skóry temperatura odczuwana fizjologicznie (PST , °C), opisana poprzez różne odczucia cieplne człowieka. Podstawą wskaźnika PST jest wartość średniej temperatury promieniowania pod odzieżą ($iMrt$), w bezpośrednim otoczeniu receptorów ciepła i zimna znajdujących się w skórze. PST jest liczone następująco:

– dla $Sr < 0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$:

$$PST = iMrt - \left\{ \left[|Sr|^{0.75} / (0,95 \cdot 5,667 \cdot 10^{-8}) + 2734 \right]^{0.25} - 273 \right\} \quad [8.3]$$

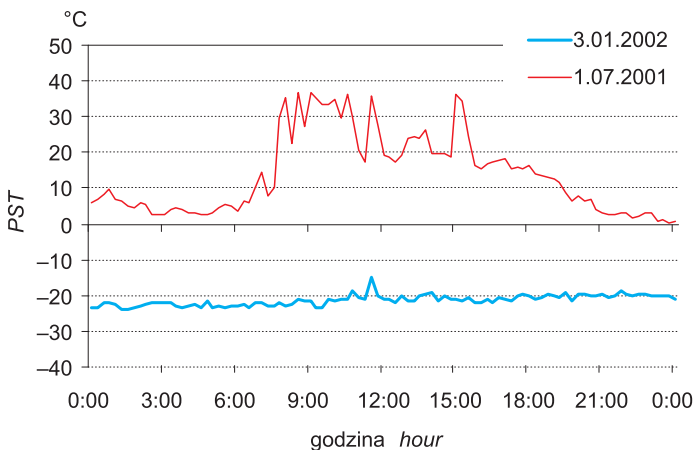
– dla $Sr \geq 0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$:

$$PST = iMrt + \left\{ \left[|Sr|^{0.75} / (0,95 \cdot 5,667 \cdot 10^{-8}) + 2734 \right]^{0.25} - 273 \right\} \quad [8.4]$$

Poszczególne zakresy *PST* ilustrują następujące odczucia ciepłne człowieka:

<i>PST</i> (°C)	Odczucie ciepłne człowieka
< -36,0	mroźnie
-36,0- -16,0	bardzo zimno
-15,9-4,0	zimno
4,1-14,0	chłodno
14,1-24,0	komfortowo
24,1-34,0	ciepło
34,1-44,0	gorąco
44,1-54,0	bardzo gorąco
> 54,0	upalnie.

W wybranym dniu zimowym wartości *PST* przez okres całej doby wskazywały na występowanie odczuć 'bardzo zimno'. Tylko około południa, gdy do człowieka docierało bezpośrednie promieniowanie słoneczne, wartości *PST* wzrosły nieznacznie do -14°C . W dniu letnim temperatura odczuwana fizjologicznie zmieniała się w zakresie od 2 do 34°C . W godzinach nocnych wartości *PST* wskazywały na odczucie 'chłodno'. W ciągu dnia, przy dopływie bezpośredniego promieniowania słonecznego oraz wysokiej temperaturze powietrza dominowały warunki 'ciepło'. Odczucia ciepłne 'komfortowo' wystąpiły tylko przez krótki czas w godzinach porannych oraz w godzinach południowych i popołudniowych (podczas zasłonięcia tarczy słonecznej przez chmury) (ryc. 8.7).



Ryc. 8.7. Wartości temperatury odczuwanej fizjologicznie (*PST*) w wybranych dniach w Warszawie podczas spacerów z prędkością 4 km na godzinę

Fig. 8.7. Physiological subjective temperature (*PST*) in Warsaw when walking with the speed of 4 km per hour

Badania własne. / Own data.

8.3.3. Straty wody (SW)

Aby człowiek przebywając w terenie otwartym nie uległ odwodnieniu, ważne jest dostarczanie odpowiedniej ilości wody, uzupełniającej jej ubytek na skutek pocenia się (por. rozdz. 6). Należy przypomnieć, że gruczoły potowe uaktywniane są w warunkach wysokiej temperatury otoczenia i/lub zwiększonej aktywności fizycznej. Straty wody z organizmu (SW, w g·godz⁻¹) liczy się według wzoru:

$$SW = -2,6 \cdot Epot \quad [8.5]$$

gdzie *Epot* jest potencjalną wielkością strat ciepła na parowanie w aktualnych warunkach termicznych, radiacyjnych i wietrznych oraz przy danej aktywności fizycznej przy założeniu 5% wilgotności względnej powietrza. *Epot* liczy się według wzoru:

$$Epot = he \cdot [6,112 \cdot 10^{[7,5 \cdot t / (237,7 + t)]} \cdot 0,05 - vpsk] \cdot w \cdot Ie - [0,42 \cdot (M - 58) - 5,04] \quad [8.6]$$

Wartość SW wskazuje, ile wody należy dostarczyć do organizmu, aby uchronić go przed odwodnieniem. Wskaźnik jest szczególnie przydatny w przypadku aktywnej rekreacji i turystyki pieszej uprawianej w wysokiej temperaturze otoczenia. Stopień narażenia organizmu na odwodnienie (*DhR*, *Dehydration Risk*) jest zależny od stopnia zaaklimatyzowania i stanu aktywności fizycznej człowieka. Zgodnie z normą ISO/DIS 7933 można wyróżnić 2 stopnie ryzyka odwodnienia: prawdopodobny i pewny. W zależności od stopnia zaaklimatyzowania kolejne stopnie ryzyka odwodnienia pojawiają się przy następujących wartościach SW:

osoby zaaklimatyzowane:

- odwodnienie prawdopodobne $780 < SW < 1040 \text{ g} \cdot \text{godz}^{-1}$,
- odwodnienie pewne $SW > 1040 \text{ g} \cdot \text{godz}^{-1}$;

osoby niezaaklimatyzowane:

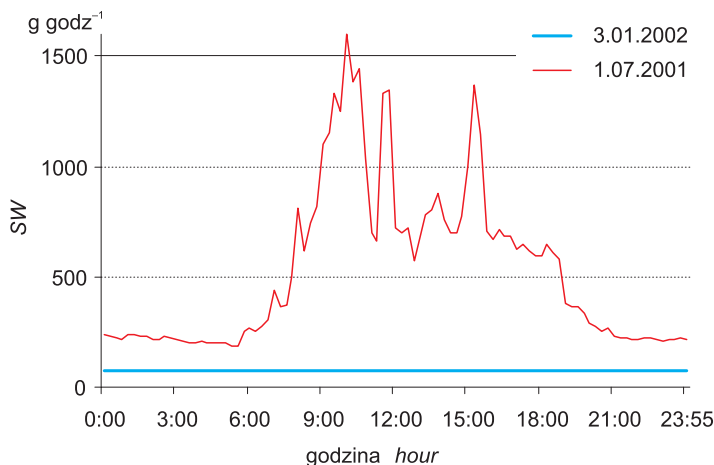
- odwodnienie prawdopodobne $520 < SW < 650 \text{ g} \cdot \text{godz}^{-1}$,
- odwodnienie pewne $SW > 650 \text{ g} \cdot \text{godz}^{-1}$.

W analizowanym dniu letnim SW przekraczały od rana do wieczora wartość wskazującą na prawdopodobne odwodnienie u osób niezaaklimatyzowanych (520 g·godz⁻¹). Przez kilka godzin straty wody przekraczały nawet 1040 g·godz⁻¹, co mówi o wystąpieniu 2 stopnia ryzyka odwodnienia nawet u osób zaaklimatyzowanych. W dniu zimowym straty wody były nieznaczne – około 70 gramów w ciągu godziny (ryc. 8.8).

8.3.4. Ryzyko wychłodzenia lub przegrzania organizmu

Wiele form aktywności rekreacyjnej i turystycznej wiąże się z długotrwałym przebywaniem w terenie otwartym. Ważne w takim przypadku jest stwierdzenie, jak długo można przebywać w danych warunkach otoczenia i przy danej aktywności bez ryzyka wychłodzenia lub przegrzania organizmu. Dotyczy to

zwłaszcza ekstremalnych warunków termicznych lub/i ekstremalnego wysiłku fizycznego. Znając saldo wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem i otoczeniem można taki bezpieczny czas przebywania obliczyć.



Ryc. 8.8. Straty wody z organizmu (SW) w wybranych dniach w Warszawie podczas spacerów z prędkością 4 km na godzinę

Fig. 8.8. Water loss (SW) in Warsaw when walking with the speed of 4 km per hour
Badania własne. / Own data.

8.3.4.1. Ryzyko wychłodzenia organizmu

J.D. Hardy (1965) stwierdził, że gdy temperatura wewnętrzna człowieka spada poniżej 35°C zdolność termoregulacji fizjologicznej jest ograniczona, a od 31°C mamy do czynienia z utratą zdolności termoregulacji fizjologicznej. Duże ryzyko hipotermii (wychłodzenia) pojawia się przy temperaturze wewnętrznej około 25°C, a przy temperaturze wewnętrznej niższej od 25°C przypadki przeżycia są sporadyczne. Aby mogło dojść do schłodzenia ciała do 31°C musi nastąpić ubytek ciepła równy 1800 kJ, a w przypadku 25°C – 3600 kJ.

Znając podstawową (S) i wynikową wartość salda wymiany ciepła (Sr) można obliczyć 2 poziomy ryzyka wychłodzenia, określające czas (w minutach):

1) bezpiecznego przebywania w danych warunkach atmosferycznych bez ryzyka utraty zdolności termoregulacji fizjologicznej (*Oc_W* – *Overcooling Warning*)

– dla $Sr < 0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$:

$$Oc_W = [(1800 \text{ 000} - 1920 \cdot |S|) / (1,6 \cdot |Sr|)] / 60 \quad [8.7]$$

2) po którym może wystąpić hipotermia (*Oc_H* – *Hypothermia Risk*)

– dla $Sr < 0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$:

$$Oc_H = 2 \cdot [(1800 \text{ 000} - 1920 \cdot |S|) / (1,6 \cdot |Sr|)] / 60 \quad [8.8]$$

Tabela 8.1. Czas (min), po którym pojawia się ryzyko przegrzania lub wychłodzenia (Oh_W , Oc_W) oraz następuje przegrzanie lub wychłodzenie organizmu (Oh_H , Oc_H) w wybranych dniach w Warszawie, podczas spacerów z prędkością 4 km na godzinę

Table 8.1. Time (min) after which can occur overheating or overcooling warning (Oh_W , Oc_W) and time of overheating/overcooling hazard (Oh_H , Oc_H) in selected days in Warsaw during walking with the speed 4 km per hour

Godz. Hour	3 stycznia 2002 3 January 2002		1 lipca 2001 1 July 2001			
	Oc_W	Oc_H	Oh_W	Oh_H	Oc_W	Oc_H
0:00	836	1 673	.	.	548	1 095
1:00	857	1 714	.	.	557	1 114
2:00	875	1 750	.	.	613	1 226
3:00	852	1 704	.	.	608	1 217
4:00	884	1 769	.	.	602	1 205
5:00	898	1 797	.	.	620	1 239
6:00	893	1 787	.	.	663	1 327
7:00	819	1 638	789	1 577	.	.
8:00	883	1 766	88	175	.	.
9:00	877	1 754	80	160	.	.
10:00	895	1 790	85	171	.	.
11:00	862	1 725	748	1 495	.	.
12:00	851	1 702	604	1 207	.	.
13:00	837	1 674	327	653	.	.
14:00	707	1 413	434	869	.	.
15:00	757	1 514	80	160	.	.
16:00	829	1 657	1 048	2 096	.	.
17:00	753	1 507	.	.	5 121	10 242
18:00	662	1 325	.	.	2 610	5 219
19:00	685	1 370	.	.	1 009	2 019
20:00	651	1 301	.	.	602	1 205
21:00	647	1 294	.	.	602	1 203
22:00	623	1 246	.	.	608	1 216
23:00	652	1 305	.	.	650	1 301
0:00	744	1 488	.	.	617	1 234

Badania własne. / Own data.

8.3.4.2. Ryzyko przegrzania organizmu

W cytowanych wyżej badaniach J.D. Hardy'ego (1965) podaje się także, że przy temperaturze wewnętrznej około 40°C następują zaburzenia termoregulacji, a przy 43°C pojawia się ryzyko udaru cieplnego i hipertermii. Sytuacja taka ma miejsce, gdy w organizmie zostanie zakumulowane odpowiednio 900 i 1800 kJ ciepła.

Znając podstawową (S) i wynikową wartość salda wymiany ciepła (S_r) można obliczyć 2 poziomy ryzyka przegrzania określające czas (w minutach):

1) bezpiecznego przebywania w danych warunkach atmosferycznych bez większych zaburzeń termoregulacji fizjologicznej (Oh_W – *Overheating Warning*):

$$\begin{aligned} & \text{– dla } S_r \geq 0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}: \\ & Oh_W = [(900\ 000 - 1920 \cdot |S|) / (1,6 \cdot |S_r|)] / 60 \end{aligned} \quad [8.9]$$

2) po którym może wystąpić hipertermia (Oh_H – *Hyperthermia Risk*):

$$\begin{aligned} & \text{– dla } S_r \geq 0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}: \\ & Oh_H = 2 \cdot [(900\ 000 - 1920 \cdot |S|) / (1,6 \cdot |S_r|)] / 60 \end{aligned} \quad [8.10]$$

8.3.5. Uniwersalny wskaźnik obciążeń cieplnych ($UTCI$)

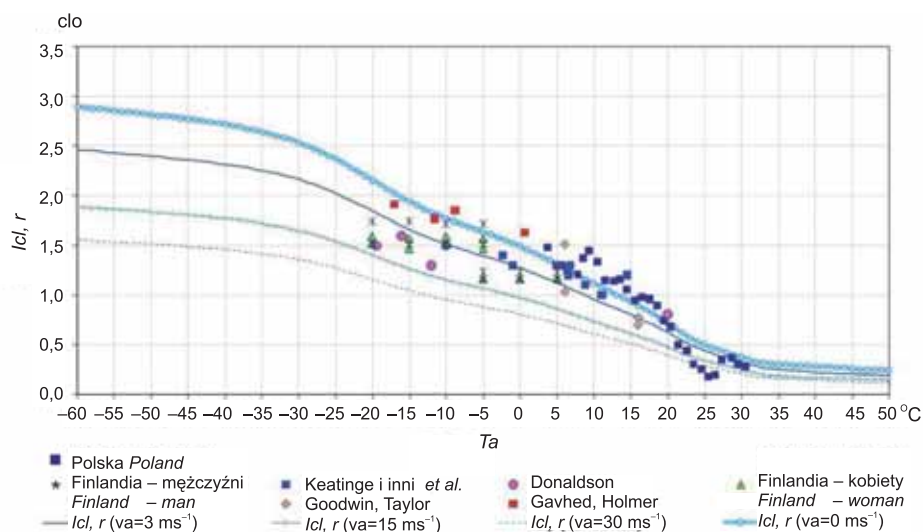
Wskaźnik $UTCI$ jest wynikiem kilkuletniej pracy interdyscyplinarnego zespołu badawczego działającego w ramach europejskiego programu COST 730. Uczestniczyli w niej naukowcy z 18 krajów europejskich oraz Izraela, Kanady, Australii i Nowej Zelandii. Z Polski w skład zespołu weszli: prof. Krzysztof Błażejczyk i mgr Anna Kunert z IGiPZ PAN oraz mgr Barbara Wojtach z IMGW. Akcja COST 730 zakończyła się w roku 2009.

Wskaźnik $UTCI$ jest definiowany jako ekwiwalentna temperatura powietrza, przy której w warunkach referencyjnych podstawowe parametry fizjologiczne organizmu przyjmują takie same wartości jak w warunkach rzeczywistych (Błażejczyk, Broede i inni 2010). Mówiąc inaczej zakłada się, że wymiana ciepła między człowiekiem a otoczeniem zależy tylko od temperatury powietrza (t), przy stałym poziomie pozostałych parametrów meteorologicznych. Aby określić taką właśnie temperaturę powietrza, trzeba w pierwszej kolejności obliczyć bilans cieplny człowieka w warunkach rzeczywistych. Następnie przyjmując stałe warunki referencyjne należy metodą kolejnych przybliżeń znaleźć taką temperaturę powietrza, przy której parametry fizjologiczne przyjmą takie same wartości jak w warunkach rzeczywistych. Jako referencyjne warunki meteorologiczne przyjęto:

- średnią temperaturę promieniowania (Mrt) równą temperaturze powietrza (brak promieniowania słonecznego i ciepłego),
- prędkość wiatru na wysokości 10 m nad gruntem (v_{10}), równą $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,
- względną prędkość ruchu powietrza (v') związaną z poruszaniem się, równą $1,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,
- ciśnienie pary wodnej (vp) odpowiadające 50% wilgotności względnej (przy temperaturze $<29^\circ\text{C}$) i równe 20 hPa przy temperaturze wyższej od 29°C .

Przyjęto także stałe parametry fizjologiczne:

- metaboliczną produkcję ciepła (M) równą $135 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (co odpowiada marszowi z prędkością 4 km na godzinę),
- izolacyjność termiczną odzieży (I_{cl}) proporcjonalną do rzeczywistych warunków termicznych i wietrznych (ryc. 8.9).



Ryc. 8.9. Wynikowa izolacyjność termiczna odzieży ($I_{cl, r}$) według różnych badań oraz według przyjętego modelu jako funkcja temperatury otoczenia (T_a) i prędkości wiatru (v_a)

Fig. 8.9. Resultant thermal insulation of clothing ($I_{cl, r}$) due to different authors and new developed clothing model as a function of ambient temperature (T_a) and wind speed (v_a)

Źródło: Błażejczyk i inni (2010). / Source: Błażejczyk et al. (2010).

Przyjęto 7 parametrów fizjologicznych, istotnych dla prawidłowego funkcjonowania gospodarki cieplnej organizmu, dla których poszukiwano ekwiwalentnej temperatury $UTCI$. Poziom każdego z nich rozpatrywano po krótkiej (30 minut)

Tabela 8.2. Parametry fizjologiczne uwzględnione przy tworzeniu wskaźnika $UTCI$

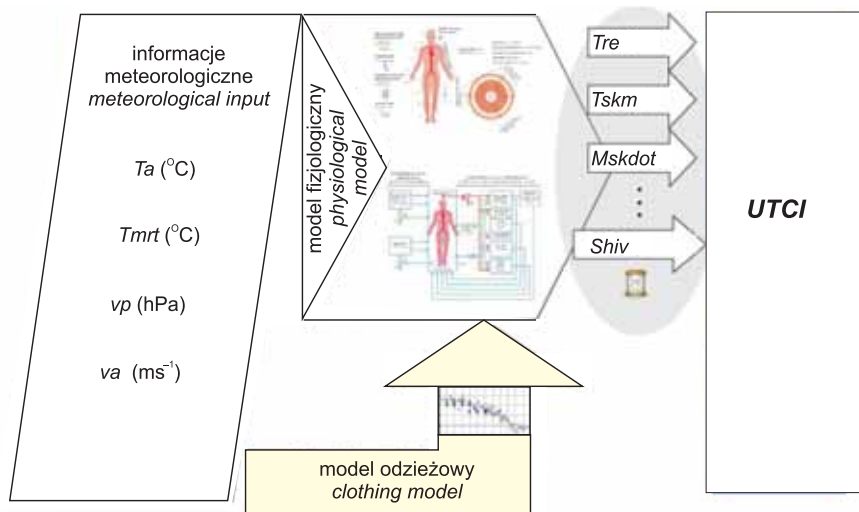
Table 8.2. Physiological parameters applied in $UTCI$

Parametr fizjologiczny <i>Physiological parameter</i>	Symbol	Wymiar <i>Unit</i>
Temperatura rektalna <i>Rectal temperature</i>	T_{re}	°C
Średnia temperatura skóry <i>Mean skin temperature</i>	T_{skm}	°C
Temperatura skóry twarzy <i>Face skin temperature</i>	T_{skfc}	°C
Wydzielanie potu <i>Sweating</i>	M_{skdot}	$g \cdot min^{-1}$
Ciepło wytworzone w termogenezie drżeniowej <i>Shivering thermogenesis</i>	$Shiv$	W
Uwilgotnienie skóry <i>Skin wettedness</i>	W_{etA}	% powierzchni ciała % of body area
Skórny przepływ krwi <i>Skin blood flow</i>	V_{blSk}	% wartości podstawowej % of basic value

Źródło: Błażejczyk, Broede i inni (2010). / Source: Błażejczyk, Broede et al. (2010).

i długiej (120 min) ekspozycji (tab. 8.2). Parametry te były obliczane za pomocą wielowęzłowego modelu bilansu cieplnego człowieka Fiali (por. rozdz. 8.2.1).

Istotną cechą wskaźnika *UTCI* jest zastąpienie wielowymiarowych informacji wejściowych (t , Mrt , v_{10} , vp , v' , M) i wyjściowych (Tre , $Tskm$, $Tskfc$, $Mskdot$, $Shiv$, $WettA$, $VblSk$) modelu Fiali – jednowymiarową wartością (wyrażoną w stopniach Celsjusza), która zawiera podobny ładunek informacji o procesach fizjologicznych istotnych z punktu widzenia funkcjonowania organizmu człowieka w zmieniających się warunkach termicznych (ryc. 8.10).



Ryc. 8.10. Koncepcja przejścia od wielowymiarowego pola informacji meteorologiczno-fizjologicznej do jednowymiarowego wskaźnika *UTCI*;

Ta – temperatura powietrza, $Tmrt$ – średnia temperatura promieniowania, vp – ciśnienie pary wodnej, va – prędkość wiatru

Fig. 8.10. Concept of transient from multi-dimensional meteorological and physiological information to one-dimensional *UTCI*;

Ta – air temperature, $Tmrt$ – mean radiant temperature, vp – vapour pressure, va – wind speed

Źródło: Błażejczyk, Broede i inni (2010). / Source: Błażejczyk, Broede et al. (2010).

Pełny sposób wyznaczenia wartości *UTCI* polega na wielokrotnym obliczaniu bilansu cieplnego człowieka. Jest to zadanie bardzo czasochłonne, szczególnie w przypadku dużych zbiorów danych meteorologicznych. Dlatego zdecydowano się na utworzenie modelu regresyjnego pozwalającego na szybkie określenie wartości *UTCI* w stosunkowo krótkim czasie i z dostatecznie dużą dokładnością. Wykorzystano w tym funkcję wielomianową 6 stopnia:

$$UTCI = f(t, vp, v_{10}, tm) \quad [8.11]$$

gdzie tm jest różnicą pomiędzy średnią temperaturą promieniowania a temperaturą powietrza (°C).

Samo równanie regresji składa się z 211 członów (tab. 8.3). Przygotowano prosty w obsłudze program działający w środowisku DOS oraz arkusz kalkulacyjny EXCEL. Algorytmy liczące *UTCI* są także zaimplementowane do programu BioKlima©2.6, działającego w środowisku WINDOWS.

W odróżnieniu od większości dotychczas stosowanych wskaźników biotermicznych, które są dostosowane do oceny tzw. odczuć cieplnych człowieka, wskaźnik *UTCI* opiera się na obiektywnych zmianach parametrów fizjologicznych organizmu, zachodzących pod wpływem warunków środowiskowych. Wartości wskaźnika *UTCI* są zatem miarą obciążeń cieplnych organizmu (tab. 8.4).

Poszczególne progi *UTCI* są wyznaczone na podstawie istotnych zmian parametrów fizjologicznych. W zakresie warunków ciepła najistotniejszy jest poziom temperatury skóry i temperatury wewnętrznej oraz tempo wydzielania potu. W warunkach zimna najważniejszymi parametrami fizjologicznymi są zmiany temperatury ciała, zwłaszcza dłoni i twarzy, oraz proces termogenezy drzewiowej (tab. 8.5).

Tabela 8.3. Współczynniki równania regresji do wyznaczenia wskaźnika *UTCI* ($UTCI = t + \text{Offset}$)

Table 8.3. Coefficients of regression equation for calculating *UTCI*

Wyrażenie Expression	Współczynnik Coefficient	Wyrażenie Expression	Współczynnik Coefficient
Stała	6.07562052E-01	$tm \cdot Pa$	-3.69476348E-02
t	-2.27712343E-02	$t \cdot tm \cdot Pa$	1.62325322E-03
t^2	8.06470249E-04	$t^2 \cdot tm \cdot Pa$	-3.14279680E-05
t^3	-1.54271372E-04	$t^3 \cdot tm \cdot Pa$	2.59835559E-06
t^4	-3.24651735E-06	$t^4 \cdot tm \cdot Pa$	-4.77136523E-08
t^5	7.32602852E-08	$v_{10} \cdot tm \cdot Pa$	8.64203390E-03
t^6	1.35959073E-09	$t \cdot v_{10} \cdot tm \cdot Pa$	-6.87405181E-04
v_{10}	-2.25836520E+00	$t^2 \cdot v_{10} \cdot tm \cdot Pa$	-9.13863872E-06
$t \cdot v_{10}$	8.80326035E-02	$t^3 \cdot v_{10} \cdot tm \cdot Pa$	5.15916806E-07
$t^2 \cdot v_{10}$	2.16844454E-03	$v_{10}^2 \cdot tm \cdot Pa$	-3.59217476E-05
$t^3 \cdot v_{10}$	-1.53347087E-05	$t \cdot v_{10}^2 \cdot tm \cdot Pa$	3.28696511E-05
$t^4 \cdot v_{10}$	-5.72983704E-07	$t^2 \cdot v_{10}^2 \cdot tm \cdot Pa$	-7.10542454E-07
$t^5 \cdot v_{10}$	-2.55090145E-09	$v_{10}^3 \cdot tm \cdot Pa$	-1.24382300E-05
v_{10}^2	-7.51269505E-01	$t \cdot v_{10}^3 \cdot tm \cdot Pa$	-7.38584400E-09
$t \cdot v_{10}^2$	-4.08350271E-03	$v_{10}^4 \cdot tm \cdot Pa$	2.20609296E-07
$t^2 \cdot v_{10}^2$	-5.21670675E-05	$tm^2 \cdot Pa$	-7.32469180E-04
$t^3 \cdot v_{10}^2$	1.94544667E-06	$t \cdot tm^2 \cdot Pa$	-1.87381964E-05
$t^4 \cdot v_{10}^2$	1.14099531E-08	$t^2 \cdot tm^2 \cdot Pa$	4.80925239E-06
v_{10}^3	1.58137256E-01	$t^3 \cdot tm^2 \cdot Pa$	-8.75492040E-08
$t \cdot v_{10}^3$	-6.57263143E-05	$v_{10} \cdot tm^2 \cdot Pa$	2.77862930E-05
$t^2 \cdot v_{10}^3$	2.22697524E-07	$t \cdot v_{10} \cdot tm^2 \cdot Pa$	-5.06004592E-06
$t^3 \cdot v_{10}^3$	-4.16117031E-08	$t^2 \cdot v_{10} \cdot tm^2 \cdot Pa$	1.14325367E-07
v_{10}^4	-1.27762753E-02	$v_{10}^2 \cdot tm^2 \cdot Pa$	2.53016723E-06
$t \cdot v_{10}^4$	9.66891875E-06	$t \cdot v_{10}^2 \cdot tm^2 \cdot Pa$	-1.72857035E-08
$t^2 \cdot v_{10}^4$	2.52785852E-09	$v_{10}^3 \cdot tm^2 \cdot Pa$	-3.95079398E-08

Wyrażenie Expression	Współczynnik Coefficient	Wyrażenie Expression	Współczynnik Coefficient
v_{10}^5	4.56306672E-04	$tm^3 \cdot Pa$	-3.59413173E-07
$t \cdot v_{10}^5$	-1.74202546E-07	$t \cdot tm^3 \cdot Pa$	7.04388046E-07
v_{10}^6	-5.91491269E-06	$t^2 \cdot tm^3 \cdot Pa$	-1.89309167E-08
tm	3.98374029E-01	$v_{10} \cdot tm^3 \cdot Pa$	-4.79768731E-07
$t \cdot tm$	1.83945314E-04	$t \cdot v_{10} \cdot tm^3 \cdot Pa$	7.96079978E-09
$t^2 \cdot tm$	-1.73754510E-04	$v_{10}^2 \cdot tm^3 \cdot Pa$	1.62897058E-09
$t^3 \cdot tm$	-7.60781159E-07	$tm^4 \cdot Pa$	3.94367674E-08
$t^4 \cdot tm$	3.77830287E-08	$t \cdot tm^4 \cdot Pa$	-1.18566247E-09
$t^5 \cdot tm$	5.43079673E-10	$v_{10} \cdot tm^4 \cdot Pa$	3.34678041E-10
$v_{10} \cdot tm$	-2.00518269E-02	$tm^5 \cdot Pa$	-1.15606447E-10
$t \cdot v_{10} \cdot tm$	8.92859837E-04	Pa^2	-2.80626406E+00
$t^2 \cdot v_{10} \cdot tm$	3.45433048E-06	$t \cdot Pa^2$	5.48712484E-01
$t^3 \cdot v_{10} \cdot tm$	-3.77925774E-07	$t^2 \cdot Pa^2$	-3.99428410E-03
$t^4 \cdot v_{10} \cdot tm$	-1.69699377E-09	$t^3 \cdot Pa^2$	-9.54009191E-04
$v_{10}^2 \cdot tm$	1.69992415E-04	$t^4 \cdot Pa^2$	1.93090978E-05
$t \cdot v_{10}^2 \cdot tm$	-4.99204314E-05	$v_{10} \cdot Pa^2$	-3.08806365E-01
$t^2 \cdot v_{10}^2 \cdot tm$	2.47417178E-07	$t \cdot v_{10} \cdot Pa^2$	1.16952364E-02
$t^3 \cdot v_{10}^2 \cdot tm$	1.07596466E-08	$t^2 \cdot v_{10} \cdot Pa^2$	4.95271903E-04
$v_{10}^3 \cdot tm$	8.49242932E-05	$t^3 \cdot v_{10} \cdot Pa^2$	-1.90710882E-05
$t \cdot v_{10}^3 \cdot tm$	1.35191328E-06	$v_{10}^2 \cdot Pa^2$	2.10787756E-03
$t^2 \cdot v_{10}^3 \cdot tm$	-6.21531254E-09	$t \cdot v_{10}^2 \cdot Pa^2$	-6.98445738E-04
$v_{10}^4 \cdot tm$	-4.99410301E-06	$t^2 \cdot v_{10}^2 \cdot Pa^2$	2.30109073E-05
$t \cdot v_{10}^4 \cdot tm$	-1.89489258E-08	$v_{10}^3 \cdot Pa^2$	4.17856590E-04
$v_{10}^5 \cdot tm$	8.15300114E-08	$t \cdot v_{10}^3 \cdot Pa^2$	-1.27043871E-05
tm^2	7.55043090E-04	$v_{10}^4 \cdot Pa^2$	-3.04620472E-06
$t \cdot tm^2$	-5.65095215E-05	$tm \cdot Pa^2$	5.14507424E-02
$t^2 \cdot tm^2$	-4.52166564E-07	$t \cdot tm \cdot Pa^2$	-4.32510997E-03
$t^3 \cdot tm^2$	2.46688878E-08	$t^2 \cdot tm \cdot Pa^2$	8.99281156E-05
$t^4 \cdot tm^2$	2.42674348E-10	$t^3 \cdot tm \cdot Pa^2$	-7.14663943E-07
$v_{10} \cdot tm^2$	1.54547250E-04	$v_{10} \cdot tm \cdot Pa^2$	-2.66016305E-04
$t \cdot v_{10} \cdot tm^2$	5.24110970E-06	$t \cdot v_{10} \cdot tm \cdot Pa^2$	2.63789586E-04
$t^2 \cdot v_{10} \cdot tm^2$	-8.75874982E-08	$t^2 \cdot v_{10} \cdot tm \cdot Pa^2$	-7.01199003E-06
$t^3 \cdot v_{10} \cdot tm^2$	-1.50743064E-09	$v_{10}^2 \cdot tm \cdot Pa^2$	-1.06823306E-04
$v_{10}^2 \cdot tm^2$	-1.56236307E-05	$t \cdot v_{10}^2 \cdot tm \cdot Pa^2$	3.61341136E-06
$t \cdot v_{10}^2 \cdot tm^2$	-1.33895614E-07	$v_{10}^3 \cdot tm \cdot Pa^2$	2.29748967E-07
$t^2 \cdot v_{10}^2 \cdot tm^2$	2.49709824E-09	$tm^2 \cdot Pa^2$	3.04788893E-04
$v_{10}^3 \cdot tm^2$	6.51711721E-07	$t \cdot tm^2 \cdot Pa^2$	-6.42070836E-05
$t \cdot v_{10}^3 \cdot tm^2$	1.94960053E-09	$t^2 \cdot tm^2 \cdot Pa^2$	1.16257971E-06
$v_{10}^4 \cdot tm^2$	-1.00361113E-08	$v_{10} \cdot tm^2 \cdot Pa^2$	7.68023384E-06
tm^3	-1.21206673E-05	$t \cdot v_{10} \cdot tm^2 \cdot Pa^2$	-5.47446896E-07
$t \cdot tm^3$	-2.18203660E-07	$v_{10}^2 \cdot tm^2 \cdot Pa^2$	-3.59937910E-08
$t^2 \cdot tm^3$	7.51269482E-09	$tm^3 \cdot Pa^2$	-4.36497725E-06
$t^3 \cdot tm^3$	9.79063848E-11	$t \cdot tm^3 \cdot Pa^2$	1.68737969E-07

Wyrażenie Expression	Współczynnik Coefficient	Wyrażenie Expression	Współczynnik Coefficient
$v_{10} \cdot tm^3$	1,25006734E-06	$v_{10} \cdot tm^3 \cdot Pa^2$	2,67489271E-08
$t \cdot v_{10} \cdot tm^3$	-1,81584736E-09	$tm^4 \cdot Pa^2$	3,23926897E-09
$t^2 \cdot v_{10} \cdot tm^3$	-3,52197671E-10	Pa^3	-3,53874123E-02
$v_{10}^2 \cdot tm^3$	-3,36514630E-08	$t \cdot Pa^3$	-2,21201190E-01
$t \cdot v_{10}^2 \cdot tm^3$	1,35908359E-10	$t^2 \cdot Pa^3$	1,55126038E-02
$v_{10}^3 \cdot tm^3$	4,17032620E-10	$t^3 \cdot Pa^3$	-2,63917279E-04
tm^4	-1,30369025E-09	$v_{10} \cdot Pa^3$	4,53433455E-02
$t \cdot tm^4$	4,13908461E-10	$t \cdot v_{10} \cdot Pa^3$	-4,32943862E-03
$t^2 \cdot tm^4$	-9,22652254E-12	$t^2 \cdot v_{10} \cdot Pa^3$	1,45389826E-04
$v_{10} \cdot tm^4$	-5,08220384E-09	$v_{10}^2 \cdot Pa^3$	2,17508610E-04
$t \cdot v_{10} \cdot tm^4$	-2,247330961E-11	$t \cdot v_{10}^2 \cdot Pa^3$	-6,66724702E-05
$v_{10}^2 \cdot tm^4$	1,17139133E-10	$v_{10}^3 \cdot Pa^3$	3,33217140E-05
tm^5	6,62154879E-10	$tm \cdot Pa^3$	-2,26921615E-03
$t \cdot tm^5$	4,03863260E-13	$t \cdot tm \cdot Pa^3$	3,80261982E-04
$v_{10} \cdot tm^5$	1,95087203E-12	$t^2 \cdot tm \cdot Pa^3$	-5,45314314E-09
tm^6	-4,73602469E-12	$v_{10} \cdot tm \cdot Pa^3$	-7,96355448E-04
Pa	5,12733497E+00	$t \cdot v_{10} \cdot tm \cdot Pa^3$	2,53458034E-05
$t \cdot Pa$	-3,12788561E-01	$v_{10}^2 \cdot tm \cdot Pa^3$	-6,31223658E-06
$t^2 \cdot Pa$	-1,96701861E-02	$tm^2 \cdot Pa^3$	3,02122035E-04
$t^3 \cdot Pa$	9,99690870E-04	$t \cdot tm^2 \cdot Pa^3$	-4,77403547E-06
$t^4 \cdot Pa$	9,51738512E-06	$v_{10} \cdot tm^2 \cdot Pa^3$	1,73825715E-06
$t^5 \cdot Pa$	-4,66426341E-07	$tm^3 \cdot Pa^3$	-4,09087898E-07
$v_{10} \cdot Pa$	5,48050612E-01	Pa^4	6,14155345E-01
$t \cdot v_{10} \cdot Pa$	-3,30552823E-03	$t \cdot Pa^4$	-6,16755931E-02
$t^2 \cdot v_{10} \cdot Pa$	-1,64119440E-03	$t^2 \cdot Pa^4$	1,33374846E-03
$t^3 \cdot v_{10} \cdot Pa$	-5,16670694E-06	$v_{10} \cdot Pa^4$	3,55375387E-03
$t^4 \cdot v_{10} \cdot Pa$	9,52692432E-07	$t \cdot v_{10} \cdot Pa^4$	-5,13027851E-04
$v_{10}^2 \cdot Pa$	-4,29223622E-02	$v_{10}^2 \cdot Pa^4$	1,02449757E-04
$t \cdot v_{10}^2 \cdot Pa$	5,00845667E-03	$tm \cdot Pa^4$	-1,48526421E-03
$t^2 \cdot v_{10}^2 \cdot Pa$	1,00601257E-06	$t \cdot tm \cdot Pa^4$	-4,11469183E-05
$t^3 \cdot v_{10}^2 \cdot Pa$	-1,81748644E-06	$v_{10} \cdot tm \cdot Pa^4$	-6,80434415E-06
$v_{10}^3 \cdot Pa$	-1,25813502E-03	$tm^2 \cdot Pa^4$	-9,77675906E-06
$t \cdot v_{10}^3 \cdot Pa$	-1,79330391E-04	Pa^5	8,82773108E-02
$t^2 \cdot v_{10}^3 \cdot Pa$	2,34994441E-06	$t \cdot Pa^5$	-3,01859306E-03
$v_{10}^4 \cdot Pa$	1,29735808E-04	$v_{10} \cdot Pa^5$	1,04452989E-03
$t \cdot v_{10}^4 \cdot Pa$	1,29064870E-06	$tm \cdot Pa^5$	2,47090539E-04
$v_{10}^5 \cdot Pa$	-2,28558686E-06	Pa^6	1,48348065E-03

$tm = Mrt - t$ (°C)

Pa – ciśnienie pary wodnej / air vapour pressure (kPa).

Źródło: Błażejczyk, Broede i inni (2010). / Source: Błażejczyk, Broede et al. (2010).

Tabela 8.4. Skala oceny obciążeń cieplnych organizmu według wskaźnika *UTCI*
 Table 8.4. Assessment scale of *UTCI*

<i>UTCI</i> (°C)	Obciążenie cieplne <i>Heat stress category</i>	Sposób przeciwdziałania <i>Recommendations for protection</i>
> 46,0	nieznośny stres ciepła <i>extreme heat stress</i>	niezbędne okresowe schładzanie organizmu, konieczne uzupełnianie płynów > 0,5 l·godz ⁻¹ ; należy unikać dużego wysiłku fizycznego <i>periodical cooling and drinking > 0.5 l·h⁻¹ necessary; stay without activity</i>
38,1-46,0	bardzo silny stres ciepła <i>very strong heat stress</i>	konieczne okresowe korzystanie z pomieszczeń klimatyzowanych lub miejsc zacienionych, niezbędne uzupełnianie płynów > 0,5 l·godz ⁻¹ ; należy ograniczyć wysiłek fizyczny <i>periodical use of fair conditioning or shaded sites and drinking > 0.5 l·h⁻¹ necessary; reduce activity</i>
32,1-38,0	silny stres ciepła <i>strong heat stress</i>	niezbędne uzupełnianie płynów 0,25 l·godz ⁻¹ , pożądane korzystanie z miejsc zacienionych i okresowe zmniejszenie wysiłku fizycznego <i>drinking > 0.25 l·h⁻¹ necessary, use shade places and reduce activity</i>
26,1-32,0	umiarkowany stres ciepła <i>moderate heat stress</i>	niezbędne uzupełnianie płynów 0,25 l·godz ⁻¹ <i>drinking > 0.25 l·h⁻¹ necessary</i>
9,1-26,0	brak obciążeń cieplnych <i>thermoneutral zone</i>	fizjologiczne procesy termoregulacji są wystarczające do zachowania komfortu cieplnego <i>physiological thermoregulation sufficient to keep comfort</i>
0,1-9,0	łagodny stres zimna <i>slight cold stress</i>	pożądane używanie rękawiczek i nakrycia głowy <i>use gloves and cap</i>
-12,9-0,0	umiarkowany stres zimna <i>moderate cold stress</i>	należy zwiększyć wysiłek fizyczny, chronić kończyny i twarz przed wychłodzeniem <i>increase activity, protect extremities and face against cooling</i>
-26,9- -13,0	silny stres zimna <i>strong cold stress</i>	należy zwiększyć wysiłek fizyczny, chronić kończyny i twarz przed wychłodzeniem; pożądane zwiększenie termoizolacyjności odzieży <i>strongly increase activity, protect face and extremities; use better insulated clothing</i>
-39,9- -27,0	bardzo silny stres zimna <i>very strong cold stress</i>	należy zwiększyć wysiłek fizyczny oraz chronić kończyny i twarz przed wychłodzeniem; niezbędne zwiększenie termoizolacyjności odzieży i ograniczenie czasu przebywania w terenie otwartym <i>strongly increase activity, protect face and extremities; use better insulated clothing, reduce stay outdoor</i>
≤ -40,0	nieznośny stres zimna <i>extreme cold stress</i>	czas przebywania na zewnątrz ograniczyć do minimum; niezbędne zwiększenie termoizolacyjności i wiatrochronności odzieży <i>stay indoor or use heavy, wind protected clothing</i>

UTCI pomiędzy 18 a 26 °C w pełni odpowiadają warunkom termoneutralnym definiowanym przez słownik terminów termofizjologicznych (*Glossary...* 2003) jako: „temperatura otoczenia, w której człowiek ubrany w odpowiednią odzież może przebywać bezpiecznie przez nieograniczony czas”.

UTCI between 18 and 26 °C may comply closely with the definition of the “thermal comfort zone” supplied in the *Glossary...* (2003) as: “The range of ambient temperatures within which a human in specified clothing expresses indifference to the thermal environment for an indefinite period”.

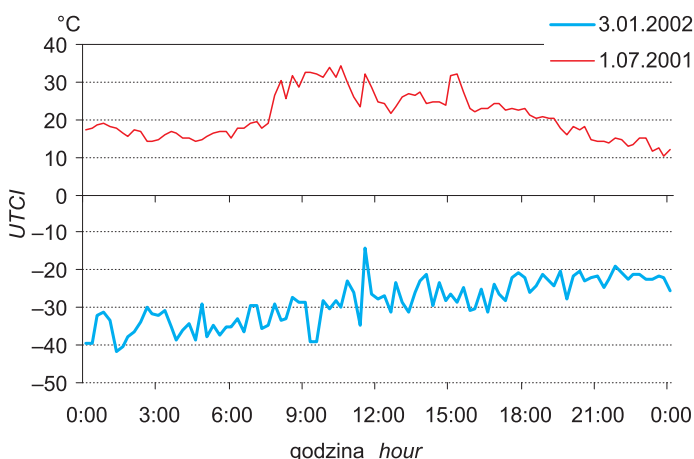
Źródło: Błażejczyk, Broede i inni (2010); Broede i inni (2011). / Source: Błażejczyk, Broede et al. (2010); Broede et al. (2011).

Tabela 8.5. Krytyczne poziomy reakcji fizjologicznych organizmu obserwowane przy różnych wartościach *UTCI*Table 8.5. Critical levels of physiological reactions observed at various *UTCI* values

<i>UTCI</i> (°C)	Reakcje fizjologiczne <i>Physiological response</i>
48	zwiększenie tempa wzrostu temperatury rektalnej stopniowa utrata zdolności oddawania ciepła do otoczenia
46	wzrost wydzielania potu do >650 g na godz.
40	zmniejszenie w ciągu 30 min gradientu temperatury pomiędzy wnętrzem i powierzchnią ciała do <1°C
38	wzrost temperatury rektalnej po 30 min ekspozycji
36	dynamiczne odczucie ciepłe po 2 godz. "bardzo gorąco"
33	średnie wydzielanie potu > 200 g na godz. wzrost temperatury rektalnej po 2 godz. ekspozycji
32	straty ciepła na parowanie po 30 min >40 W stopniowy wzrost temperatury skóry
30	zmiana tempa wzrostu wydzielania potu, temperatury skóry, temperatury rektalnej oraz temperatury twarzy i dłoni pojawienie się pocenia po 30 min ekspozycji stopniowy wzrost uwilgotnienia skóry
26	średnie wydzielanie potu > 100 g na godz. dynamiczne odczucie ciepła „ciepło”
18	dynamiczne odczucie ciepła „komfortowo” straty ciepła na parowanie średnio >40 W
14	brak zmian temperatury rektalnej w czasie 2-godzinnej ekspozycji
13	dynamiczne odczucie ciepła po 2 godz. ekspozycji „komfortowo”
12	straty ciepła na parowanie > 40 W po 2 godz. ekspozycji.
9	dynamiczne odczucie ciepła po 2 godz. ekspozycji „zimno” lokalne obniżenie temperatury dłoni (należy włożyć rękawiczki)
8	zmiana tempa spadku średniej temperatury skóry
0	dynamiczne odczucie ciepła po 2 godz. ekspozycji „bardzo zimno” zmniejszenie tempa skórniego przepływu krwi
-2	temperatura twarzy po 2 godz. ekspozycji < 15°C (uczucie bólu)
-10	znaczny spadek temperatury dłoni początek spadku temperatury rektalnej
-13	temperatura twarzy po 30 min ekspozycji < 15°C (uczucie bólu) spadek średniej temperatury skóry podczas 2 godz. ekspozycji o 2°C
-14	temperatura twarzy po 2 godz. ekspozycji < 7°C (drętwienie)
-20	średnia temperatura twarzy < 7°C (drętwienie)
-22	spadek temperatury rektalnej o 0,1°C na godz.
-26	zwiększenie gradientu temperatury pomiędzy wnętrzem i powierzchnią ciała
-27	temperatura twarzy po 2 godz. ekspozycji < 0°C (ryzyko odmrożenia)
-30	wzrost tempa obniżania się temperatury rektalnej
-32	temperatura twarzy po 30 min < 7°C (drętwienie)
-32	początek termogenezy drżeniowej
-33	spadek temperatury rektalnej o 0,2°C na godz.
-35	temperatura twarzy po 2 godz. ekspozycji < -5°C (duże ryzyko odmrożenia)
-40	spadek temperatury rektalnej o 0,3°C na godz.
-48	temperatura twarzy po 30 min < 0°C (ryzyko odmrożenia)

Źródło: Broede i inni (2011). / Source: Broede et al. (2011).

Przebieg dobowy wskaźnika *UTCI* w przykładowych dniach ilustruje rycina 8.11. W dniu letnim *UTCI* zmieniało się od około 10°C (co odpowiada brakowi obciążeń cieplnych) nocą do 33°C (co wiąże się z silnym stresem ciepła) przy intensywnym dopływie promieniowania słonecznego i wysokiej temperatury powietrza w godzinach południowych. W dniu zimowym wartości *UTCI* wzrastały stopniowo, wraz z podwyższaniem się temperatury powietrza i zmniejszaniem prędkości wiatru, od -41°C (nieznośny stres zimna) nocą do -20°C (silny stres zimna) w godzinach wieczornych. Około południa, przy chwilowym dopływie promieniowania słonecznego *UTCI* wyniosło tylko -15°C, co także powodowało silny stres zimna.



Ryc. 8.11. Wartości obciążeń cieplnych człowieka (*UTCI*) w wybranych dniach w Warszawie podczas spacerów z prędkością 4 km na godzinę

Fig. 8.11. Universal Thermal Climate Index (*UTCI*) in Warsaw when walking with the speed of 4 km per hour

Badania własne. / Own data.

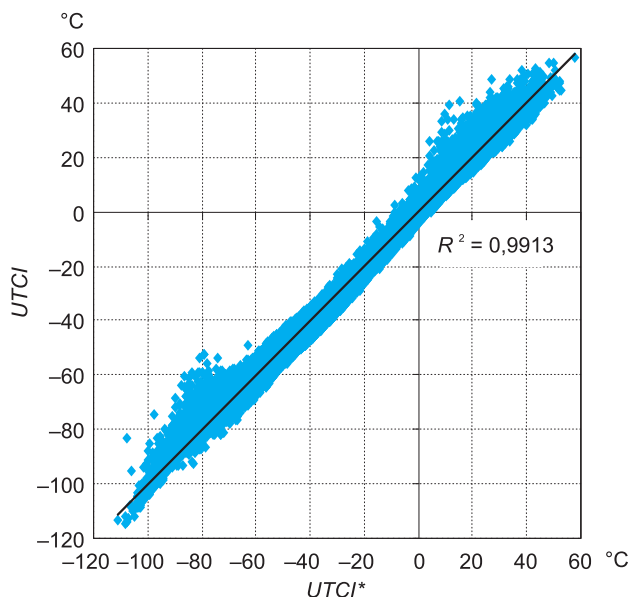
8.3.6. Uproszczona formuła uniwersalnego wskaźnika obciążeń cieplnych (*UTCI**)

W niektórych aplikacjach, zwłaszcza z wykorzystaniem metod i oprogramowania GIS, stosowanie tak złożonego algorytmu do obliczania wskaźnika *UTCI* przekracza możliwości techniczne tych narzędzi. Uwzględniając te ograniczenia zewnętrzne opracowano uproszczoną formułę do obliczenia uniwersalnego wskaźnika obciążeń cieplnych *UTCI** (Błażejczyk 2011a).

$$UTCI^* = 3,21 + 0,872 \cdot t + 0,2459 \cdot Mrt - 2,5078 \cdot v_{10} - 0,0176 \cdot RH \quad [8.12]$$

Równanie to zostało wyprowadzone na podstawie serii 32 500 danych meteorologicznych, reprezentujących różne warunki termiczne, radiacyjne, wietrzne i wilgotnościowe. Równanie jest istotne statystycznie na poziomie 0,01. Poprawność równania sprawdzono na równie licznej serii niezależnych danych obserwacyjnych. Obliczone metodą pełną (*UTCI*) i uproszczoną (*UTCI**) wskaźniki wykazują bardzo dużą zgodność (ryc. 8.12). Średni błąd *UTCI** jest bliski zera, a odchylenie standardowe różnic obydwu wskaźników wynosi $3,5^{\circ}\text{C}$. Współczynnik korelacji pomiędzy *UTCI* oraz *UTCI** wynosi 0,9956 i jest istotny statystycznie na poziomie 0,01. Tylko w zakresach *UTCI* pomiędzy -60°C i -100°C oraz 10°C i 25°C *UTCI** może się w pojedynczych przypadkach różnić od *UTCI* o $10-20^{\circ}\text{C}$. Biorąc powyższe pod uwagę można rekomendować do stosowania także uproszczony sposób obliczania uniwersalnego wskaźnika obciążeń cieplnych (*UTCI**).

Dla wskaźnika *UTCI** mają zastosowanie ta sama skala obciążeń cieplnych oraz kryteria fizjologicznej interpretacji wartości jak dla *UTCI*.



Ryc. 8.12. Związek pomiędzy wartościami uniwersalnego wskaźnika obciążeń cieplnych człowieka obliczonymi metodą pełną (*UTCI*) i uproszczoną (*UTCI**)

Fig. 8.12. Relationships between the values of Universal Thermal Climate Index calculated by full (*UTCI*) and simplified (*UTCI**) formulas

Badania własne. / Own data.

8.3.7. Wskaźnik stresu cieplnego (*HSI*)

Wskaźnik stresu cieplnego (*HSI* – *Heat Stress Index*, w %) (Belding, Hatch 1955) ilustruje natężenie uciążliwości warunków termiczno-wilgotnościowych, odczuwanych jako uczucie parności. *HSI* jest stosunkiem – wyrażonym w procentach – ewaporacyjnych strat ciepła niezbędnych do zachowania równowagi cieplnej organizmu (*E_{req}*) do ewaporacyjnych strat ciepła, maksymalnych w danych warunkach meteorologicznych (*E_{max}*):

$$HSI = E_{req} / E_{max} \cdot 100 \quad [8.13]$$

E_{req} wyznacza się z równania bilansu cieplnego MENEX_2005 jako jego składnik równoważący wymianę ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem. *E_{req}* reprezentuje poziom parowania z powierzchni skóry, który zapewnia równowagę cieplną organizmu:

$$E_{req} = M + Q + C + Res. \quad [8.14]$$

Ewaporacja maksymalna (*E_{max}*), jaka może wystąpić w danych warunkach meteorologicznych, jest natomiast liczona z wzoru:

$$E_{max} = k \cdot v^{0,6} \cdot (v_p - 56) \quad [8.15]$$

gdzie *k* jest współczynnikiem bezwymiarowym równym 7,0 dla człowieka ubranego i 11,7 – dla nieubranego. Za górną granicę ewaporacyjnych strat ciepła przyjmuje się 390 W·m⁻², co odpowiada wydzielaniu potu w ilości 1000 gramów (1 litr) na godzinę.

Poszczególnym wartościom *HSI* są przypisane następujące efekty fizjologiczne (w przypadku ośmiogodzinnej ekspozycji w danych warunkach otoczenia):

<i>HSI</i> (%)	Efekt fizjologiczny
≤ 0,0	łagodny stres chłodu
0,1–10,0	brak obciążenia termiczno-wilgotnościowego
10,1–30,0	łagodny lub umiarkowany stres termiczno-wilgotnościowy
30,1–70,0	silny stres termiczno-wilgotnościowy; uciążliwy w przypadku braku aklimatyzacji oraz dla osób starszych, osób chorych na astmę lub nadciśnienie tętnicze
70,1–90,0	bardzo silny stres termiczno-wilgotnościowy; uciążliwy dla wszystkich grup osób
90,1–100,0	maksymalny stres termiczno-wilgotnościowy, niebezpieczny dla zdrowia osób z grup ryzyka, tolerowany – ale bardzo uciążliwy – w przypadku osób młodych i zaaklimatyzowanych
> 100,0	niebezpieczeństwo podwyższenia temperatury wewnętrznej u wszystkich osób; czas przebywania w takich warunkach musi być nadzorowany.

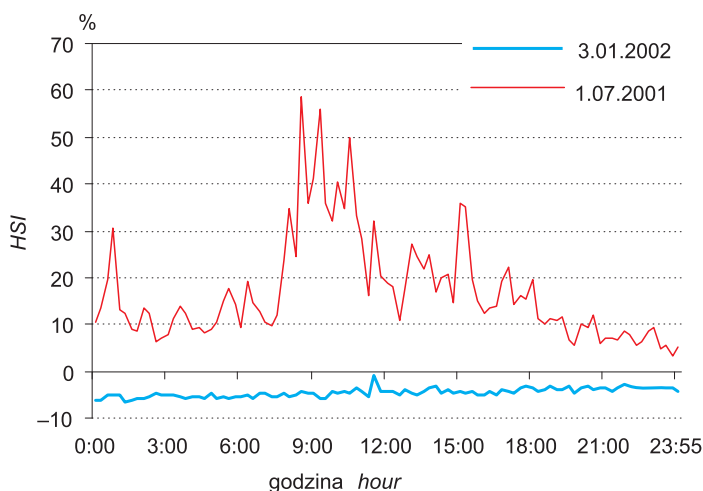
Wzrost *HSI* wskazuje także na narastanie uczucia parności. Wartości *HSI* <30% nie powodują uczucia parności. Przy *HSI* od 30,1 do 70,0% uczucie parności jest dokuczliwe dla osób starszych i dzieci oraz osób niezaaklimatyzowanych.

Przy $HSI > 70\%$ warunki są uciążliwe dla wszystkich osób, a w przypadku osób starszych, chorych i dzieci mogą powodować przegrzanie organizmu. Wskaźnik HSI był stosowany do oceny warunków bioklimatycznych miejscowości uzdrowiskowych i wczasowych przez B. Krawczyk (2001).

W analizowanym dniu zimowym wartości wskaźnika HSI były niższe od 0%, co mówi o występowaniu łagodnego stresu chłodu (ryc. 8.13), w dniu letnim zaś wartości HSI wahały się od około 5% do prawie 60%. Przez większą część doby nie obserwowano uczucia parności (HSI poniżej 30%). Warunki uciążliwe dla dzieci oraz osób starszych i niezaaklimatyzowanych ($30 < HSI < 70\%$) występowały tylko przed południem (od godziny 8 do 11).

8.3.8. Ryzyko odmrożenia (FR)

W warunkach zimowych, przy niskiej temperaturze powietrza i silnym wietrze, istnieje niebezpieczeństwo odmrożenia odsłoniętych części ciała. Do oceny stopnia tego ryzyka służy opracowany w Kanadzie (Tikuisis 2004, Tikuisis, Osčevski 2002) wskaźnik ryzyka odmrożenia (FR). Wskaźnik ten w siedmiostopniowej skali określa ryzyko odmrożenia odsłoniętych: policzka i palców dłoni. Z poszczególnymi stopniami ryzyka powiązany jest czas, po którym może nastąpić odmrożenie (tab. 8.6). Czas ten jest obliczany poprzez rozwiązanie równania bilansu cieplnego twarzy i dłoni, na podstawie modelu ©DRDC Toronto P. Tikuisisa. Szczegółowe algorytmy służące do obliczenia wskaźnika FR są zaimplementowane do Kalkulatora_klimatu_odczuwalnego, znajdującego się na stronie internetowej: <http://www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/...>



Ryc. 8.13. Wartości wskaźnika stresu cieplnego (HSI) w wybranych dniach w Warszawie podczas spacerów z prędkością 4 km na godzinę

Fig. 8.13. Heat stress index (HSI) in Warsaw when walking with the speed of 4 km per hour
Badania własne. / Own data.

Tabela 8.6. Wskaźnik ryzyka odmrożenia (FR) odsłoniętych części ciała: policzka i palców dłoni, wg modelu © DRDC Toronto

Table 8.6. Index of frostbite risk of cheek and fingers

Wskaźnik FR FR index	Ryzyko odmrożenia Frostbite risk	Czas, po którym nastąpi odmrożenie Time to frostbite	
		policzka <i>cheek</i>	palców dłoni <i>fingers</i>
0	brak <i>no risk</i>	–	–
1	nieznaczne <i>slight</i>	–	–
2	małe <i>small</i>	> 20 min	> 4 min
3	umiarkowane <i>moderate</i>	10–20 min	2–4 min
4	duże <i>great</i>	5–10 min	1–2 min
5	bardzo duże <i>very great</i>	2–5 min	30–60 s
6	warunki ekstremalne <i>extreme</i>	< 2 min	< 30 s

Źródło / Source: Tikuisis (2004).

9. Wskaźniki bioklimatyczne

Dotychczas omówione wskaźniki mają charakter biometeorologicznych, ponieważ odnoszą się do chwilowych wartości elementów meteorologicznych. W opracowaniach bioklimatycznych, opierających się na wieloletnich ciągach codziennych danych obserwacyjnych, należy natomiast zwrócić uwagę nie tylko na uśrednione wartości wskaźników biometeorologicznych, ale przede wszystkim na powtarzalność konkretnych stanów atmosfery oraz na możliwy zakres ich wahań.

Celem badań w skali regionalnej lub globalnej jest często porównanie warunków bioklimatycznych panujących w różnych regionach i sezonach oraz wskazanie tych miejsc, które cechują się korzystniejszymi od innych warunkami do wypoczynku i turystyki. Do tych celów wykorzystywane są wskaźniki o charakterze bioklimatycznym, a więc odnoszące się uśrednionych dla wielolecia danych meteorologicznych lub biometeorologicznych.

9.1. Wskaźnik klimatyczno-turystyczny (TCI)

Wskaźnik klimatyczno-turystyczny (TCI – *Tourism Climate Index*) zaproponował Z. Mieczkowski (1985), polski geograf pracujący w Kanadzie. TCI uwzględnia nie tylko cechy termiczne klimatu, ale także inne jego elementy, które mają wpływ na uprawianie turystyki i rekreację. Na ocenę klimatu z punktu widzenia

potrzeb turystyki wpływają, według autora, następujące cechy klimatu: temperatura i wilgotność powietrza, prędkość wiatru, usłonecznienie i opady atmosferyczne. Wskaźnik turystyczno-klimatyczny opiera się na systemie punktowym. Przydatność poszczególnych elementów klimatu na potrzeby turystyki i rekreacji oceniana jest w skali od 0 do 5 (a w przypadku charakterystyk termicznych od -3 do 5), a następnie oceny cząstkowe są sumowane według następującego wzoru:

$$TCI = 2 \cdot (4 \cdot CI_d + CI_a + 2 \cdot RR' + 2 \cdot SD + W_v) \quad [9.1]$$

Gdy cząstkowe wskaźniki oceny wszystkich elementów klimatu wynoszą 5 punktów, wtedy TCI wynosi 100. Wszystkie wskaźniki cząstkowe oceny opierają się na dostępnych w klimatologicznych bazach danych wartościach miesięcznych (średnich, sumach) uwzględnionych elementów klimatu.

W przypadku wskaźnika oceny opadów atmosferycznych (RR') przyjmuje się następujące wartości progowe średniej miesięcznej sumy opadu:

RR'	Średnia miesięczna suma opadu (mm)
5,0	0,0–14,9
4,5	15,0–29,9
4,0	30,0–44,9
3,5	45,0–59,9
3,0	60,0–74,9
2,5	75,0–89,9
2,0	90,0–104,9
1,5	105,0–119,9
1,0	120,0–134,9
0,5	135,0–149,9
0,0	≥150,0.

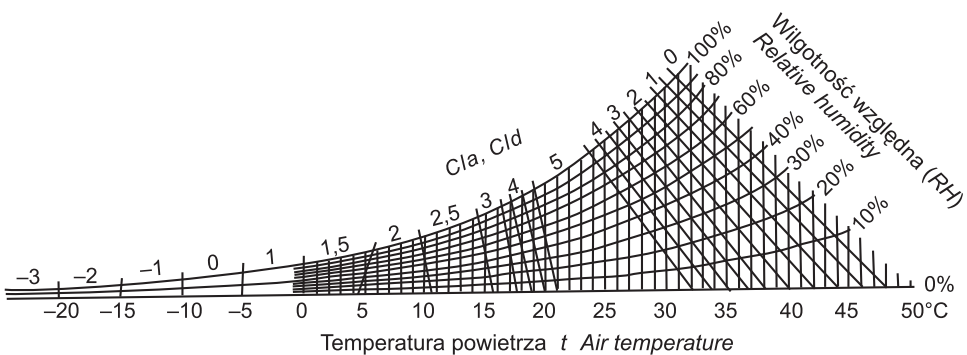
W odniesieniu do warunków solarnych stosuje się wskaźnik oceny usłonecznienia (SD), który przyjmuje różne wartości, zależnie od średniej dobowej sumy godzin ze słońcem w kolejnych miesiącach, według następującej skali:

SD	Średnie dobowe usłonecznienie rzeczywiste (godz.)
5,0	≥ 10,0
4,5	9,0–9,9
4,0	8,0–8,9
3,5	7,0–7,9
3,0	6,0–6,9
2,5	5,0–5,9
2,0	4,0–4,9
1,5	3,0–3,9
1,0	2,0–2,9
0,5	1,0–1,9
0,0	< 1,0

W przypadku wskaźnika oceny prędkości wiatru (W_v) przyjmuje się średnią miesięczną prędkość wiatru. Wartość W_v jest zróżnicowana w zależności od ogólnych warunków klimatycznych badanego obszaru (w odniesieniu do Polski i całej środkowej Europy należy przyjąć wartości W_v dla umiarkowanych warunków klimatycznych):

W _v dla warunków klimatycznych			Średnia miesięczna prędkość wiatru (m·s ⁻¹)
umiarkowanych	zimnych	gorących	
5,0	2,0	2,0	< 0,8
4,5	2,5	1,5	0,8–1,6
4,0	3,0	1,0	1,7–2,5
3,5	4,0	0,5	2,6–3,4
3,0	5,0	0,0	3,5–5,5
2,5	4,0	0,0	5,6–6,7
2,0	3,0	0,0	6,8–8,0
1,0	2,0	0,0	8,1–10,7
0,0	0,0	0,0	≥ 10,8.

Wskaźnik oceny warunków termicznych w ciągu dnia (Cld) wyznacza się na podstawie analizy średniej miesięcznej temperatury powietrza i średniej miesięcznej wilgotności względnej powietrza dla południowego terminu obserwacyjnego, natomiast wskaźnik oceny warunków termicznych doby (Cla) określa się opierając na średnich dobowych wartościach temperatury powietrza i wilgotności względnej powietrza. Aby wyznaczyć wartości wskaźników Cld i Cla należy korzystać ze specjalnego diagramu (ryc. 9.1). Wyznaczane wartości Cld lub Cla znajdują się na przecięciu linii oznaczających odpowiednie wartości temperatury powietrza oraz wilgotności względnej powietrza.



Ryc. 9.1. Diagram do wyznaczania wartości wskaźników Cla i Cld

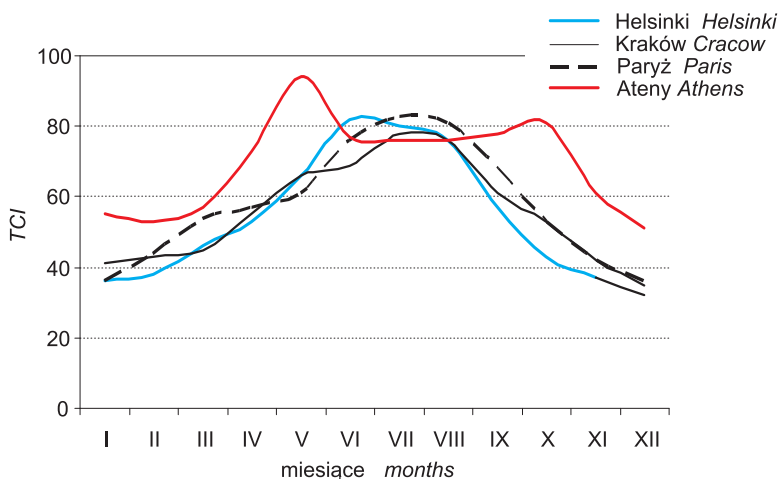
Fig. 9.1. Diagrams used for assessing Cla and Cld coefficients of tourism-climate index (TCI)

Źródło / Source: Mieczkowski (1985).

Wartości *TCI* można poklasyfikować z uwagi na stopień przydatności warunków klimatycznych do turystyki:

<i>TCI</i>	Ocena przydatności klimatu do turystyki
$\geq 90,0$	idealny
80,0–89,9	doskonały
70,0–79,9	bardzo dobry
60,0–69,9	dobry
50,0–59,9	umiarkowany
40,0–49,9	mało korzystny
30,0–39,9	niekorzystny
20,0–29,9	bardzo niekorzystny
10,0–19,9	skrajnie niekorzystny
$< 10,0$	aktywność turystyczna niemożliwa.

Przykład oceny warunków bioklimatycznych, dokonanej za pomocą wskaźnika *TCI* dla wybranych miast Europy ilustruje rycina 9.2. Wartości wskaźnika nawiązują do zmienności sezonowej klimatu Europy. Najkorzystniejsze warunki do turystyki występują w miesiącach letnich. Od listopada do stycznia w Europie środkowej i północnej warunki te są niekorzystne. Widać również małe zróżnicowanie *TCI* pomiędzy miastami tego obszaru Europy. Wyraźnie od nich odbiegają wartości *TCI* w Atenach – zaznacza się tam obniżenie przydatności klimatu dla turystyki w okresie od czerwca do września. Jest to spowodowane niskimi wartościami wskaźnika oceny komfortu cieplnego dla godzin dziennych (*Cld*).



Ryc. 9.2. Przebieg roczny wartości wskaźnika *TCI* w wybranych miastach europejskich

Fig. 9.2. Annual course of Tourism Climate Index (*TCI*) in selected European cities
Badania własne. / Own data.

9.2. Wskaźniki kontrastowości bioklimatu

Wyjeżdżając na wyprawę turystyczną musimy się do niej odpowiednio przygotować. W przypadku wyjazdu w miejsce o warunkach klimatycznych odmiennych od tych, w których mieszkamy, musimy także uwzględnić konieczność dostosowania się naszego organizmu do bodźców klimatycznych o innym niż zwykle natężeniu. W ostatnich latach powstały dwa wskaźniki oceniające wielkość i natężenie kontrastów bioklimatycznych. Ilustrują one także niezbędny w danych warunkach stopień adaptacji organizmu poprzez zmianę odzieży (*BD*) i dostosowanie strat ciepła na oddychanie do warunków otoczenia *ATSI*.

Wskaźnik odległości bioklimatycznej (*BD* – *Bioclimatic Distance*, bez wymiaru) został zaproponowany przez naukowców bułgarskich do oceny zróżnicowania przestrzennego i sezonowego warunków bioklimatycznych (Mateeva, Filipov 2003). *BD* opiera się na porównaniu izolacyjności termicznej odzieży niezbędnej do zachowania komfortu cieplnego w różnych miejscach lub okresach. Efektywną izolacyjność termiczną odzieży (*ECI*) wyznacza się za pomocą modelu bilansu cieplnego człowieka *MENEX_2005*. Do obliczeń przyjmuje się średnie miesięczne wartości parametrów meteorologicznych oraz stałą temperaturę skóry równą 32°C. Wskaźnik *BD* jest bezwymiarowy i oblicza się go jako:

$$BD = [(ECI_h - ECI_d) / 13] \cdot 100, \quad [9.2]$$

gdzie współczynnik liczbowy 13 jest wyrażony w jednostkach *clo* i reprezentuje maksymalną możliwą różnicę *ECI*.

Wraz ze wzrostem wartości *BD* rośnie stopień kontrastowości warunków bioklimatycznych porównywanych obszarów lub okresów. Sytuacja taka wymaga od organizmu sprawności mechanizmów termoregulacyjnych, które pozwolą w możliwie krótkim czasie zaaklimatyzować się do zmienionych warunków otoczenia. Im wyższa jest wartość *BD*, tym okres aklimatyzacji jest dłuższy. Autorzy wskaźnika stosowali go w warunkach klimatycznych Półwyspu Bałkańskiego. Próba zastosowania wskaźnika *BD*, w jego wersji oryginalnej, do ekstremalnych warunków meteorologicznych pokazała, że zastosowany przez autorów wskaźnik *ECI* nie ma dla nich zastosowania; w niektórych kombinacjach skrajnych wartości parametrów meteorologicznych nie udaje się zbilansować zysków i strat ciepła poprzez zmianę odzieży lub też obliczone wartości *ECI* są nierealistyczne (np. 48 *clo*).

Wskaźnik aklimatyzacyjnych obciążeń cieplnych (*ATSI* – *Acclimatization Thermal Strain Index*, bez wymiaru) opiera się na koncepcji V. Rusanowa (1989), który badając warunki bioklimatyczne obszaru Syberii zaproponował jako miarę oceny ich uciążliwości straty ciepła w wyniku oddychania. Podejście to zostało wykorzystane przez C.R. de Freitas i E. Grigoriewą (2009, 2010) do opracowania wskaźnika *ATSI*. Uwzględni on straty ciepła na oddychanie w miejscu stałego pobytu (*Res_h*) oraz w miejscu przeznaczenia, do którego się udajemy (*Res_d*). Wskaźnik *ATSI* ma następującą postać matematyczną:

$$ATSI = (Res_h - Res_d) / Res_h \cdot 100 \quad [9.3]$$

Najkorzystniejsza, z punktu widzenia aklimatyzacji, sytuacja występuje wtedy, gdy wartość wskaźnika jest równa zeru. Organizm człowieka nie musi się wtedy aklimatyzować do nowych warunków. Wartości *ATSI* większe od zera mówią o braku stresu zimna w miejscu przeznaczenia, wskazują natomiast na możliwość wystąpienia stresu ciepła.

Autorzy wskaźnika sprawdzili jego stosowalność na obszarze rosyjskiego Dalekiego Wschodu. Niestety, wykorzystanie go w oryginalnej postaci do porównania ekstremalnych warunków klimatycznych (obszary subpolarne i tropikalne) nie powiodło się. Przy dużych różnicach klimatycznych pomiędzy miejscem zamieszkania i miejscem przeznaczenia zastosowanie wartości Res_h w mianowniku równania sprawia, że uzyskujemy skrajnie różne wartości *ATSI* zależnie od tego, w stosunku do jakiego miejsca odnosimy wielkość strat ciepła na oddychanie. Na przykład, dla osoby udającej się ze strefy subpolarnej do tropikalnej obliczona wartość *ATSI* wynosi około 83, a dla osoby podróżującej w kierunku przeciwnym – aż 480.

9.2.1. Wskaźnik kontrastowości warunków bioklimatycznych (*BCI*)

Zasygnalizowane wyżej słabości wskaźników oceniających różnice warunków bioklimatycznych pomiędzy badanymi obszarami skłonił autorów do zaproponowania nowego wskaźnika kontrastowości warunków bioklimatycznych (*BCI* – *Bioclimatic Contrast Index*, bez wymiaru). Podobnie jak w koncepcji wskaźników *BD* i *ATSI* chodzi o określenie, z jakim stresem aklimatyzacyjnym należy się liczyć podróżując do odległych niekiedy zakątków świata (Błażejczyk 2011b).

Miarami tego stresu są:

- 1) zmiany fizjologicznych procesów dostosowawczych (opisane za pomocą *UTCI* i *SW*),
- 2) zmiany dostosowawcze poprzez używaną odzież (opisaną wskaźnikiem *Iclp*),
- 3) zmiany subiektywnej percepcji warunków meteorologicznych (opisanej wskaźnikiem *PST*).

Ogólna postać *BCI* jest następująca:

$$BCI = (dUTCI + dSW + dIclp + dPST) / 4 \quad [9.4]$$

Poszczególne człony wskaźnika *BCI* są liczone następująco:

$$dUTCI = [(UTCI_h - UTCI_d) / 170] \cdot 100 \quad [9.5]$$

gdzie 170 jest wyrażone w °C i oznacza maksymalnie możliwy zakres *UTCI*,

$$dSW = [(SW_h - SW_d) / 1000] \cdot 100 \quad [9.6]$$

gdzie 1000 jest wyrażone w g·godz⁻¹ i oznacza maksymalną wydolność gruczołów potowych,

$$dIclp = [(Iclp_d - Iclp_h) / 7] \cdot 100 \quad [9.7]$$

gdzie 7 jest wyrażone w clo i oznacza możliwy zakres zmian termoizolacyjności odzieży,

$$dPST = [(PST_h - PST_d) / 110] \cdot 100 \quad [9.8]$$

gdzie 110 jest wyrażone w °C i oznacza maksymalnie możliwy zakres PST.

W powyższych wzorach oznaczenie $_h$ odnosi się do wartości danego wskaźnika w miejscu zamieszkania, a oznaczenie $_d$ – w miejscu przeznaczenia.

Znak dodatni lub ujemny poszczególnych członów wskaźnika *BCI* informuje, z jakim kierunkiem zmian dostosowawczych mamy do czynienia. Znak dodatni oznacza, że warunki klimatyczne w miejscu zamieszkania są „cieplejsze” niż w miejscu przeznaczenia, ujemny – odwrotnie. Wzrost wartości bezwzględnych *BCI* i jego składników ilustruje większą intensywność procesów dostosowawczych, a tym samym wskazuje na wzrost kontrastów bioklimatycznych.

Oceniając ogólnie intensywność kontrastu warunków bioklimatycznych, bierzemy pod uwagę bezwzględne wartości *BCI*. Poszczególnym przedziałom $|BCI|$ można przypisać następujące oceny:

$|BCI|$	Kontrastowość warunków bioklimatycznych
$\leq 5,0$	nieznaczna, nie wymaga intensywnych procesów dostosowawczych
5,1–10,0	mała, wymaga umiarkowanych procesów dostosowawczych
10,1–20,0	znaczna, wymaga stosunkowo intensywnych procesów dostosowawczych
20,1–30,0	duża, wymaga intensywnych procesów dostosowawczych
30,1–50,0	bardzo duża, wymaga bardzo intensywnych procesów dostosowawczych
$> 50,0$	skrajnie duża, wymaga procesów dostosowawczych o maksymalnej intensywności.

Przykład wskaźnika *BCI* i jego składowych, obliczonych na podstawie średnich wartości miesięcznych elementów meteorologicznych, pokazują tabele 9.1 i 9.2. Obliczono je na podstawie średnich miesięcznych wartości elementów meteorologicznych pomiędzy Krakowem a wybranymi miastami europejskimi (Helsinki, Paryż, Ateny) oraz dla stacji o skrajnych warunkach klimatycznych: Ojmiakoniu na Syberii oraz Kisangani w Zairze.

Kontrasty bioklimatyczne pomiędzy Krakowem a Paryżem i Helsinkami są nieznaczne. Oznacza to, że podróż do tych miast nie będzie powodowała większych obciążeń układu termoregulacyjnego. Jadąc z Krakowa do Aten, zwłaszcza w okresie letnim, należy się liczyć ze znacznymi kontrastami warunków odczuwalnych. Wymaga to od organizmu uaktywnienia stosunkowo intensywnych procesów dostosowawczych. Podróże do miejsc o skrajnych warunkach klimatycznych (Syberia, Afryka równikowa) wiążą się z dużymi kontrastami warunków bioklimatycznych oraz intensywnymi procesami dostosowawczymi, silnie obciążającymi układ termoregulacyjny.

Tabela 9.1. Miesięczne wartości wskaźnika kontrastowości warunków bioklimatycznych (BCI) pomiędzy Krakowem a wybranymi miastami, 1981–1990

Table 9.1. Mean monthly values of Bioclimatic Contrasts Index (BCI) between Kraków (Poland) and selected cities, 1981–1990

Miesiąc Month	K-H	K-P	K-A	K-O	K-Ki	Średnia Average
I	2,7	2,3	8,3	19,9	26,3	11,9
II	3,4	3,9	7,7	19,1	25,5	11,9
III	5,0	2,2	7,1	16,2	22,7	10,6
IV	4,6	0,9	6,4	12,3	18,7	8,6
V	3,8	1,3	6,7	8,2	14,1	6,8
VI	2,3	1,4	10,1	4,0	11,1	5,8
VII	1,8	1,4	12,1	4,6	8,4	5,7
VIII	3,1	1,7	12,3	5,8	8,5	6,3
IX	3,1	1,6	11,4	8,7	12,9	7,5
X	2,6	1,4	8,7	15,2	17,4	9,0
XI	4,0	1,4	8,9	20,2	21,4	11,2
XII	4,2	2,1	8,5	21,0	24,4	12,0
Średnia roczna Yearly mean	3,4	1,8	9,0	12,9	17,6	9,0

K – Kraków *Cracow*, P – Paryż *Paris*, A – Ateny *Athens*, O – Ojmiakon, Ki – Kisangani.

Badania własne. / Own data.

9.3. Ocena przydatności pogody do różnych form rekreacji (WSI)

W praktycznych zastosowaniach istotne są wskazówki, czy i w jakim stopniu dane warunki pogodowe są przydatne do poszczególnych form rekreacji i turystyki. Większość osób kieruje się w tym względzie przyzwyczajeniami lub po prostu intuicją. Niestety, obydwa te sposoby często zawodzą. O ile stosunkowo łatwo jest ocenić warunki pogodowe na podstawie prostych informacji o zjawiskach meteorologicznych (opad, pokrywa śnieżna), o tyle ocena warunków biotermicznych powinna się opierać na fizjologicznych podstawach. Zbyt często bowiem dochodzi podczas rekreacji do zakłóceń pracy układu termoregulacyjnego, które w skrajnych przypadkach mogą się kończyć – i niekiedy niestety się kończą – niebezpiecznymi dla zdrowia stanami przechłodzenia lub przegrzania organizmu, a nawet wychłodzeniem lub udarem ciepłym i słonecznym.

Poniżej przedstawiono sposób oceny poszczególnych sytuacji pogodowych, które najczęściej występują w Polsce, z punktu widzenia głównych form rekreacji i turystyki:

- kąpiele słonecznych (SB),
- kąpiele powietrznych (AB),

Tabela 9.2. Średnie miesięczne wartości składników wskaźnika kontrastowości warunków bioklimatycznych (dUTCI, dSW, dIclp, dPST) pomiędzy Krakowem a wybranymi miastami, 1981–1990

Table 9.2. Mean monthly values of the components (dUTCI, dSW, dIclp, dPST) of bioclimatic contrasts index between Kraków (Poland) and selected cities, 1981–1990

Miesiąc Month	dUTCI					dSW				
	K-H	K-P	K-A	K-O	K-Ki	K-H	K-P	K-A	K-O	K-Ki
I	-4,4	-0,3	-9,6	27,8	-28,3	-0,4	-1,7	-3,6	1,0	-11,5
II	-5,1	-5,5	-9,0	26,1	-27,1	-0,6	-1,0	-3,5	1,2	-11,6
III	-9,0	-1,5	-8,4	20,7	-24,1	-0,8	-1,6	-3,5	2,0	-11,3
IV	-7,4	0,7	-6,5	15,4	-18,3	-1,1	-1,2	-4,3	3,3	-10,3
V	-6,2	2,5	-5,0	10,3	-12,6	-0,5	-1,4	-6,7	3,2	-7,0
VI	-3,8	2,3	-5,8	4,6	-9,9	0,5	-1,7	-12,7	1,9	-4,9
VII	-2,8	0,9	-6,4	6,9	-7,8	0,3	-3,5	-18,7	0,8	-2,9
VIII	-5,0	0,6	-6,2	6,1	-7,6	-0,1	-3,8	-19,4	3,1	-4,3
IX	-4,1	0,8	-7,1	11,2	-11,5	-1,2	-3,0	-13,6	3,1	-7,1
X	-3,5	0,4	-7,3	21,3	-16,6	-0,9	-1,9	-7,6	3,2	-9,2
XI	-8,0	1,3	-10,0	28,2	-22,2	-0,3	-1,4	-5,0	2,0	-9,6
XII	-9,0	-0,5	-9,9	29,6	-26,0	-0,2	-1,6	-4,0	1,2	-10,7
Średnio Average	-5,7	0,1	-7,6	17,4	-17,7	-0,5	-2,0	-8,5	2,2	-8,4
Miesiąc Month	dPST					dIclp				
	K-H	K-P	K-A	K-O	K-Ki	K-H	K-P	K-A	K-O	K-Ki
I	-2,4	-1,9	-8,2	10,9	-36,5	3,6	-5,5	-11,7	40,1	-28,9
II	-3,1	-3,7	-7,7	11,1	-35,8	4,9	-5,4	-10,6	37,8	-27,5
III	-4,6	-2,0	-7,5	10,8	-32,3	5,5	-3,8	-8,9	31,4	-23,3
IV	-4,7	-0,5	-7,6	10,8	-27,7	5,1	-1,3	-7,2	20,0	-18,4
V	-4,6	1,3	-8,7	8,9	-23,1	3,8	0,1	-6,4	10,5	-13,6
VI	-2,8	1,3	-14,4	5,0	-19,1	2,0	0,4	-7,5	4,5	-10,6
VII	-2,6	-0,5	-14,8	6,5	-14,4	1,6	-0,8	-8,6	4,4	-8,4
VIII	-4,6	-1,1	-14,9	7,4	-14,2	2,9	-1,3	-8,7	6,5	-8,0
IX	-3,9	-1,0	-15,3	9,6	-21,1	3,3	-1,7	-9,4	10,8	-12,0
X	-2,9	-1,1	-10,3	13,6	-27,0	2,9	-2,2	-9,4	22,6	-16,8
XI	-3,9	-0,6	-9,9	13,4	-31,9	3,7	-2,3	-0,8	37,2	-22,1
XII	-3,9	-1,8	-8,6	12,2	-34,8	3,8	-4,6	-11,4	41,0	-26,2
Średnio Average	-3,7	-1,0	-10,7	10,0	-26,5	3,6	-2,4	-9,2	22,2	-18,0

Skróty jak w tabeli 9.1. / Abbreviations as in table 9.1.

Badania własne. / Own data.

- spacerów i spokojnych zajęć terenowych (MR),
- gier terenowych i intensywnych marszów, turystyki pieszej i rowerowej oraz pracy w terenie otwartym (AR),
- turystyki i rekreacji narciarskiej (ST).

Do oceny warunków pogodowych w kolejnych dniach stosuje się trzystopniowy wskaźnik oceny pogody (*WSI* – *Weather Suitability Index*, bez wymiaru):

- pogoda przydatna bez ograniczeń (*WSI* = 3),
- pogoda przydatna z ograniczeniami (*WSI* = 1),
- pogoda nieprzydatna (*WSI* = 0).

Waloryzując poszczególne sytuacje pogodowe kierowano się wieloletnim doświadczeniem w tym zakresie oraz wynikami badań termofizjologicznych, wskazujących na rozmaite reakcje organizmu na bodźce biotermiczne i meteorologiczne, przy różnym stopniu aktywności fizycznej człowieka (Załącznik B). Wskaźniki cząstkowe oceny pogody dla różnych form rekreacji (*WSI_{SB}*, *WSI_{AB}*, *WSI_{MR}*, *WSI_{AR}*, *WSI_{ST}*) można określić korzystając z załącznika B lub za pomocą programu BioKlima©2.6. W propozycji tej założono, że oceniane rodzaje rekreacji i turystyki odbywają się jedynie w środkowej części dnia, a więc nie uwzględniają dobowych kontrastów temperatury. Oceny stopnia przydatności pogody w każdym dniu należy dokonać oddzielnie dla każdej z wyróżnionych form aktywności człowieka w aktualnych warunkach meteorologicznych.

Kolejnym etapem oceny jest określenie średnich wartości wskaźników oceny (*WSI_{avg}*) dla różnych przekrojów czasowych wielolecia (dekada, miesiąc, pora roku, rok). Można także obliczyć średnią wieloletnią wartość *WSI_{avg}* dla każdego dnia roku. Pozwala to na opracowanie tzw. kalendarza przydatności warunków pogodowych (tab. 9.3). Im bardziej wartość wskaźnika *WSI_{avg}* jest zbliżona do 3, tym częściej w badanym okresie pojawiały się jednostkowe wskaźniki oceny *WSI* o wartościach 3, a im bardziej *WSI_{avg}* jest bliskie 0, tym częściej pojawiały się jednostkowe wskaźniki oceny *WSI* o wartościach 0. Na podstawie średnich wartości wskaźników oceny przyjęto następującą klasyfikację przydatności poszczególnych okresów:

<i>WSI_{avg}</i>	Przydatność pogody w badanym okresie do poszczególnych form aktywności człowieka (SB, AB, MR, AR, ST)
< 0,50	niekorzystna
0,50–1,19	umiarkowanie korzystna
1,20–1,99	korzystna
≥ 2,0	bardzo korzystna.

W badaniach porównawczych różnych obszarów lub okresów celowe jest określenie ogólnej przydatności warunków bioklimatycznych do rekreacji i turystyki. Posługujemy się w tym celu tzw. sumarycznym wskaźnikiem oceny (*WSI_{tot}*). Wyznacza się go poprzez sumowanie wartości *WSI_{avg}* obliczonych dla poszczególnych form aktywności, tzn. kąpiele słonecznych (SB), kąpiele powietrznych (AB), łagodnej rekreacji ruchowej (MR), intensywnej rekreacji ruchowej (AR) i turystyki narciarskiej (ST):

$$WSI_{tot} = WSI_{avg} (SB) + WSI_{avg} (AB) + WSI_{avg} (MR) + WSI_{avg} (AR) + WSI_{avg} (ST) \quad [9.9]$$

Do ogólnej oceny przydatności warunków bioklimatycznych do rekreacji i turystyki zastosowano następującą skalę:

WSI_{tot}	Ogólna ocena warunków pogodowych
< 3,50	niekorzystne
3,50–4,99	umiarkowanie korzystne
5,00–6,49	korzystne
6,50–7,99	bardzo korzystne
≥ 8,00	wybitnie korzystne.

Analiza sumarycznego wskaźnika oceny warunków pogodowych pozwala na wyodrębnienie okresów o różnej przydatności do uprawiania rekreacji w terenie otwartym oraz do turystyki.

9.4. Kompleksowy wskaźnik oceny pogody dla rekreacji (WRI)

W badaniach o charakterze przeglądowym i porównawczym interesuje nas pewien stopień uogólnienia informacji, który niesie ze sobą także element ogólnej oceny. Oceniając ogólny potencjał bioklimatyczny z punktu widzenia rekreacji można zastosować kompleksowy wskaźnik oceny warunków pogodowych (WRI – *Weather Recreation Index*, bez wymiaru). Wskaźnik ten opiera się na ogólnym modelu oceny klimatu (Błażejczyk 1987), mającym postać funkcji potęgowej:

$$y = x^z \quad [9.10]$$

gdzie x jest parametrem reprezentującym ilościowe, a z – jakościowe cechy badanego systemu.

W odniesieniu do warunków bioklimatycznych są to ilościowe i jakościowe cechy pogody.

Właściwością tego modelu jest zachowanie względnej równowagi pomiędzy cechami jakościowymi i ilościowymi, gdy obydwie grupy cech przyjmują wartości przeciętne. Charakterystyczne jest też, że przy bardzo wysokich wartościach jednej z grup cech (jakościowych lub ilościowych) wartości drugiej grupy cech nie mają wpływu na ogólną ocenę (ryc. 9.3).

Do oceny każdej z grup cech zastosowano – za A. Kostrowickim (1970) – model sprawności układu (Ef), oparty na prawie Ohma. Zgodnie z prawem Ohma sprawność układu jest funkcją potencjału (P) i oporu (O) poszczególnych jego składników:

Tabela 9.3. Uśrednione dla kolejnych dni stycznia i lipca wartości wskaźników WSI_SB, WSI_AB, WSI_MR, WSI_AR dla Krakowa, 1991–2000
– przykład kalendarza przydatności warunków pogodowych

Table 9.3. Averaged values of WSI_SB, WSI_AB, WSI_MR, WSI_AR indices for consecutive days of January and July in Kraków, 1991–2000

Styczeń January					Lipiec July				
Dzień Day	WSI_SB	WSI_AB	WSI_MR	WSI_AR	Dzień Day	WSI_SB	WSI_AB	WSI_MR	WSI_AR
1	0.0	0.1	0.9	2.1	1	1.0	1.4	1.4	1.1
2	0.0	0.1	1.1	2.6	2	1.3	1.3	1.1	1.1
3	0.0	0.1	0.9	2.1	3	2.1	2.1	1.7	1.4
4	0.0	0.1	1.2	3.0	4	0.4	1.0	1.0	1.1
5	0.0	0.1	1.0	2.1	5	0.7	0.9	1.0	1.0
6	0.0	0.2	1.3	2.8	6	1.0	1.6	1.1	1.1
7	0.0	0.1	1.0	2.6	7	0.8	0.9	1.3	1.2
8	0.0	0.1	1.0	2.3	8	0.7	0.9	0.9	1.2
9	0.0	0.0	0.9	2.6	9	0.8	0.8	0.9	0.8
10	0.0	0.0	0.7	2.3	10	0.7	0.7	0.9	0.8
11	0.0	0.1	1.0	2.3	11	0.8	0.9	1.0	0.9
12	0.0	0.2	1.3	2.3	12	0.7	1.1	0.9	1.2
13	0.0	0.3	1.6	2.6	13	0.6	0.7	0.7	0.9
14	0.0	0.2	1.3	2.8	14	1.1	1.2	1.1	1.0
15	0.0	0.3	1.4	2.6	15	1.4	1.4	1.1	0.9
16	0.0	0.3	1.6	2.8	16	1.4	1.4	1.7	1.0
17	0.0	0.4	1.8	2.6	17	1.7	1.7	1.7	1.6
18	0.0	0.6	2.1	2.6	18	1.6	1.8	1.4	1.2
19	0.0	0.0	0.8	2.6	19	0.6	0.9	1.3	1.6
20	0.0	0.2	1.4	2.8	20	0.7	1.2	1.6	1.9
21	0.0	0.2	1.1	2.3	21	1.6	1.6	1.4	1.3
22	0.0	0.2	1.3	2.8	22	1.2	1.4	1.2	1.4
23	0.0	0.3	1.3	1.9	23	1.1	1.4	1.4	1.7
24	0.0	0.0	0.8	2.6	24	1.4	1.7	1.6	1.6
25	0.0	0.4	1.8	2.3	25	1.3	1.8	1.8	1.3
26	0.0	0.1	1.1	2.3	26	0.3	0.8	0.8	0.6
27	0.0	0.2	1.4	2.3	27	0.3	0.3	0.7	0.7
28	0.0	0.0	0.7	2.3	28	0.8	0.9	1.2	1.2
29	0.0	0.3	1.4	2.3	29	1.9	2.3	1.7	1.6
30	0.0	0.2	1.3	2.3	30	1.3	1.6	0.6	0.4
31	0.0	0.1	1.1	2.3	31	0.7	0.9	0.8	0.9

Badania własne. / Own data.

$$Ef = P / O \quad [9.11]$$

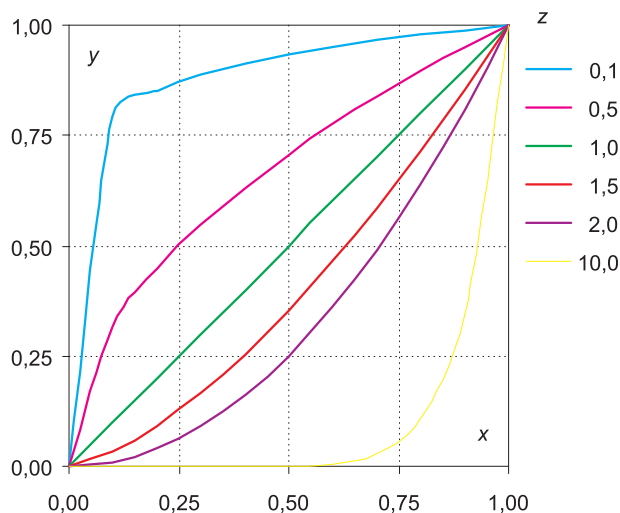
Łącząc obydwa podejścia ogólny model oceny warunków pogodowych dla rekreacji ma następującą postać:

$$WRI = (Px/Ox) (Oz/Pz) \quad [9.12]$$

gdzie Px oznacza potencjał, a Ox opór cech jakościowych warunków pogodowych, natomiast Pz jest potencjałem, a Oz – oporem cech jakościowych pogody.

Jako składniki szczegółowego modelu oceny proponuje się przyjąć następujące cechy pogody (Błażejczyk 2005a, 2007b):

- jako potencjał cech ilościowych (Px) – częstość (%) neutralnych warunków stresu termofizjologicznego (T_n),
- jako opór cech ilościowych (Ox) – częstość (%) skrajnych odczuć cieplnych, tj. 'zimno', 'bardzo zimno', 'mroźnie', 'bardzo gorąco' i 'upalnie' (STI_{ex}),
- jako potencjał cech jakościowych (Pz) – częstość (%) umiarkowanych bodźców radiacyjnych (Rad),
- jako opór cech jakościowych (Oz) – częstość (%) dni z opadem (RR^*).



Ryc. 9.3. Właściwości ogólnego modelu oceny [9.10];

y – wartość oceny, x – cechy jakościowe oceny, z – cechy ilościowe oceny

Fig. 9.3. Specificity of general evaluation model [9.10];

y – evaluation value, x – quantity features of evaluation, z – quality features of evaluation

Badania własne. / Own data.

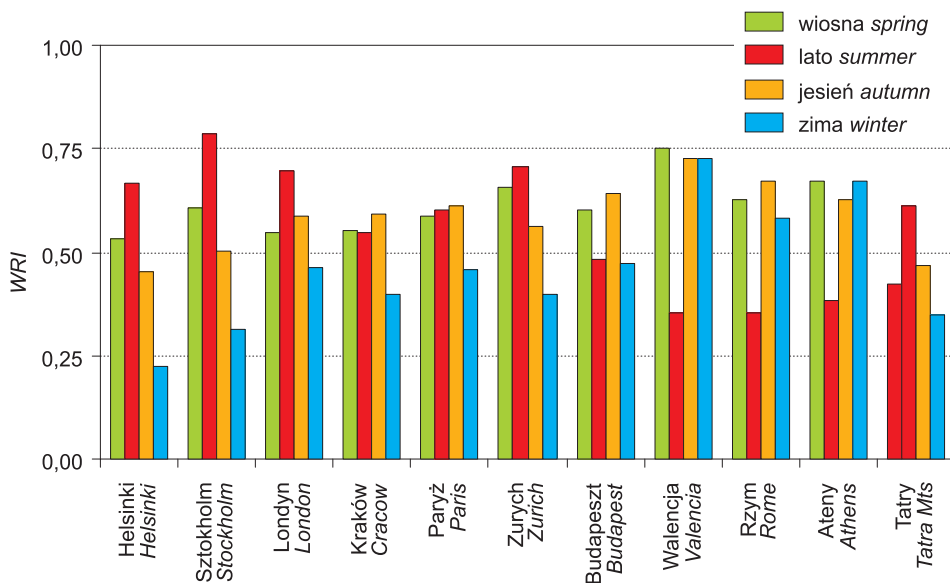
Ostatecznie, szczegółowa postać wskaźnika oceny warunków pogodowych dla rekreacji (WRI) ma postać:

$$WRI = \left[0,5 \cdot \frac{(100 + T_n)}{(100 + STI_{ex})} \right] \left[\frac{(100 + RR)^*}{(100 + Rad)} \right] \quad [9.13]$$

Poszczególnym zakresom wartości wskaźnika WRI można przypisać następujący stopień przydatności do rekreacji:

WRI	Przydatność pogody do rekreacji
< 0,30	niekorzystna
0,30–0,49	umiarkowanie korzystna
0,50–0,69	korzystna
≥ 0,70	bardzo korzystna.

Rycina 9.4 prezentuje średnie sezonowe wartości wskaźnika WRI obliczone dla wybranych miast europejskich. W miastach skandynawskich, Londynie oraz w stacjach górskich (Zurych, Tatry) widać wyraźnie wysokie wartości WRI latem oraz bardzo niskie w miesiącach zimowych. W basenie Morza Śródziemnego okres letni cechuje się obniżoną przydatnością pogody do rekreacji i turystyki, zwłaszcza aktywnej. W miastach Europy środkowej korzystne warunki pogodowe panują przez większość roku.



Ryc. 9.4. Średnie sezonowe wartości wskaźnika WRI w wybranych miastach europejskich, 1991–2000

Fig. 9.4. Mean seasonal values of WRI index in selected European cities, 1991–2000
Źródło / Source: Błażejczyk (2005a, 2007b).

V. WARUNKI BIOKLIMATYCZNE POLSKI A MOŻLIWOŚĆ REKREACJI I TURYSTYKI

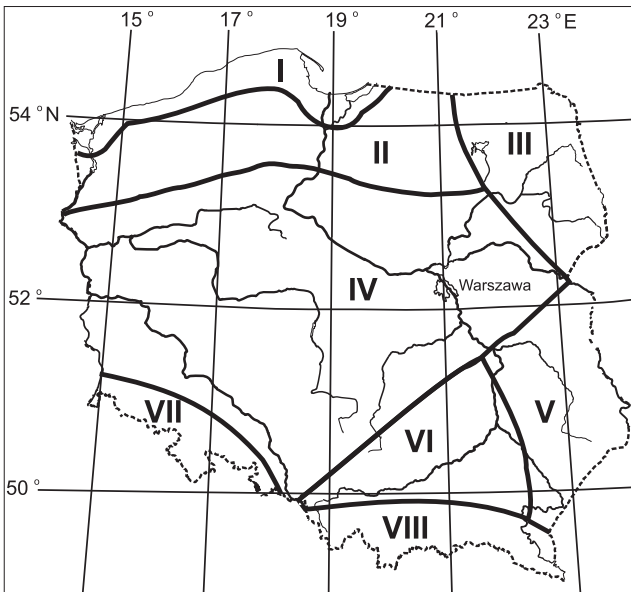
Charakterystyczną cechą ruchu turystycznego w Polsce jest jego wyraźna sezonowość; potwierdzają to dane z dawnych województw koszalińskiego i jeleniogórskiego. W środkowej części polskiego wybrzeża Bałtyku ponad 80% wszystkich gości przyjeżdża do ośrodków turystycznych i wczasowych w miesiącach letnich (od czerwca do sierpnia). W Sudetach obserwuje się dwa sezony nasilenia ruchu turystycznego: na okres letni przypada około 40% gości, a na miesiące zimowe (od stycznia do marca) – prawie 27%. Dlatego w dalszej części pracy szczególną uwagę poświęcono warunkom bioklimatycznym panującym w letnim i zimowym sezonie turystycznym.

Podstawowym okresem obserwacyjnym, na podstawie którego dokonano charakterystyki warunków bioklimatycznych Polski z punktu widzenia rekreacji i turystyki, są lata 1971–1990. Dane te były wcześniej w znacznej części wykorzystane w monografiach K. Błażejczyka (2004a) oraz T. Kozłowskiej-Szczęsnej i innych (2002). Na potrzeby obecnego opracowania materiały te uzupełniono o nowe dane.

10. Regionalne zróżnicowanie warunków bioklimatycznych

Obszary turystyczne w Polsce są rozmieszczone nierównomiernie, a główne ich centra są zlokalizowane w najatrakcyjniejszych krajobrazowo częściach kraju. Znaczna część stacji meteorologicznych, dla których posiadano dane obserwacyjne, znajduje się w uzdrowiskach. Miejscowości te są jednocześnie ośrodkami turystycznymi i centrami rekreacji.

Analizując zróżnicowanie warunków bioklimatycznych w Polsce posłużono się zmodyfikowaną regionalizacją T. Kozłowskiej-Szczęsnej (1987, 1988, 1991). Jej ostatnia wersja była opublikowana w roku 2002 (Kozłowska-Szczęsna i inni 2002). Modyfikacji dokonano opierając się na regionalizacjach Polski wykonanych przez B. Krawczyk (1988, 1991, 1993) i K. Błażejczyka (1985b, 1992a), jak również na najnowszych wynikach badań dotyczących zróżnicowania biotermicznego Polski (Błażejczyk 2003). Wyróżniono następujące regiony bioklimatyczne: Nadmorski, Pojezierny, Północno-wschodni, Centralny, Południowo-wschodni, Świętokrzysko-małopolski, Sudecki i Karpacki (ryc. 10.1).



Ryc. 10.1. Regiony bioklimatyczne Polski:

I – Nadmorski, II – Pojezierny, III – Północno-wschodni,
IV – Centralny, V – Południowo-wschodni, VI – Świętokrzysko-małopolski, VII – Sudecki, VIII – Karpacki. Podstawowe charakterystyki warunków klimatycznych w sezonie letnim i zimowym zawiera tabela 10.1

Fig. 10.1. Bioclimatic regions of Poland:

I – Coastal, II – Lakeland, III – North-eastern, IV – Central, V – South-eastern,
VI – Upland, VII – Sudetic, VIII – Carpathian. For essential climate characteristics see table 10.1

Badania własne. / Own data.

10.1. Bodźce radiacyjne

Zróznicowanie bodźców radiacyjnych przedstawiono na podstawie trzech charakterystyk: usłonecznienia rzeczywistego, wielkości zachmurzenia oraz bilansu radiacyjnego w drugim terminie obserwacyjnym, a więc w godzinach okołopołudniowych.

Tabela 10.1. Podstawowe charakterystyki klimatu w regionach bioklimatycznych Polski

Table 10.1. Principal characteristics of bioclimatic region of Poland

Charakterystyka klimatu <i>Climate characteristic</i>	Sezon <i>Season</i>	Regiony bioklimatyczne <i>Bioclimatic regions</i>							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Usłonecznienie (godzin dziennie) <i>Sunshine duration (hours per day)</i>	Ws	0,77	0,76	0,79	0,77	0,85	0,75	0,85	0,85
	Ss	2,45	2,34	2,46	2,37	2,33	2,20	2,06	1,98
Temperatura powietrza o 12:00 UTC <i>Air temperature at 12:00 UTC (°C)</i>	Ws	2,1	1,2	-0,3	1,9	0,5	2,2	1,6	1,4
	Ss	18,4	19,4	19,5	21,3	21,1	20,5	18,9	19,4
Suma opadu <i>Precipitation totals (mm)</i>	Ws	109	105	103	82	109	99	125	127
	Ss	189	220	250	214	232	273	296	340
Temperatura odczuwalna <i>Subjective temperature (STI, °C)</i>	Ws	9,9	9,5	3,4	10,1	11,4	14,0	13,0	13,9
	Ss	38,7	38,5	35,2	40,1	42,8	42,7	40,7	40,2

Ws – zimowy sezon turystyczny: styczeń–marzec; Ss – letni sezon turystyczny: czerwiec–sierpień.

Ws – winter tourism season: January–March; Ss – summer tourism season: June–August.

Źródło / Source: Błażejczyk (2004a).

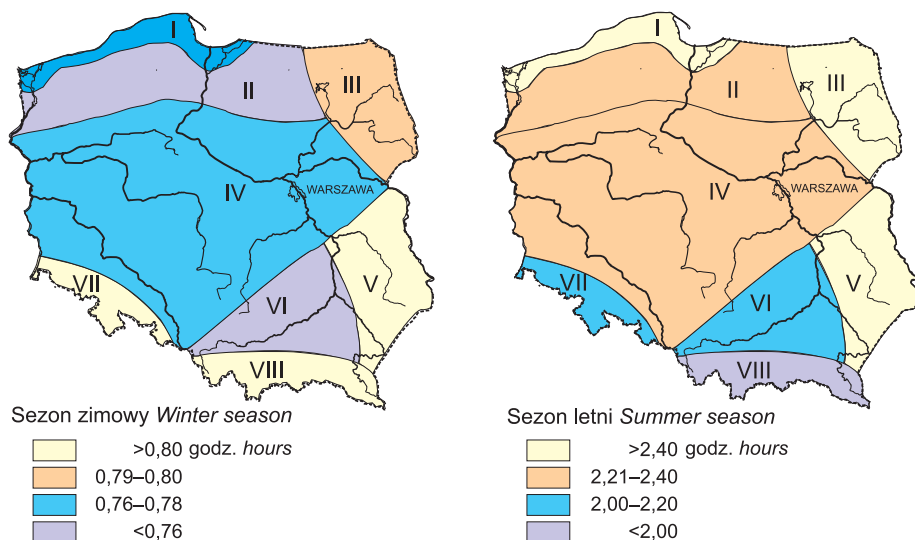
We wszystkich regionach roczna suma godzin ze słońcem przekracza normę usłonecznienia dla miejscowości wypoczynkowych wynoszącą 1350 godzin. Największe wartości usłonecznienia występują w Regionie Nadmorskim (ponad 1600 godzin rocznie, z wyjątkiem zachodniej części wybrzeża), a następnie w regionach: Północno-wschodnim i Południowo-wschodnim (1560–1580 godz.). Należy tu także zwrócić uwagę, że w Regionie Karpackim, w miejscowościach zlokalizowanych w dnach głębokich dolin, suma godzin z dopływem bezpośredniego promieniowania słonecznego jest znacznie obniżona (1200–1300 godz. rocznie) na skutek dużego zasłonięcia horyzontu.

W przebiegu rocznym usłonecznienie zmienia się od 25–50 godz. miesięcznie w grudniu do 180–250 godz. od maja do lipca i jest wyraźnie zróżnicowane

regionalnie. W regionach: Nadmorskim, Pojeziernym i Północno-wschodnim notuje się najmniejsze w Polsce sumy usłonecznienia w miesiącach zimowych, a jednocześnie największe jego sumy późną wiosną i latem (maj–czerwiec). W Sudeckim i Karpackim w miesiącach zimowych usłonecznienie jest nieco większe, natomiast latem znacznie mniejsze niż w pozostałej części Polski. Te różnice uwarunkowane są z jednej strony czynnikami astronomicznymi (długość dnia), a z drugiej – stopniem zachmurzenia nieba (tab. 10.2).

W obrazie zróżnicowania regionalnego średnich dobowych sum usłonecznienia rzeczywistego w zimowym i letnim sezonie turystycznym widać wyraźne uprzywilejowanie regionów Sudeckiego i Karpackiego w okresie styczeń–marzec. W miesiącach letnich najkorzystniejsze warunki usłonecznienia panują w regionach: Nadmorskim i Północno-wschodnim. Spośród pozostałych wyróżnia się Region Południowo-wschodni, gdzie zarówno latem, jak i zimą warunki solarne są korzystne (ryc. 10.2).

Analizując wielkość zachmurzenia ogólnego w ciągu dnia (godz. 12 czasu uniwersalnego – UTC, co odpowiada godzinie 13:00 czasu urzędowego w okresie zimowym i godzinie 14:00 czasu urzędowego w okresie letnim) można zauważyć, że zmienia się ono od 50–60% w maju i czerwcu do ponad 80% w okresie zimowym. Podobnie jak w przypadku usłonecznienia, obserwuje się znaczne zróżnicowanie regionalne.



Ryc. 10.2. Średnie sumy dzienne usłonecznienia rzeczywistego w regionach bioklimatycznych (I–VIII, patrz ryc. 10.1)

Fig. 10.2. Mean daily sunshine duration in bioclimatic regions (I–VIII, see fig. 10.1)
Badania własne. / Own data.

Zróżnicowanie sezonowe i regionalne zachmurzenia widać wyraźnie na mapach przedstawiających jego średnie wartości w badanych regionach w sezonie letnim

Tabela 10.2. Średnie miesięczne i roczne usłonecznienie rzeczywiste (godz.), 1971–1990

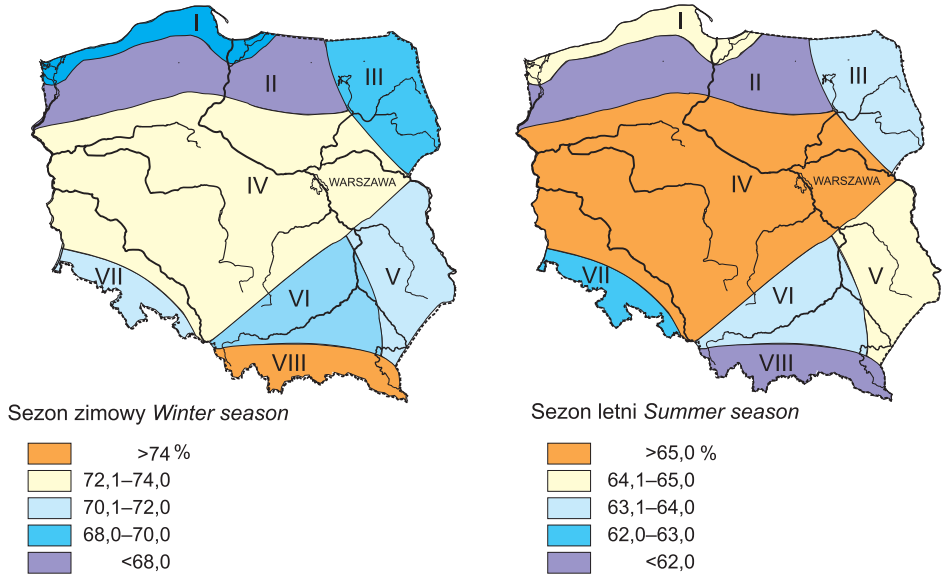
Table 10.2. Mean monthly and annual sunshine duration (hours), 1971–1990

Miejscowość <i>Site</i>	Miesiące <i>Months</i>												Rok <i>Year</i>
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<i>Region Nadmorski Coastal Region</i>													
Dziwnów	30,3	61,9	101,4	163,7	241,4	210,6	216,6	213,2	135,1	94,0	45,2	30,0	1543,4
Świnoujście	37,0	60,0	124,0	163,0	210,0	228,0	218,0	205,0	164,0	96,0	44,0	29,0	1578,0
Kołobrzeg	37,4	66,9	109,6	171,8	250,7	219,7	228,9	229,5	139,3	104,5	46,9	34,1	1639,3
Ustka	35,8	63,5	110,3	171,9	249,7	227,2	233,7	235,0	137,9	101,6	43,1	32,2	1641,7
Hel	34,0	55,4	106,4	168,9	254,5	236,0	242,1	228,5	139,7	96,3	40,9	24,6	1627,3
Gdynia	41,0	61,7	111,9	165,0	241,5	228,2	236,5	224,3	143,1	105,5	50,2	32,6	1641,5
<i>Region Pojezierny Lakeland Region</i>													
Resko	36,0	54,0	115,0	148,0	205,0	230,0	215,0	200,0	155,0	91,0	35,0	24,0	1508,0
<i>Region Północno-wschodni North-East Region</i>													
Suwałki	36,6	66,5	113,8	157,8	240,0	230,3	228,3	222,0	134,8	91,8	34,0	25,4	1581,2
Białystok	39,3	57,9	113,1	156,6	237,2	219,5	231,0	228,8	139,2	97,5	38,8	26,0	1584,7
<i>Region Centralny Central Region</i>													
Inowrocław	38,0	56,0	124,0	155,0	213,0	233,0	229,0	217,0	171,0	96,0	39,0	38,0	1599,0
Ciechocinek	34,0	60,3	104,8	147,0	225,7	199,9	210,4	218,6	129,8	94,4	43,5	25,7	1494,1
Belsk	49,4	56,5	111,3	151,2	203,9	240,3	229,8	213,3	151,1	97,6	39,1	33,2	1576,8
Warszawa-Międzylesie	46,3	55,4	109,7	151,5	206,5	240,0	226,8	213,5	151,2	96,2	38,4	29,7	1565,0
<i>Region Południowo-wschodni South-East Region</i>													
Puławy	50,2	67,0	115,4	154,2	217,2	209,8	225,1	223,9	137,2	108,1	50,1	35,1	1593,3
Zamość	50,4	70,6	107,8	148,6	213,9	193,1	224,7	210,8	135,8	120,1	53,3	34,1	1563,2
<i>Region Świętokrzysko-malopolski Upland Region</i>													
Skroniów	44,0	58,0	110,0	149,0	186,0	214,0	216,0	204,0	158,0	104,0	45,0	33,0	1521,0
Kraków	40,7	61,2	91,9	128,1	187,5	184,3	203,2	190,8	116,9	102,4	49,7	34,1	1390,8

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<i>Region Sudecki Sudetic Region</i>													
Jelenia Góra	61,4	81,7	109,8	135,2	186,7	161,0	182,7	185,9	125,1	125,0	63,2	47,5	1465,2
Szczawno-Zdrój	54,4	69,7	109,7	137,1	193,5	166,1	192,1	191,6	129,8	120,3	59,1	42,0	1465,2
Kłodzko	53,7	72,4	109,6	149,3	203,8	191,5	210,1	206,8	130,1	118,4	57,3	44,4	1547,4
Kudowa-Zdrój	35,0	54,0	106,0	149,0	183,0	193,0	200,0	192,0	150,0	107,0	41,0	30,0	1440,0
<i>Region Karpacki Carpathian Region</i>													
Wisła	47,8	69,7	98,4	125,5	192,2	171,8	197,1	195,4	122,6	112,2	52,7	38,1	1423,5
Zaborze-Golysz	54,1	74,5	103,8	134,0	191,8	174,2	197,5	192,1	125,2	113,8	59,6	45,7	1466,3
Krynica-Zdrój	56,0	68,0	109,0	140,0	161,0	169,0	188,0	189,0	152,0	118,0	56,0	38,0	1444,0
Muszyna	48,0	69,2	104,1	122,0	165,3	166,5	179,0	170,4	122,8	107,7	50,1	33,3	1338,5
Rabka-Zdrój	60,2	80,5	112,4	129,0	180,5	178,4	183,6	193,3	134,2	114,9	72,7	54,6	1494,3
Iwonicz-Zdrój	36,6	58,4	100,6	116,7	166,1	153,5	170,0	174,6	112,9	98,3	41,9	25,3	1254,9
Lesko	65,1	80,6	117,6	129,2	185,5	176,2	197,5	199,2	133,4	118,4	69,0	52,7	1524,6

Źródło: Kozłowska-Szczęsna i inni (2002). / Source: Kozłowska-Szczęsna et al. (2002).

i zimowym. Latem obserwuje się uprzywilejowanie regionów Centralnego i Nadmorskiego w stosunku do pozostałej części Polski, a szczególnie w odniesieniu do Regionu Karpackiego i Pomorskiego. Zimą najdogodniejsze warunki zachmurzenia występują w Regionie Karpackim. W Regionie Centralnym stosunkowo korzystne warunki zachmurzenia panują zarówno latem, jak i zimą (ryc. 10.3).



Ryc. 10.3. Średnie wartości zachmurzenia o godz. 12:00 UTC w różnych regionach bioklimatycznych (I–VIII, patrz ryc. 10.1)

Fig. 10.3. Mean cloudiness at 12:00 UTC in bioclimatic regions (I–VIII, see fig. 10.1)
Badania własne. / Own data.

W Polsce północnej, północno-wschodniej i środkowej zachmurzenie cechuje się dużymi zmianami sezonowymi, z minimum latem i maksimum zimą. Wyjątkiem jest tu najbardziej na zachód wysunięta część wybrzeża (Swinoujście), gdzie nie zaznaczają się zmiany sezonowe. W Polsce południowo-wschodniej oraz na Wyżynie Śląsko-Małopolskiej zmiany sezonowe zachmurzenia są mniej wyraźne niż w regionach wspomnianych poprzednio. Na południu Polski (regiony Sudecki i Karpacki) typowe jest przesunięcie najmniejszych wartości zachmurzenia na miesiące jesienne (wrzesień–październik) oraz znacznie mniejsze niż w Polsce północnej zachmurzenie w okresie zimowym. W niektórych miejscowościach (np. Rabka, Muszyna) zachmurzenie w miesiącach zimowych jest nawet mniejsze niż latem (tab. 10.3).

Jak wspomniano w rozdziale 5, najpełniejszą charakterystykę oddziaływania środowiska atmosferycznego na człowieka można uzyskać analizując jego bilans cieplny. Istotnym składnikiem tego bilansu jest bilans radiacyjny. Zróżnicowanie regionalne bilansu radiacyjnego człowieka ilustruje rycina 10.4. Nie obserwuje się istotnych różnic sezonowych i regionalnych w odniesieniu do wymiany ciepła

poprzez promieniowanie długofalowe (L). Wartości strumienia L są podobne na porównywanych stacjach i mają wyrównany przebieg roczny. Odmiennie kształtują się wartości pochłoniętego promieniowania słonecznego (R). W przebiegu rocznym wartości strumienia R wahają się od około 5 do około 40 $W \cdot m^{-2}$. Największe natężenie strumienia R notuje się w Inowrocławiu, a najmniejsze – w Tatrach. Zróżnicowanie sezonowe pochłoniętego promieniowania słonecznego sprawia, że także bilans radiacyjny człowieka (Q) ma wyraźną sezonowość. W Polsce północnej i środkowej dodatnie wartości Q obserwuje się od maja do sierpnia lub września. W Tatrach zmiany sezonowe Q są mniejsze niż w pozostałej części Polski i przez cały rok mają one wartości ujemne. Oznacza to, że nawet w miesiącach letnich dopływ i pochłanianie promieniowania słonecznego są mniejsze niż wypromieniowanie długofalowe, a do zachowania równowagi cieplnej człowieka niezbędne jest stosowanie odpowiedniej odzieży (o podwyższonej termoizolacyjności lub o ciemnej barwie) i/lub ruchu, który zwiększa metaboliczną produkcję ciepła.

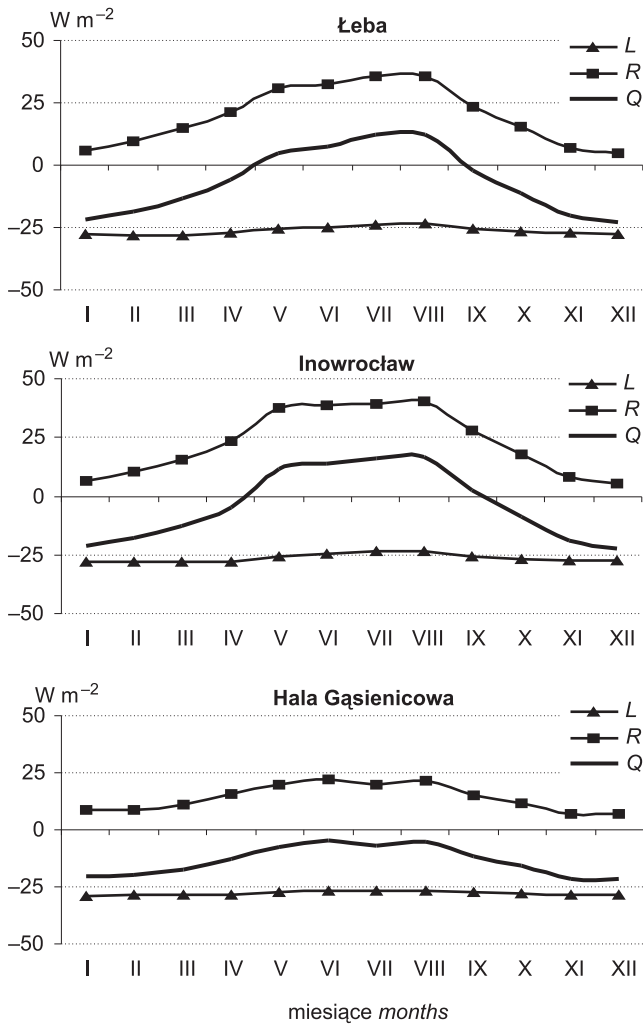
10.2. Bodźce termiczno-wilgotnościowe

Najprostszym sposobem określenia natężenia bodźców termiczno-wilgotnościowych jest analiza podstawowych charakterystyk temperatury i wilgotności powietrza. Porównując średnią roczną temperaturę w ciągu dnia (godz. 12:00 UTC) można stwierdzić, że najwyższe jej wartości występują w Regionie Centralnym (10,9–11,4°C) oraz Świętokrzysko-małopolskim (10,5–11,4°C). W pozostałych regionach średnia roczna temperatura powietrza w godzinach okołopołudniowych wynosi od 8,8 do 10,5°C (tab. 10.4). Najchłodniejszy jest styczeń, gdy średnia temperatura powietrza jest niższa od zera (jedynie w Regionie Nadmorskim ma wartości dodatnie), a najcieplejszy – lipiec lub sierpień.

Średnie wartości temperatury powietrza w ciągu dnia są na obszarze Polski dość silnie zróżnicowane. W sezonie zimowym wyróżnia się Region Północno-wschodni, gdzie temperatura jest niższa od zera. Najcieplejsze wtedy regiony to Nadmorski i Świętokrzysko-małopolski. W sezonie letnim najchłodniejsze są regiony Nadmorski i Sudecki, a najcieplejsze – Centralny i Południowo-wschodni (ryc. 10.5).

Syntetyczny obraz przestrzenny dni mroźnych i gorących przedstawia rycina 10.6. Najczęstsze występowanie skrajnych wartości temperatury charakteryzuje Region Południowo-wschodni, gdzie w sezonie zimowym jest dużo dni mroźnych, a w sezonie letnim – dni gorących. Najłagodniejsze warunki termiczne obserwuje się w Regionie Nadmorskim, gdzie w sezonie zimowym jest niewiele dni mroźnych, a latem – mało dni gorących.

Dni gorących (z temperaturą maksymalną równą lub wyższą od 25°C) jest w Polsce od 7 w Gdyni do ponad 42 w Ciechocinku (tab. 10.5). Występują od maja do września, a w niektórych miejscowościach sporadycznie także w kwietniu i październiku. Najmniej dni gorących bywa w Regionie Nadmorskim (7–20 w roku), a najwięcej na Kujawach (34–42 w roku). Dużo – ponad 30 rocznie – jest ich także w regionach Południowo-wschodnim i Świętokrzysko-małopolskim.



Ryc. 10.4. Przebieg roczny składników bilansu radiacyjnego człowieka:

L – straty ciepła poprzez promieniowanie długofalowe,

R – pochłonięte promieniowanie słoneczne, *Q* – bilans radiacyjny

Fig. 10.4. Annual course of the components of radiation balance in man:

L – heat loss by long-wave radiation, *R* – absorbed solar radiation,

Q – net radiation

Badania własne. / Own data.

Na zanotowaną liczbę dni gorących poza czynnikami regionalnymi wpływa także lokalizacja stacji. Na przykład na stacji w Piwnicznej, położonej w dolnej części eksponowanego na południe zbocza, dni gorących jest aż 35, a w Świeradowie, leżącym na zboczu o wystawie północnej – tylko 10,5 w roku. Największe

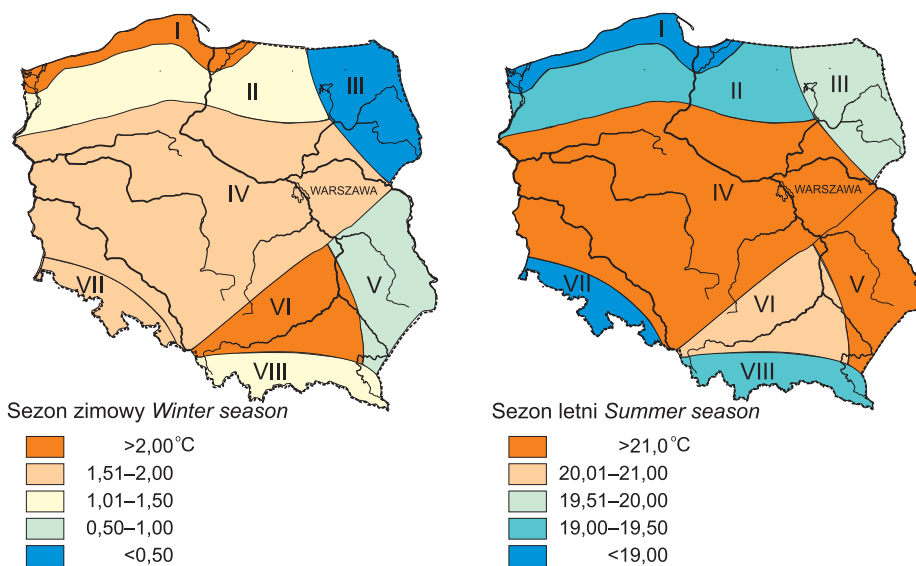
Tabela 10.3. Średnie miesięczne i roczne zachmurzenie (%)
o godzinie 12:00 UTC, 1971–1990

Table 10.3. Mean monthly and annual cloudiness (%) at 12:00 UTC, 1971–1990

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Nadmorski <i>Coastal Region</i>													
Swinoujście	63	63	70	66	67	64	66	64	65	66	64	62	65
Kamień Pomorski	86	75	70	63	49	57	59	54	64	73	80	85	68
Kołobrzeg	80	75	73	69	60	65	67	64	71	73	81	82	72
Ustka	78	74	68	64	55	62	62	57	69	69	79	78	68
Gdynia	79	77	72	68	61	67	66	64	71	70	79	80	71
Region Pojezierny <i>Lakeland Region</i>													
Połczyn Zdrój	79	76	71	69	61	68	67	62	70	71	82	81	71
Region Północno-wschodni <i>North-East Region</i>													
Gołdap	80	74	68	66	62	69	73	63	70	68	84	85	72
Białystok	78	72	65	62	57	62	60	53	62	65	80	82	66
Region Centralny <i>Central Region</i>													
Inowrocław	78	71	72	68	58	62	64	63	65	65	77	80	69
Ciechocinek	76	74	64	68	63	66	67	64	69	68	81	82	70
Wieniec-Zdrój	69	61	55	56	50	54	58	52	54	64	74	70	60
Warszawa Okęcie	74	71	68	69	63	66	64	60	66	68	78	79	69
Region Południowo-wschodni <i>South-East Region</i>													
Nałęczów	72	71	70	69	67	68	66	61	65	66	76	81	69
Zamość	72	70	64	62	52	59	55	48	55	58	72	75	62
Horyniec-Zdrój	73	78	76	62	70	63	67	64	58	59	78	84	69
Region Świętokrzysko-małopolski <i>Upland Region</i>													
Szaniec	74	72	68	71	65	68	63	60	68	65	77	79	69
Pszczyna	69	66	64	64	60	64	58	54	60	56	70	73	63
Wieliczka	77	76	72	72	71	73	72	64	70	70	79	82	73
Region Sudecki <i>Sudetic Region</i>													
Świeradów-Zdrój	65	63	62	63	61	66	62	56	62	55	69	69	63
Cieplice Śląskie-Zdrój	70	69	69	74	72	75	72	68	69	61	72	73	70
Szczawno-Zdrój	71	70	70	68	67	72	67	62	66	62	71	74	68
Długopole-Zdrój	69	66	62	59	56	63	57	54	57	56	71	72	62
Duszniki-Zdrój	75	74	70	66	66	69	66	59	64	62	77	77	69
Kudowa-Zdrój	78	74	78	67	60	64	61	60	59	61	81	82	69
Łądek-Zdrój	73	70	70	70	67	73	69	62	66	59	73	75	69
Polanica-Zdrój	74	70	71	70	67	71	67	58	63	58	73	75	68
Region Karpacki <i>Carpathian Region</i>													
Wisła	67	65	68	68	66	72	63	61	64	56	69	73	66
Rabka-Zdrój	59	56	59	62	63	64	61	53	55	51	61	63	59
Szczawnica	66	64	64	67	64	65	61	57	60	56	67	69	63
Piwniczna-Zdrój	64	63	64	69	67	67	67	60	58	55	67	70	64

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Karpacki <i>Carpathian Region</i>													
Żegiestów-Zdrój	75	66	63	66	63	64	60	61	59	60	74	79	66
Muszyna	68	66	66	72	69	72	67	61	61	59	72	74	67
Krynica-Zdrój	68	67	64	67	65	68	63	62	63	60	73	75	66
Wysowa-Zdrój	73	69	64	70	67	70	65	60	61	61	76	78	68
Iwonicz-Zdrój	75	72	70	77	72	75	72	67	69	66	78	80	73
Rymanów-Zdrój	68	70	64	57	62	53	54	55	48	50	69	77	61
Solina	76	69	72	76	71	75	68	67	66	56	73	78	71

Źródło: Kozłowska-Szczęsna i inni (2002). / Source: Kozłowska-Szczęsna et al. (2002).



Ryc. 10.5. Średnie wartości temperatury powietrza o godzinie 12:00 UTC w różnych regionach bioklimatycznych (I–VIII, patrz ryc. 10.1)

Fig. 10.5. Mean values of air temperature at 12:00 UTC in bioclimatic regions (I–VIII, see fig. 10.1)

Badania własne. / Own data.

prawdopodobieństwo wystąpienia szczególnie gorących, czyli niekorzystnych warunków termicznych, jest w lipcu i sierpniu.

Niekorzystne dla rekreacji są także dni bardzo mroźne, z temperaturą minimalną $\leq -10^{\circ}\text{C}$. Ich roczna liczba waha się od 4,6 w Gdyni do prawie 38 w Horyńcu. Ogólnie biorąc najmniej dni bardzo mroźnych spotyka się w Regionie Nadmorskim (4,5–8), a najwięcej na wschodnich i północno-wschodnich krańcach Polski (tab. 10.6).

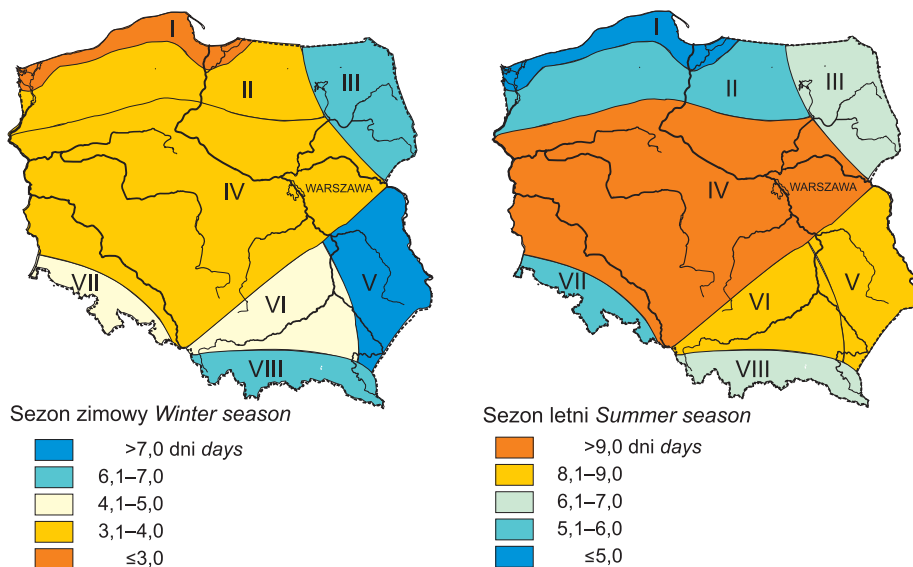
Tabela 10.4. Temperatura powietrza (°C) o godz. 12:00 UTC, 1971–1990

Table 10.4. Air temperature (°C) at 12:00 UTC, 1971–1990

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Nadmorski <i>Coastal Region</i>													
Swinoujście	0,6	1,5	4,9	8,2	13,9	17,2	19,4	19,8	16,1	11,4	5,7	2,5	10,1
Kamień Pomorski	0,3	1,2	5,1	8,9	15,4	18,0	19,8	20,2	16,5	11,3	5,5	1,9	10,3
Ustka	0,5	1,4	4,5	7,3	12,4	15,6	18,4	19,2	15,7	11,4	5,8	2,3	9,5
Kołobrzeg	0,4	1,6	4,9	7,8	13,2	16,5	18,8	19,5	15,9	11,6	5,8	2,4	9,9
Gdynia	0,4	0,8	3,7	6,8	12,1	16,1	18,7	19,1	15,5	10,9	5,6	2,4	9,3
Region Pojezierny <i>Lakeland Region</i>													
Połczyn-Zdrój	-1,0	0,2	4,5	9,4	16,0	18,2	19,8	20,1	15,3	10,5	4,7	1,3	9,9
Region Północno-wschodni <i>North-East Region</i>													
Gołdap	-2,7	-1,4	3,2	9,2	16,4	18,6	19,9	20,1	15,1	9,8	3,2	-0,5	9,2
Region Centralny <i>Central Region</i>													
Inowrocław	-0,9	0,0	5,4	11,1	17,8	20,3	21,9	21,6	16,6	11,9	5,1	1,0	11,0
Ciechocinek	-0,4	0,9	6,3	11,3	18,2	20,5	22,2	22,2	17,4	11,8	5,3	1,5	11,4
Wieniec-Zdrój	-0,9	0,8	6,2	10,4	17,1	20,5	21,0	21,8	17,2	10,7	5,3	0,4	10,9
Warszawa Okęcie	-0,9	0,6	5,3	11,4	17,5	20,2	21,7	21,9	16,7	11,3	4,5	0,8	10,9
Region Południowo-wschodni <i>South-East Region</i>													
Nałęczów	-1,4	0,1	5,4	11,4	17,6	19,7	21,7	21,6	16,9	11,3	4,5	0,7	10,8
Horyniec-Zdrój	-3,5	-1,0	3,5	12,5	16,9	20,7	21,7	21,1	18,0	13,2	6,0	-1,8	10,6
Region Świętokrzysko-małopolski <i>Upland Region</i>													
Szaniec	-1,7	0,0	5,5	10,7	16,9	19,2	21,1	21,0	16,7	11,3	4,4	0,8	10,5
Pszczyna	-0,3	1,5	6,6	11,0	17,1	19,1	21,0	21,0	17,0	12,2	5,3	1,6	11,1
Wieliczka	-0,3	1,4	6,8	11,5	17,5	19,5	21,4	21,6	17,2	12,4	5,6	1,8	11,4
Region Sudecki <i>Sudetic Region</i>													
Świeradów-Zdrój	-0,6	0,6	4,2	7,9	14,0	16,2	18,1	18,5	14,5	10,4	3,9	1,0	9,1
Cieplice Śląskie-Zdrój	0,5	2,0	6,3	9,9	15,7	17,9	19,9	20,3	16,7	12,5	5,9	2,5	10,8
Szczawno-Zdrój	-0,5	0,7	4,8	8,8	14,8	17,2	19,2	19,8	15,5	11,0	4,4	1,3	9,8
Kudowa-Zdrój	-1,7	0,2	5,1	9,6	12,9	18,1	19,7	19,8	15,4	11,5	3,9	0,5	9,6
Duszniki-Zdrój	-2,0	-0,3	3,7	7,9	14,2	16,9	18,8	19,0	14,9	9,9	2,8	0,0	8,8
Polanica-Zdrój	-0,6	0,9	5,5	9,8	15,8	18,2	20,0	20,4	16,1	11,4	4,5	1,3	10,3
Długopole-Zdrój	-1,0	0,6	5,2	9,6	15,6	17,9	19,8	20,1	15,9	11,0	4,1	1,0	10,0
Łądek-Zdrój	-0,6	0,9	5,2	9,4	15,4	17,7	19,5	19,9	15,6	11,1	4,3	1,2	10,0
Region Karpacki <i>Carpathian Region</i>													
Wisła	-0,6	0,5	5,5	10,5	16,5	17,8	20,2	20,4	16,6	12,6	4,9	1,2	10,5
Rabka-Zdrój	-0,3	1,4	5,7	9,9	15,8	17,9	19,6	19,9	16,0	11,8	5,0	1,2	10,3
Szczawnica	-1,2	0,9	5,9	10,4	16,1	18,0	19,9	19,9	15,8	11,4	4,3	0,4	10,2
Piwniczna-Zdrój	-0,8	1,6	6,7	11,2	16,9	19,2	21,0	21,2	17,2	12,3	4,7	0,7	11,0
Zegiestów-Zdrój	-2,0	0,8	6,0	10,6	16,3	18,6	20,4	20,3	16,4	11,4	3,5	-0,3	10,2
Muszyna	-1,5	0,9	6,4	10,4	16,3	18,5	20,2	20,5	16,8	11,4	4,2	0,2	10,4
Krynica-Zdrój	-1,8	0,4	5,2	9,6	15,4	17,6	19,5	19,4	15,6	10,8	3,4	-0,2	9,6

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Karpacki <i>Carpathian Region</i>													
Wysowa-Zdrój	-3,1	-0,8	4,4	9,5	15,1	17,6	19,4	19,3	15,2	9,7	2,3	-1,4	8,9
Iwonicz-Zdrój	-2,1	-0,3	4,8	9,8	15,6	18,0	19,5	19,5	15,3	10,2	3,1	-0,5	9,4
Rymanów-Zdrój	-3,9	-1,3	2,9	11,7	15,4	19,5	20,5	20,0	17,3	12,1	5,9	-2,2	9,8
Solina	-0,4	0,4	5,3	10,2	16,1	18,3	19,9	19,7	16,1	11,9	4,6	0,8	10,2

Źródło: Kozłowska-Szczęsna i inni (2002). / Source: Kozłowska-Szczęsna et al. (2002).



Ryc. 10.6. Średnia liczba dni bardzo mroźnych w sezonie zimowym i dni gorących w sezonie letnim w różnych regionach bioklimatycznych (I–VIII, patrz ryc. 10.1)

Fig. 10.6. Mean number of very frosty days in winter season and hot days in summer season in bioclimatic regions (I–VIII, see fig. 10.1)

Badania własne. / Own data.

Dni bardzo mroźne są częste (15–31) także w wielu dolinach górskich, zwłaszcza karpackich, co jest związane nie tylko z wyniesieniem tych obszarów nad poziom morza, ale także ze splywem wychłodzonego powietrza po stokach do den obniżen. Większość stacji i posterunków meteorologicznych znajduje się bowiem w dnach dolin i kotlin. Dni mroźne na większości obszaru Polski występują od października do marca, z kulminacją w styczniu i lutym.

Najprostszą charakterystyką stosunków higrycznych jest wilgotność względna powietrza. Jest ona na obszarze Polski dość silnie zróżnicowana: jej średnia

Tabela 10.5. Liczba dni gorących, 1971–1990

Table 10.5. Number of hot days, 1971–1990

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Nadmorski Coastal Region													
Świnoujście	.	.	.	0,1	1,9	2,6	4,1	4,6	0,9	0,1	.	.	14,3
Kamień Pomorski	.	.	.	0,2	2,6	4,1	5,4	6,5	1,3	.	.	.	20,1
Kołobrzeg	.	.	.	0,1	2,2	2,5	3,1	4,4	0,9	0,1	.	.	13,3
Ustka	2,4	2,6	3,2	4,4	0,9	.	.	.	13,5
Gdynia	0,4	1,3	2,1	2,8	0,4	.	.	.	7,0
Region Pojezierny Lakeland Region													
Połczyn Zdrój	2,8	4,9	6,5	6,2	0,9	0,1	.	.	21,4
Region Północno-wschodni North-East Region													
Gołdap	.	.	.	0,1	3,2	5,0	6,6	6,0	0,9	.	.	.	21,8
Białystok	.	.	.	0,1	3,0	5,8	7,8	7,6	1,2	.	.	.	25,5
Region Centralny Central Region													
Inowrocław	.	.	.	0,1	3,6	7,6	11,0	9,7	2,0	0,2	.	.	34,2
Ciechocinek	.	.	.	0,2	5,5	8,8	12,7	12,3	2,7	0,1	.	.	42,3
Wieniec-Zdrój	.	.	.	0,1	4,2	9,2	10,0	10,8	3,0	.	.	.	37,3
Warszawa Okęcie	.	.	.	0,7	4,1	8,1	11,4	11,3	2,0	.	.	.	37,3
Region Południowo-wschodni South-East Region													
Nałęczów	.	.	.	0,2	3,1	6,4	10,9	9,7	2,4	.	.	.	32,7
Zamość	2,8	6,3	9,6	9,6	2,6	.	.	.	30,9
Region Świętokrzysko-małopolski Upland Region													
Szaniec	.	.	.	0,2	2,9	6,3	9,6	9,2	2,4	.	.	.	30,6
Pszczyna	.	.	.	0,2	3,1	5,9	9,3	10,2	2,8	0,2	.	.	31,7
Wieliczka	.	.	.	0,4	3,8	7,4	10,8	11,3	3,8	0,3	.	.	37,8
Region Sudecki Sudetic Region													
Świeradów-Zdrój	0,6	1,6	3,9	4,0	0,4	.	.	.	10,5
Cieplice Śląskie-Zdrój	1,8	4,4	7,7	7,8	2,4	0,2	.	.	24,3
Szczawno-Zdrój	1,2	2,8	6,0	7,2	1,2	.	.	.	18,4
Kudowa-Zdrój	1,7	5,1	7,6	7,8	1,5	.	.	.	23,7
Polanica-Zdrój	1,4	4,3	7,7	8,0	1,7	0,1	.	.	23,2
Duszniki-Zdrój	0,8	2,7	4,7	4,9	0,8	.	.	.	13,9
Długopole-Zdrój	0,8	3,3	6,2	7,2	0,8	.	.	.	18,3
Łądek-Zdrój	1,2	4,1	6,9	7,3	0,9	.	.	.	20,4
Region Karpacki Carpathian Region													
Wisła	.	.	.	0,1	2,0	5,0	7,8	8,8	1,5	.	.	.	25,2
Rabka-Zdrój	.	.	.	0,2	2,2	5,1	8,1	8,9	2,4	0,1	.	.	27,0
Szczawnica	.	.	.	0,2	2,2	4,6	6,9	6,6	1,1	.	.	.	21,6
Piwniczna-Zdrój	.	.	.	0,3	3,2	7,3	10,6	10,4	3,1	.	.	.	34,9
Żegiestów-Zdrój	.	.	.	0,2	2,4	4,9	8,5	8,0	1,3	.	.	.	25,3
Muszyzna	.	.	.	0,2	1,8	4,8	8,1	8,2	2,0	.	.	.	25,1
Krynica-Zdrój	1,3	3,2	5,5	5,8	0,9	0,1	.	.	16,8
Wysowa-Zdrój	0,6	2,3	5,2	4,7	0,4	.	.	.	13,2
Iwonicz-Zdrój	1,3	3,1	5,2	5,2	0,6	.	.	.	15,4
Rymanów-Zdrój	.	.	.	0,4	1,6	6,5	8,3	6,0	1,6	.	.	.	24,4
Solina	.	.	.	0,1	1,7	3,9	6,3	5,9	1,2	.	.	.	19,1

Źródło: Kozłowska-Szcześna i inni (2002). / Source: Kozłowska-Szcześna et al. (2002).

Tabela 10.6. Liczba dni bardzo mroźnych, 1971–1990

Table 10.6. Number of very frosty days, 1971–1990

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<i>Region Nadmorski Coastal Region</i>													
Świnoujście	3,2	1,4	0,6	.	.	.	.	.	.	.	.	0,3	5,5
Kamień Pomorski	3,9	2,5	0,7	.	.	.	.	.	.	.	.	1,1	8,2
Kołobrzeg	3,6	1,4	0,6	.	.	.	.	.	.	.	.	0,8	6,4
Ustka	3,2	1,8	0,7	.	.	.	.	.	.	.	.	0,8	6,5
Gdynia	2,5	1,3	0,3	.	.	.	.	.	.	.	.	0,5	4,6
<i>Region Pojezierny Lakeland Region</i>													
Połczyn-Zdrój	5,7	4,2	1,9	.	.	.	.	.	.	.	0,1	1,9	13,8
<i>Region Północno-wschodni North-East Region</i>													
Gołdap	7,9	7,5	3,4	0,1	.	.	.	.	.	.	1,0	4,3	24,2
<i>Region Centralny Central Region</i>													
Inowrocław	6,3	4,6	1,0	.	.	.	.	.	.	.	0,5	2,4	14,8
Ciechocinek	5,4	4,6	1,6	.	.	.	.	.	.	.	0,2	2,2	14,0
Wieniec-Zdrój	6,6	4,0	0,8	.	.	.	.	.	.	.	0,2	4,5	16,0
Warszawa Okęcie	6,5	4,8	0,9	.	.	.	.	.	.	.	0,7	3,1	16,0
<i>Region Południowo-wschodni South-East Region</i>													
Nałęczów	7,5	5,4	2,8	.	.	.	.	.	.	0,1	0,8	4,0	20,6
Horyniec-Zdrój	14,0	9,0	5,1	.	.	.	.	.	.	.	0,3	9,2	37,6
<i>Region Świętokrzysko-małopolski Upland Region</i>													
Szaniec	8,5	5,8	1,9	.	.	.	.	.	.	.	1,1	3,4	20,7
Pszczyna	6,5	4,0	1,3	.	.	.	.	.	.	.	0,5	3,1	15,4
Wieliczka	6,8	4,2	1,1	.	.	.	.	.	.	.	0,5	3,0	15,6
<i>Region Sudecki Sudetic Region</i>													
Świeradów-Zdrój	4,8	3,5	1,3	0,1	.	.	.	.	.	.	0,3	2,2	12,2
Szczawno-Zdrój	5,1	4,0	1,4	.	.	.	.	.	.	.	0,5	2,4	13,4
Kudowa-Zdrój	7,2	5,1	1,3	.	.	.	.	.	.	.	0,9	3,9	18,4
Polanica-Zdrój	5,8	4,0	1,3	.	.	.	.	.	.	.	0,6	3,0	14,7
Duszniki-Zdrój	7,3	4,8	2,0	.	.	.	.	.	.	.	1,1	4,7	19,9
Długopole-Zdrój	6,1	4,4	1,2	.	.	.	.	.	.	.	0,6	2,9	15,2
Łądek-Zdrój	6,2	4,2	1,4	.	.	.	.	.	.	.	0,7	3,1	15,6
<i>Region Karpacki Carpathian Region</i>													
Wisła	7,0	5,3	2,2	.	.	.	.	.	.	.	0,8	4,5	19,8
Rabka-Zdrój	8,9	6,9	2,7	0,1	.	.	.	.	.	.	1,2	5,5	25,3
Szczawnica	9,4	6,3	2,6	0,1	.	.	.	.	.	.	1,9	6,1	26,4
Piwniczna-Zdrój	9,1	5,8	2,3	.	.	.	.	.	.	.	1,7	6,2	25,1
Żegiestów-Zdrój	9,7	6,5	2,8	.	.	.	.	.	.	.	2,2	6,8	28,0
Muszyna	11,1	7,2	3,1	0,1	.	.	.	.	.	0,1	2,3	7,3	31,2
Krynica-Zdrój	9,8	7,1	3,0	.	.	.	.	.	.	.	2,3	6,4	28,6
Wysowa-Zdrój	9,9	7,7	2,9	0,2	.	.	.	.	.	0,2	2,6	6,7	30,2
Iwonicz-Zdrój	6,1	4,2	1,4	.	.	.	.	.	.	.	0,4	2,6	14,7
Rymanów-Zdrój	13,1	7,6	3,9	.	.	.	.	.	.	.	0,4	6,2	31,2
Solina	8,0	6,9	1,9	.	.	.	.	.	.	.	0,6	3,1	20,5

Źródło: Kozłowska-Szczęsna i inni (2002). / Source: Kozłowska-Szczęsna et al. (2002).

Tabela 10.7. Wilgotność względna powietrza (%) o godz. 12:00 UTC, 1971–1990
 Table 10.7. Relative humidity of air (%) at 12:00 UTC, 1971–1990

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<i>Region Nadmorski Coastal Region</i>													
Świnoujście	85	86	87	86	86	85	86	86	86	86	86	85	86
Kamień Pomorski	83	77	68	65	60	66	65	62	67	72	79	84	71
Kołobrzeg	88	84	79	79	80	83	84	83	83	83	86	88	83
Ustka	88	83	79	80	82	86	86	84	83	84	86	87	84
Gdynia	78	76	72	70	71	71	69	68	67	72	75	78	72
<i>Region Pojezierny Lakeland Region</i>													
Połczyn-Zdrój	85	79	70	59	54	61	62	60	67	74	83	86	70
<i>Region Centralny Central Region</i>													
Inowrocław	85	78	69	56	54	58	59	59	66	73	83	87	69
Ciechocinek	82	75	65	56	53	58	58	57	64	71	79	83	67
Wieniec-Zdrój	82	78	68	59	54	56	62	59	65	75	82	85	69
Warszawa Okęcie	83	78	68	58	56	59	60	58	66	73	82	86	69
<i>Region Południowo-wschodni South-East Region</i>													
Nałęczów	80	77	65	58	59	63	63	61	67	71	79	83	69
Zamość	87	86	81	76	77	79	79	80	84	84	87	88	82
<i>Region Świętokrzysko-małopolski Upland Region</i>													
Pszczyna	81	75	67	61	59	63	62	61	67	69	79	84	69
Szaniec	82	79	67	60	60	64	62	63	68	72	82	85	70
Wieliczka	77	74	65	60	61	64	62	63	69	71	78	81	69
<i>Region Sudecki Sudetic Region</i>													
Świeradów-Zdrój	78	74	69	64	61	65	64	64	68	68	76	79	69
Szczawno-Zdrój	76	74	65	59	58	63	60	58	64	65	74	77	66
Kudowa-Zdrój	81	74	68	60	57	62	62	62	68	69	79	82	69
Polanica-Zdrój	80	76	67	59	58	60	60	61	65	66	76	81	67
Duszniki-Zdrój	81	77	70	63	62	65	64	64	69	71	79	82	71
Długopole-Zdrój	77	72	63	57	57	58	58	57	62	66	75	79	65
Łądek-Zdrój	79	75	68	63	61	64	63	63	68	68	77	81	69
<i>Region Karpacki Carpathian Region</i>													
Rabka-Zdrój	76	72	65	61	60	63	63	63	67	66	75	80	68
Szczawnica	73	68	60	55	56	61	59	59	62	62	72	76	64
Piwniczna-Zdrój	71	66	57	53	54	57	56	56	59	61	71	76	61
Żegiestów-Zdrój	74	65	57	53	55	60	60	63	65	63	74	79	64
Muszyzna	75	67	56	53	56	59	60	60	62	63	73	80	64
Krynica-Zdrój	76	70	63	57	58	63	61	63	65	65	76	81	66
Wysowa-Zdrój	82	73	66	58	61	65	63	65	68	72	81	85	70
Iwonicz-Zdrój	78	74	64	59	61	64	65	65	69	70	78	81	69
Solina	73	62	64	57	59	63	63	64	67	64	73	76	65

Źródło: Kozłowska-Szczęsna i inni (2002). / Source: Kozłowska-Szczęsna et al. (2002).

roczna wartość o godz. 12:00 UTC waha się od 61% w Piwnicznej do 86% w Świnoujściu (tab. 10.7).

Najwilgotniejsze powietrze jest w Regionie Nadmorskim, na co wpływa sąsiedztwo akwenu morskiego. W przebiegu rocznym najwyższe wartości wilgotności względnej powietrza notuje się w miesiącach zimowych, a najniższe – w kwietniu lub w maju (jedynie nad morzem najniższa wilgotność występuje na przełomie lata i jesieni).

O natężeniu bodźców wilgotnościowych informuje także wskaźnik stresu cieplnego (*HSI*). Przy jego wysokich wartościach można mówić o dużym nasileniu uczucia parności, które może być niebezpieczne dla zdrowia człowieka, zwłaszcza dzieci i osób w podeszłym wieku. Jest także uciążliwe dla ludzi w sile wieku i sprawnych fizycznie, szczególnie uprawiających intensywne formy rekreacji ruchowej i turystykę pieszą. Dni takie mogą się pojawiać od kwietnia do września, a w niektórych regionach – także pod koniec marca i w pierwszej połowie października (Krawczyk 2001). W skali roku najwięcej dni z co najmniej silnym stresem termiczno-wilgotnościowym występuje w Regionie Karpackim – stanowią one aż 52% dni w Krynicy, 46% dni w Piwnicznej i 42% dni w Rabce. W Regionie Nadmorskim z kolei udział dni parnych nie przekracza 10%. Region Karpacki odznacza się także największym odsetkiem (2–9%) dni o bardzo silnym natężeniu uczucia parności, tolerowanym tylko przez niewielką grupę osób; dla większości turystów może to stanowić poważne zagrożenie zdrowia (tab. 10.8).

10.3. Bodźce mechaniczne

Spośród bodźców mechanicznych należy zwrócić uwagę na prędkość wiatru oraz zmiany ciśnienia atmosferycznego. Największe średnie prędkości wiatru są obserwowane w Regionie Nadmorskim. Wynoszą tam one od $3,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (w sierpniu w Kołobrzegu) do około $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (w listopadzie w Gdyni). W regionach górskich, Sudeckim i Karpackim, prędkość wiatru w ciągu dnia jest silnie zróżnicowana i może się wahać od niespełna 1 do około $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Zróżnicowanie prędkości wiatru, zarówno przestrzenne jak i czasowe, jest spowodowane bardzo urozmaiconą rzeźbą terenu, która w pewnych sytuacjach synoptycznych może wyciszać ruch powietrza, a w innych – tworzyć tzw. efekt tunelowy, zwielokrotniając prędkość wiatru wiejącego wzdłuż osi dolin i obniżen (tab. 10.9).

Wiatr o prędkości ponad $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ jest odczuwany przez człowieka jako uciążliwy, a w niektórych przypadkach może utrudniać lub uniemożliwiać rekreację i turystykę. Dni z wiatrem silnym najczęściej występują w Regionie Nadmorskim (73 w Gdyni i 48 w roku w Świnoujściu). W dolinach górskich w Regionie Karpackim ich liczba dni z wiatrem silnym w roku jest bardzo urozmaicona i waha się od 0,1 (dwa dni w ciągu 20 lat) w Piwnicznej do prawie 26 w Wysowej. Podobnie silnie zróżnicowane przestrzennie są warunki wietrzne w Regionie Sudeckim, gdzie

Tabela 10.8. Częstość (%) stanów parności o różnym natężeniu o godz. 12:00 UTC, 1971–1990

Table 10.8. Frequency (%) of sultriness categories at 12:00 UTC, 1971–1990

Miejscowość Site	Natężenie parności <i>Sultriness intensity:</i>					ryzyko przegrza- nia <i>overheating risk</i>
	brak <i>non sultry</i>	słabe <i>weak</i>	nieznaczne <i>small</i>	silne <i>strong</i>	bardzo silne <i>very strong</i>	
Region Nadmorski <i>Coastal Region</i>						
Świnoujście	75,7	22,4	1,7	0,1	.	.
Kamień Pomorski	61,2	28,8	7,9	1,4	0,2	0,6
Kołobrzeg	66,3	29,5	4,0	0,2	.	.
Ustka	71,3	24,3	4,2	0,1	.	.
Gdynia	76,9	19,3	2,8	0,5	0,1	0,3
Region Pojezierny <i>Lakeland Region</i>						
Połczyn-Zdrój	57,1	29,9	10,6	1,6	0,4	0,4
Region Centralny <i>Central Region</i>						
Inowrocław	45,3	36,6	15,5	2,1	0,3	0,1
Ciechocinek	54,0	33,3	11,0	1,4	0,2	0,2
Wieniec-Zdrój	34,6	40,4	20,0	3,0	0,6	1,4
Warszawa Okęcie	60,6	32,6	6,4	0,1	0,0	.
Region Południowo-wschodni <i>South-East Region</i>						
Nałęczów	35,7	39,5	16,5	5,0	0,9	2,5
Region Świętokrzysko-małopolski <i>Upland Region</i>						
Szaniec	51,4	34,1	13,0	1,2	0,1	0,3
Region Sudecki <i>Sudetic Region</i>						
Świeradów-Zdrój	46,9	33,6	15,1	3,2	0,7	0,5
Szczawno-Zdrój	57,4	33,8	7,6	1,0	0,2	0,1
Kudowa-Zdrój	37,5	39,8	18,5	3,0	0,5	0,7
Polanica-Zdrój	43,2	41,0	14,5	1,0	0,2	0,1
Duszniki-Zdrój	56,0	31,1	8,4	3,4	0,6	0,4
Długopole-Zdrój	52,7	37,2	8,4	1,3	0,2	0,2
Łądek-Zdrój	41,5	40,9	15,5	1,6	0,2	0,3
Region Karpacki <i>Carpathian Region</i>						
Rabka-Zdrój	23,7	33,4	28,7	9,7	2,0	2,5
Szczawnica	36,8	35,0	21,4	4,4	0,8	1,4
Piwniczna-Zdrój	16,4	37,0	33,7	9,4	1,7	1,7
Żegiestów-Zdrój	33,8	39,9	13,2	8,1	2,0	3,0
Muszyna	28,9	40,7	22,5	5,9	0,8	1,3
Krynica-Zdrój	20,7	27,2	25,3	17,9	3,8	5,1
Wysowa-Zdrój	67,4	29,6	2,7	0,3	0,0	0,1
Iwonicz-Zdrój	39,3	36,7	19,0	3,2	0,7	1,0

Badania własne. / Own data.

Tabela 10.9. Średnia prędkość wiatru ($m \cdot s^{-1}$) o godzinie 12:00 UTC, 1971–1990
 Table 10.9. Mean wind speed ($m \cdot s^{-1}$) at 12:00 UTC, 1971–1990

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Nadmorski <i>Coastal Region</i>													
Świnoujście	4,7	4,8	4,7	4,8	4,9	4,6	4,7	4,9	4,8	4,8	4,7	4,9	4,8
Kamień Pomorski	4,7	3,5	4,4	4,5	4,2	4,2	4,5	4,2	4,6	4,6	4,3	4,2	4,3
Kołobrzeg	4,0	3,5	4,1	4,1	3,8	3,5	3,7	3,4	3,7	3,8	4,2	4,2	3,8
Ustka	4,5	4,0	4,3	4,4	3,9	4,0	4,3	4,0	4,4	4,4	5,0	4,7	4,3
Gdynia	5,7	5,2	5,5	5,1	4,7	4,7	4,9	4,8	5,3	5,7	5,9	5,8	5,3
Region Pojezierny <i>Lakeland Region</i>													
Połczyn-Zdrój	3,6	3,2	3,9	3,8	3,5	3,2	3,1	2,9	3,5	3,6	3,9	3,7	3,5
Region Północno-wschodni <i>North-East Region</i>													
Gołdap	4,4	4,0	4,4	4,8	3,8	3,6	3,4	3,3	4,0	4,6	5,9	4,2	4,2
Białystok	3,7	3,4	3,4	3,1	2,6	2,4	2,2	2,0	2,4	3,0	3,5	3,5	2,9
Region Centralny <i>Central Region</i>													
Inowrocław	3,7	3,2	3,4	3,6	2,9	2,7	2,6	2,5	3,0	3,3	3,5	3,5	3,2
Ciechocinek	3,2	3,1	3,9	3,9	3,3	3,3	3,3	2,9	3,1	3,3	3,8	3,3	3,3
Wieniec-Zdrój	2,2	2,0	2,3	2,5	2,3	2,1	1,9	1,9	2,1	2,4	2,3	2,1	2,2
Warszawa Okęcie	3,4	3,4	3,7	3,6	3,2	3,2	3,1	2,9	3,3	3,4	3,4	3,2	3,3
Region Południowo-wschodni <i>South-East Region</i>													
Nałęczów	3,6	3,0	3,9	4,1	3,2	3,3	2,6	2,7	3,4	3,7	3,7	3,2	3,4
Zamość	3,5	3,2	3,3	3,0	2,4	2,2	2,2	1,9	2,3	2,8	3,5	3,6	2,8
Horyniec-Zdrój	2,2	2,6	3,2	2,6	2,2	2,0	2,1	2,1	2,4	2,3	2,4	1,9	2,3
Region Świętokrzysko-małopolski <i>Upland Region</i>													
Szaniec	3,8	3,7	4,2	4,6	3,6	3,4	3,4	3,2	3,6	3,9	3,9	3,9	3,8
Pszczyna	2,7	2,6	3,1	2,9	2,4	2,2	2,1	1,9	2,2	2,5	2,9	2,6	2,5
Wieliczka	2,4	2,3	2,8	3,0	2,4	2,4	2,6	2,2	2,4	2,5	2,6	2,5	2,5
Region Sudecki <i>Sudetic Region</i>													
Świeradów	3,8	2,8	3,3	2,9	3,0	2,6	2,3	2,4	2,8	3,4	3,5	4,1	3,1
Cieplice Śląskie-Zdrój	3,3	3,2	4,4	3,9	3,6	3,4	3,5	3,2	3,2	3,0	3,4	3,6	3,5
Szczawno-Zdrój	3,7	3,1	3,7	3,6	3,4	3,1	3,1	3,1	3,3	3,3	3,6	3,6	3,4
Kudowa-Zdrój	2,0	2,1	2,5	2,4	2,2	1,9	1,9	1,9	1,9	2,2	2,1	2,1	2,1
Polanica-Zdrój	3,2	2,7	3,1	3,1	2,8	2,4	2,3	2,2	2,5	2,9	2,6	3,1	2,7
Duszniki-Zdrój	2,6	2,6	3,0	3,0	2,9	2,0	3,0	2,7	2,8	2,8	2,7	2,9	2,8
Długopole-Zdrój	5,1	4,4	4,2	3,9	3,7	3,1	2,8	3,0	3,2	4,5	4,5	4,8	3,9
Łądek-Zdrój	2,8	2,6	2,8	2,5	1,6	2,1	1,9	2,0	2,1	2,8	2,9	2,7	2,4
Region Karpacki <i>Carpathian Region</i>													
Wisła	3,0	2,9	3,0	3,0	2,6	2,4	2,4	2,2	2,3	2,9	2,6	2,6	2,7
Rabka-Zdrój	1,2	1,2	1,6	1,6	1,2	1,3	1,3	1,0	1,2	1,4	1,4	1,2	1,3
Szczawnica	2,1	1,9	2,4	2,6	2,2	2,1	1,9	1,7	2,0	2,3	2,1	1,9	2,1
Piwniczna-Zdrój	1,1	1,2	1,4	1,6	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,2	1,1	1,0	1,2
Żegiestów-Zdrój	1,7	1,8	1,9	2,2	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	2,0	1,7	1,7	1,9

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Karpacki <i>Carpathian Region</i>													
Muszyna	1,4	1,7	2,2	2,4	2,1	2,0	1,8	1,7	1,9	1,9	1,5	1,3	1,8
Krynica-Zdrój	1,1	1,1	1,3	1,4	1,2	0,9	0,8	0,8	1,0	1,1	1,0	0,9	1,1
Wysowa-Zdrój	4,3	4,0	4,2	4,4	4,2	4,1	4,2	3,9	3,9	4,1	4,1	4,2	4,1
Iwonicz-Zdrój	3,2	2,7	2,6	2,5	2,1	1,9	1,8	1,9	2,4	2,9	3,3	3,3	2,6
Rymanów-Zdrój	3,0	2,9	2,9	2,8	2,3	2,0	1,7	2,1	2,4	3,1	3,3	3,0	2,6
Solina	2,7	2,5	2,7	2,9	2,5	2,3	2,0	2,0	2,4	2,7	2,7	2,7	2,5

Źródło: Kozłowska-Szczęsna i inni (2002). / Source: Kozłowska-Szczęsna et al. (2002).

roczna liczba dni z wiatrem silnym zmienia się od 5 w Kudowie do 45 w Długopolu (tab. 10.10).

W przypadku ciśnienia atmosferycznego uwzględnia się przede wszystkim jego zmiany międzydobowe. Im są one większe, tym większa grupa ludzi odczuwa je jako uciążliwe. W sytuacjach ekstremalnych duże wahania ciśnienia powietrza mogą prowadzić do zaburzeń pracy serca i układu krwionośnego. Największa liczba silnie i bardzo silnie odczuwanych zmian ciśnienia atmosferycznego (>8 hPa w ciągu 24 godzin) występuje w Regionie Nadmorskim oraz w północnej części regionu centralnego (Ustka i Toruń – średnio 22% dni w roku, a prawie 40% dni w grudniu). Nieco rzadziej niż w Ustce i Toruniu duże oraz bardzo duże zmiany ciśnienia obserwuje się w Polsce północno-wschodniej (Suwałki – około 20% dni rocznie).

Tabela 10.10. Liczba dni z wiatrem o prędkości >8 m·s⁻¹ o godz. 12:00 UTC, 1971–1990

Table 10.10. Number of days with wind >8 m·s⁻¹ o godz. 12:00 UTC, 1971–1990

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Nadmorski <i>Coastal Region</i>													
Gdynia	8,2	5,5	7,2	5,2	4,6	3,8	4,4	3,6	6,5	7,8	7,8	8,0	72,6
Kamień Pomorski	4,3	1,6	3,7	3,2	1,5	2,1	3,5	3,0	3,9	4,4	3,0	3,5	37,7
Kołobrzeg	2,2	1,2	1,9	1,2	0,9	0,3	0,5	0,5	0,8	1,1	2,1	1,9	14,6
Świnoujście	4,5	4,1	3,5	3,9	4,3	3,4	3,8	4,6	3,6	4,0	3,7	4,2	47,6
Ustka	3,6	1,8	2,5	1,9	1,1	1,5	2,5	1,6	2,7	2,2	3,9	3,3	28,6
Region Pojezierny <i>Lakeland Region</i>													
Połczyn-Zdrój	3,0	2,1	3,4	2,3	1,9	1,4	0,8	0,8	1,6	2,5	3,0	3,2	26,0
Region Północno-wschodni <i>North-East Region</i>													
Gołdap	4,2	3,0	3,7	4,8	2,0	1,6	1,6	1,4	2,9	4,6	4,5	4,0	38,3
Region Centralny <i>Central Region</i>													

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Inowrocław	3,0	1,0	1,5	1,7	0,5	0,3	0,4	0,1	1,5	1,3	1,9	1,4	14,6
Ciechocinek	1,8	1,9	2,5	1,9	1,1	0,6	0,6	0,7	1,1	1,5	2,5	1,7	17,9
Wieniec-Zdrój	0,2	0,2	.	0,4	.	0,1	.	0,1	.	0,5	0,5	2,1	2,1
Warszawa Okęcie	0,9	0,4	0,6	0,4	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	3,4
Region Południowo-wschodni <i>South-East Region</i>													
Nałęczów	2,6	1,8	2,2	2,9	1,7	1,5	0,7	0,6	2,5	2,7	2,7	2,1	24,0
Horyniec-Zdrój	1,6	2,7	1,2	1,0	0,9	.	.	0,1	0,3	0,4	1,3	0,4	9,9
Region Świętokrzysko-małopolski <i>Upland Region</i>													
Szaniec	4,5	2,6	3,9	4,2	1,8	1,5	1,5	1,1	1,7	3,3	3,0	4,1	33,2
Pszczyna	1,8	0,8	1,3	1,5	0,4	0,6	0,3	0,3	0,4	0,9	1,1	1,2	10,6
Wieliczka	1,2	0,6	1,2	1,2	0,2	0,4	0,8	0,2	0,4	0,8	1,0	1,0	9,0
Region Sudecki <i>Sudetic Region</i>													
Świeradów-Zdrój	5,6	2,6	2,9	1,3	1,6	1,2	0,8	1,1	2,3	4,3	4,3	5,4	33,4
Cieplice Śląskie-Zdrój	3,7	2,6	4,7	2,3	1,6	1,3	1,3	0,9	1,5	2,1	2,6	3,8	28,4
Szczawnno-Zdrój	2,9	0,9	2,1	1,5	0,6	0,7	0,3	0,5	1,0	1,2	2,2	2,7	16,6
Kudowa-Zdrój	0,4	0,5	1,3	0,8	0,5	.	.	0,2	0,2	0,4	0,6	0,3	5,2
Polanica-Zdrój	3,8	2,4	2,0	2,0	1,0	0,8	0,6	0,4	1,1	2,4	1,6	3,2	21,3
Duszniki-Zdrój	0,8	0,8	0,6	0,3	0,5	0,7	0,8	0,5	0,6	0,9	0,7	1,1	8,3
Długopole-Zdrój	7,8	4,6	4,5	3,5	2,9	1,1	0,6	1,0	1,9	5,3	5,4	6,3	44,9
Łądek-Zdrój	2,0	1,4	1,4	0,9	0,4	0,3	0,1	0,3	0,3	1,6	1,8	1,4	11,9
Region Karpacki <i>Carpathian Region</i>													
Wisła	1,1	0,4	0,7	0,4	0,4	.	.	.	0,3	1,1	0,1	1,1	5,6
Rabka-Zdrój	.	0,1	0,5	0,4	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,5	0,2	2,7
Szczawnica	1,1	0,6	0,8	1,0	0,4	0,4	0,4	0,2	0,6	1,0	1,1	0,6	8,2
Piwniczna-Zdrój	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,1	0,1
Żegiestów-Zdrój	.	.	.	.	.	.	.	.	0,3	0,1	.	.	0,4
Muszyňa	0,2	0,3	0,3	0,6	0,1	0,3	0,2	0,1	0,4	0,3	0,3	0,3	3,1
Krynica-Zdrój	0,1	0,1	0,1	0,1	.	.	.	.	0,1	.	0,1	.	0,6
Wysowa-Zdrój	3,4	2,1	2,0	2,1	1,6	1,8	2,6	2,1	1,7	1,7	1,9	2,6	25,6
Iwonicz-Zdrój	3,6	1,7	2,0	1,3	0,6	0,3	0,3	0,4	1,6	2,2	3,2	3,8	21,0
Rymanów-Zdrój	3,8	2,1	2,6	1,5	0,7	0,3	0,1	0,1	0,6	2,6	5,0	3,6	23,0
Solina	2,4	1,4	1,5	1,9	1,1	0,4	0,3	0,3	0,7	1,4	2,3	2,1	15,8

Źródło: Kozłowska-Szczęsna i inni (2002). / Source: Kozłowska-Szczęsna et al. (2002).

W Warszawie duże wahania ciśnienia atmosferycznego dotyczą 18% dni w roku, we Wrocławiu – 17,5%, w Jeleniej Górze i w Lublinie 15,5%, w Krakowie 15% i w Zakopanem niespełna 10% dni w roku. Na tej ostatniej stacji maksymalna liczba dni o dużych i bardzo dużych międzydobowych zmianach ciśnienia atmosferycznego wynosi około 20% i występuje w grudniu; latem sytuacje takie są sporadyczne (tab. 10.11).

Tabela 10.11. Częstość (%) międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego (dp) o różnych wartościach, 1966–1992Table 10.11. Frequency (%) of categories of day-to-day changes in atmospheric pressure (dp), 1966–1992

dp (hPa)	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Ustka													
≤4,0	37,5	41,8	41,2	46,8	54,4	59,6	63,9	61,9	50,5	40,0	37,2	33,0	47,3
4,1–8,0	28,4	31,8	29,4	31,0	32,3	32,0	29,2	30,5	32,2	33,2	30,1	29,0	30,8
8,1–12,0	16,8	15,9	17,9	13,6	11,0	6,8	6,0	6,3	13,0	16,8	18,5	18,9	13,5
>12,0	17,2	10,5	11,5	8,6	2,4	1,6	1,0	1,3	4,3	9,9	14,2	19,1	8,5
Suwałki													
≤4,0	40,0	42,3	44,4	50,9	61,4	67,7	70,8	67,6	53,2	42,1	39,9	34,2	51,2
4,1–8,0	28,3	31,7	29,9	31,5	27,8	27,2	25,8	26,5	32,2	32,1	28,4	29,4	29,2
8,1–12,0	15,7	15,1	14,8	11,6	8,8	4,6	2,7	5,0	11,2	16,4	17,5	19,2	11,9
>12,0	16,0	10,9	10,9	6,0	1,9	0,6	0,6	0,8	3,3	9,4	14,2	17,2	7,7
Toruń													
≤4,0	37,5	41,8	41,2	46,8	54,4	63,2	67,6	65,6	54,3	43,7	40,9	36,7	49,5
4,1–8,0	28,4	31,8	29,4	31,0	32,3	28,4	25,4	26,8	28,5	29,5	26,4	25,3	28,6
8,1–12,0	16,8	15,9	17,9	13,6	11,0	6,8	6,0	6,3	12,8	16,8	18,5	18,9	13,4
>12,0	17,2	10,5	11,5	8,6	2,4	1,6	1,0	1,3	4,3	9,9	14,2	19,1	8,5
Warszawa													
≤4,0	40,6	44,3	46,0	51,2	61,5	63,6	72,2	67,7	58,3	49,0	42,2	36,4	52,8
4,1–8,0	30,3	29,5	29,5	32,1	29,3	29,3	24,1	26,3	27,9	30,0	31,7	29,2	29,1
8,1–12,0	15,4	15,3	13,3	11,4	7,5	6,5	3,3	4,8	10,7	13,3	14,8	17,4	11,2
>12,0	13,6	10,9	11,2	5,3	1,7	0,6	0,4	1,2	3,1	7,8	11,2	17,0	7,0
Wrocław													
≤4,0	43,2	45,7	46,7	51,5	60,3	67,7	70,4	69,8	58,9	51,0	41,2	39,7	53,8
4,1–8,0	29,7	29,5	27,5	29,6	30,0	26,2	24,6	25,1	30,6	30,0	32,6	28,8	28,7
8,1–12,0	13,7	15,2	16,8	14,6	7,8	5,6	4,3	4,5	8,1	12,1	16,7	16,8	11,4
>12,0	13,3	9,6	9,0	4,3	1,9	0,6	0,7	0,6	2,3	6,9	9,5	14,7	6,1
Lublin													
≤4,0	42,3	46,9	48,6	53,2	62,5	68,0	72,8	70,5	58,6	48,6	42,1	40,3	54,5
4,1–8,0	33,2	30,4	30,1	31,6	29,5	27,9	23,4	25,0	32,0	33,2	32,3	29,6	29,9
8,1–12,0	12,7	14,9	13,7	12,1	7,0	3,7	3,5	3,9	8,0	13,3	16,4	17,0	10,5
>12,0	11,8	7,7	7,5	3,1	1,0	0,4	0,4	0,6	1,4	4,9	9,1	13,1	5,1
Kraków													
≤4,0	47,0	49,5	49,8	54,9	63,1	69,5	73,6	73,5	61,2	53,2	45,1	42,2	56,9
4,1–8,0	29,3	29,9	30,5	30,6	29,4	26,0	22,3	22,9	32,2	31,4	33,2	30,2	29,0
8,1–12,0	13,1	13,0	13,1	11,5	6,5	3,7	3,7	3,2	5,6	10,6	14,2	16,4	9,5
>12,0	10,6	7,6	6,6	3,0	1,1	0,7	0,4	0,4	1,0	4,8	7,5	11,2	4,6

dp (hPa)	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Jelenia Góra													
≤4,0	46,7	48,1	48,1	52,5	61,6	70,4	72,4	71,2	62,1	52,6	43,5	41,9	55,9
4,1–8,0	28,4	28,4	28,3	30,9	29,6	24,3	24,0	23,9	29,1	30,7	33,7	29,0	28,4
8,1–12,0	12,9	15,5	16,2	12,7	7,4	4,9	2,9	4,5	6,4	10,9	14,4	16,8	10,5
>12,0	11,9	8,0	7,3	4,0	1,3	0,4	0,7	0,4	2,3	5,9	8,4	12,2	5,2
Zakopane													
≤4,0	53,2	54,9	55,9	60,0	71,0	75,3	79,2	79,6	69,5	61,2	53,2	48,6	63,5
4,1–8,0	29,2	30,7	29,5	30,1	24,9	22,3	19,4	18,9	27,2	28,2	31,5	31,3	26,9
8,1–12,0	10,3	9,8	10,3	8,4	3,7	2,1	1,3	1,4	3,0	8,4	11,0	12,3	6,8
>12,0	7,4	4,6	4,3	1,5	0,5	0,2	0,1	0,1	0,4	2,3	4,3	7,8	2,8

Badania własne. / Own data.

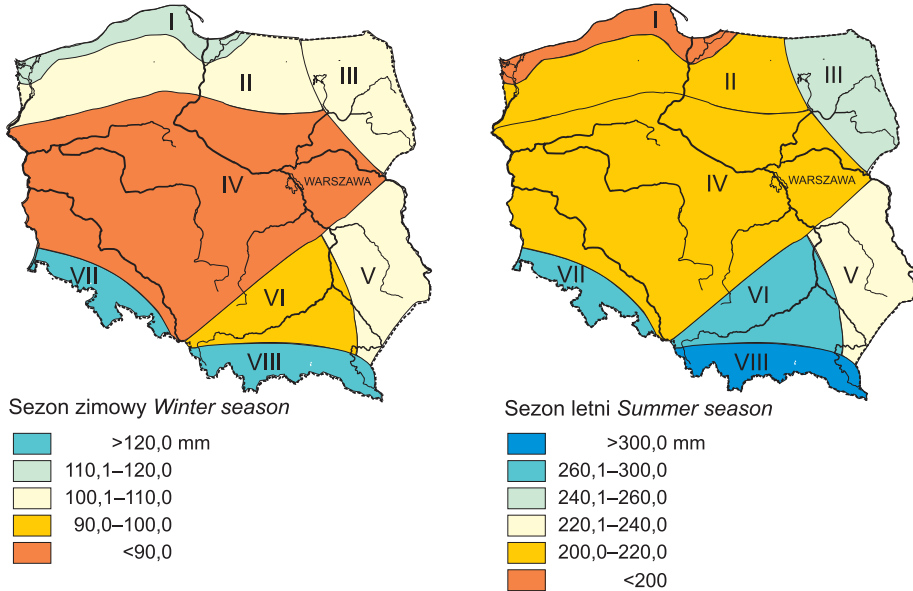
10.4. Zjawiska atmosferyczne

Zjawiska atmosferyczne należą do grupy elementów meteorologicznych, które mogą istotnie zakłócać lub wręcz uniemożliwiać korzystanie z rekreacji i turystyki. Najważniejsze z nich, z tego punktu widzenia, to opady atmosferyczne (ich wysokość, a zwłaszcza częstość występowania), mgły i burze. Wysokość opadów atmosferycznych w Polsce wynosi 500–700 mm w ciągu roku w regionach: Nadmorskim, Pojeziernym, Centralnym oraz Północno- i Południowo-wschodnim. W Regionie Świętokrzysko-małopolskim ilość opadów wzrasta do 780 mm rocznie, a w regionach górskich, Sudeckim i Karpackim, przekracza lokalnie nawet 1100 mm rocznie (tab. 10.12).

W przebiegu rocznym dominują opady półrocza ciepłego, które w Polsce południowej mogą nawet dwukrotnie przewyższać sumę opadów półrocza chłodnego (Błażejczyk 1985). Kulminacja opadów przypada na miesiące letnie, kiedy to dominują krótkotrwałe, choć niekiedy obfite, opady pochodzenia konwekcyjnego (związane z silnym wypiętrzaniem się chmur kłębiastych typu *Cumulus*). Regionalne zróżnicowanie opadów atmosferycznych jest widoczne, gdy analizujemy zimowy i letni sezon turystyczny. W pierwszym z nich najmniejsze sumy opadów obserwuje się wzdłuż wybrzeża Bałtyku oraz w regionach Sudeckim i Karpackim. Najmniej opadów notuje się wtedy w Regionie Centralnym. W sezonie letnim duże sumy opadu charakteryzują regiony górskie oraz Region Świętokrzysko-małopolski. Najuboższy w opady jest Region Nadmorski (ryc. 10.7).

Na warunki rekreacji i turystyki wpływa także liczba dni z opadem $\geq 0,1$ mm. Waha się ona od około 130 rocznie w Regionie Centralnym do około 200 w Sudeckim i Karpackim. W przebiegu rocznym zaznacza się nieco częstsze pojawianie się dni z opadem w półroczu chłodnym niż w ciepłym. Należy pamiętać, że częste opady późną jesienią i zimą są powiązane z ich małą intensywnością,

ale jednocześnie – z długim czasem trwania, wynoszącym niekiedy kilka kolejnych dni (Błażejczyk 1985b). Sytuacje takie są najpowszechniej obserwowane w Regionie Nadmorskim i w regionach górskich, gdzie w listopadzie, grudniu i/lub w styczniu opad o dobowej sumie co najmniej 0,1 mm występuje przez 18–20 dni w miesiącu.



Ryc. 10.7. Sezonowe sumy opadów atmosferycznych w różnych regionach bioklimatycznych (I–VIII, patrz ryc. 10.1)

Fig. 10.7. Seasonal totals of precipitations in bioclimatic regions (I–VIII, see fig. 10.1)
Badania własne. / Own data.

Tabela 10.12. Suma opadów atmosferycznych (mm), 1971–1990

Table 10.12. Precipitation totals (mm), 1971–1990

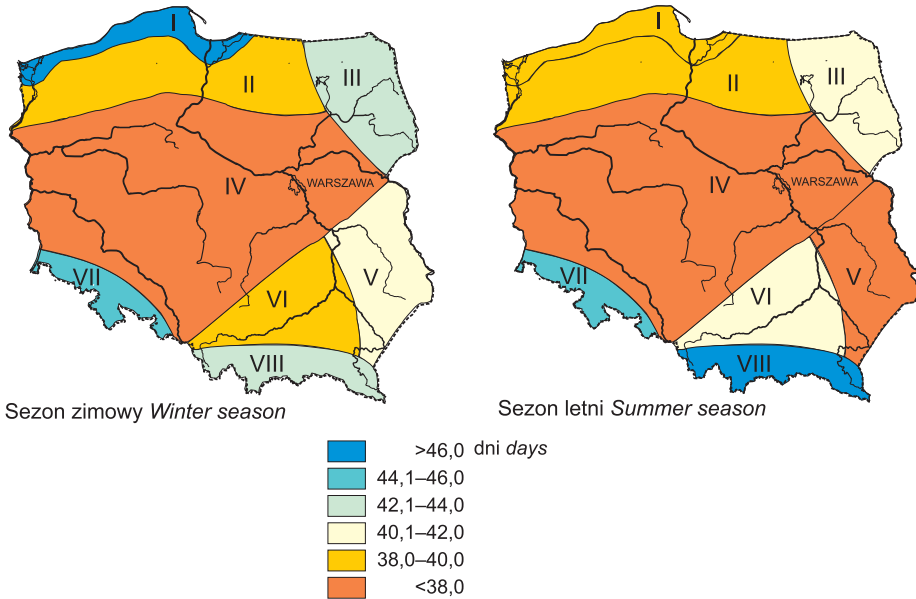
Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Nadmorski Coastal Region													
Świnoujście	40	33	42	44	45	52	49	40	46	42	40	43	516
Kamień Pomorski	48	27	40	38	39	62	74	70	51	59	55	60	623
Ustka	53	34	39	36	38	55	82	65	81	80	82	57	702
Kołobrzeg	50	30	39	36	42	67	91	64	67	59	63	57	665
Gdynia	27	20	24	28	38	54	66	55	50	45	45	40	492
Region Pojezierny Lakeland Region													
Połczyn-Zdrój	45	27	33	37	43	78	80	62	57	54	61	51	628

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Północno-wschodni <i>North-East Region</i>													
Gołdap	42	23	32	36	50	83	90	78	62	53	49	48	646
Białystok	44	28	36	33	57	81	103	65	58	50	46	54	655
Region Centralny <i>Central Region</i>													
Inowrocław	33	24	28	24	46	64	81	61	42	34	35	37	509
Ciechocinek	33	24	27	25	52	77	91	64	40	47	40	41	561
Wieniec-Zdrój	30	17	29	22	38	68	86	51	38	58	45	37	519
Warszawa Okęcie	22	22	28	36	52	70	77	57	49	39	38	35	526
Region Południowo-wschodni <i>South-East Region</i>													
Nałęczów	35	25	28	32	59	84	49	66	50	45	31	36	540
Zamość	42	27	34	45	58	95	93	65	58	43	42	53	655
Horyniec-Zdrój	37	56	44	37	62	85	90	70	44	39	58	52	674
Region Świętokrzysko-małopolski <i>Upland Region</i>													
Szaniec	24	18	26	33	57	78	77	85	48	41	29	28	544
Pszczyna	40	39	43	63	84	101	96	98	69	50	48	50	781
Wieliczka	39	32	37	53	88	110	84	91	64	47	42	46	733
Region Sudecki <i>Sudetic Region</i>													
Świeradów-Zdrój	93	58	73	87	93	122	142	130	88	82	94	113	1175
Cieplice Śląskie-Zdrój	33	24	30	47	62	80	94	80	48	38	39	38	613
Szczawno-Zdrój	31	28	31	48	66	89	92	89	54	42	46	40	656
Kudowa-Zdrój	40	26	29	40	56	82	85	83	54	37	40	46	618
Polanica-Zdrój	42	33	35	47	67	94	98	78	50	50	51	54	699
Duszniki-Zdrój	50	43	49	53	71	101	107	87	58	56	66	66	807
Długopole-Zdrój	53	42	42	53	74	100	101	88	67	58	70	64	812
Łądek-Zdrój	39	36	40	61	90	117	121	106	68	46	53	47	824
Region Karpacki <i>Carpathian Region</i>													
Wisła	77	60	61	83	113	143	143	143	102	69	81	90	1165
Rabka-Zdrój	51	42	42	61	94	126	123	114	77	56	49	59	894
Szczawnica	48	31	41	58	91	125	105	109	73	47	49	55	832
Piwniczna-Zdrój	41	32	39	61	92	110	105	100	76	49	50	50	805
Żegiestów-Zdrój	44	29	38	56	100	105	110	94	75	48	46	52	797
Muszyna	42	28	35	51	89	97	105	83	67	45	42	52	736
Krynica-Zdrój	48	33	39	57	99	121	100	92	72	51	49	58	819
Wysowa-Zdrój	43	34	38	58	102	116	110	97	71	50	47	57	823
Iwonicz-Zdrój	38	32	42	59	96	127	125	95	82	56	47	57	858
Rymanów-Zdrój	40	48	54	63	103	111	132	136	62	64	62	55	930
Solina	42	30	56	61	93	114	130	92	82	50	46	60	856

Źródło: Kozłowska-Szczęsna i inni (2002). / Source: Kozłowska-Szczęsna et al. (2002).

Pod względem liczby dni z opadem pozytywnie wyróżnia się Region Centralny, gdzie w sezonie zarówno zimowym, jak i letnim jest ich najmniej. Kontrastowe warunki panują w regionach górskich, gdzie liczba dni z opadem jest wysoka

zimą i latem. Latem najwięcej dni opadowych występuje w Regionie Karpackim, a w sezonie zimowym – nad Bałtykiem (ryc. 10.8).



Ryc. 10.8. Średnia liczba dni z opadem atmosferycznym $\geq 0,1$ mm w różnych regionach bioklimatycznych (I–VIII, patrz ryc. 10.1.)

Fig. 10.8. Mean number of the days with precipitations ≥ 0.1 mm in bioclimatic regions (I–VIII, see fig. 10.1)

Badania własne. / Own data.

Mgła jest zjawiskiem atmosferycznym negatywnie wpływającym na wiele dziedzin działalności człowieka, począwszy od dezorganizacji ruchu drogowego i lotniczego po utrudnienia w korzystaniu z rekreacji i turystyki, aż do zagrożenia zdrowia. W bioklimatologii człowieka przyjmuje się, że w miejscowościach wypoczynkowych i uzdrowiskowych liczba dni z mgłą w roku nie powinna przekraczać 50 w okresie od października do marca i 15 w okresie od kwietnia do września (Kozłowska-Szczęśna i inni 2002). Norma ta jest zachowywana na większości obszaru Polski. Jedynie lokalnie w górach oraz w pobliżu dużych aglomeracji miejskich dni z mgłą, zwłaszcza w okresie chłodnym, jest znacznie więcej niż 50, czego przykładem może być Wieliczka (tab. 10.14). Ogólnie biorąc roczna liczba dni z mgłą waha od 35–50 w Regionie Nadmorskim do 45–85 w Karpackim i ponad 115 w pobliżu aglomeracji krakowskiej.

Porównując liczbę dni z mgłą na obszarze Polski można zauważyć, że w regionach Północno-wschodnim i Świętokrzysko-małopolskim jest ich stosunkowo dużo, zarówno w sezonie zimowym, jak i letnim. W Regionie Karpackim dni z mgłą są częste latem, natomiast rzadkie – w sezonie zimowym (ryc. 10.9).

Tabela 10.13. Liczba dni z opadem $\geq 0,1$ mm, 1971–1990Table 10.13. Number of days with precipitation ≥ 0.1 mm, 1971–1990

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Nadmorski <i>Coastal Region</i>													
Świnoujście	17,7	14,2	14,9	12,0	11,0	12,5	12,9	11,5	13,1	13,9	17,0	18,4	169,1
Kamień Pomorski	17,2	12,6	12,7	11,1	10,3	11,5	13,4	11,8	13,2	15,2	17,0	17,9	163,9
Ustka	19,0	14,5	15,1	11,9	9,6	12,5	13,7	13,0	15,5	15,9	18,9	19,4	179,0
Kołobrzeg	18,5	13,6	15,8	12,5	11,8	12,9	15,0	12,8	15,1	15,5	19,0	18,9	181,4
Gdynia	17,6	14,2	14,2	13,2	10,4	11,9	14,4	12,2	15,2	13,8	17,6	18,8	173,5
Region Pojezierny <i>Lakeland Region</i>													
Połczyn-Zdrój	15,0	10,3	13,1	10,3	10,9	13,3	14,6	12,1	14,3	13,4	15,9	15,2	158,4
Region Północno-wschodni <i>North-East Region</i>													
Gołdap	15,4	11,5	12,5	10,2	11,2	14,4	15,2	12,4	14,4	12,8	13,9	16,5	160,4
Białystok	18,5	14,0	13,2	11,6	11,9	14,4	14,4	12,3	12,4	13,2	16,2	18,8	170,9
Region Centralny <i>Central Region</i>													
Ciechocinek	15,8	12,1	11,5	9,8	10,9	12,9	13,7	12,3	11,8	11,7	14,4	16,4	153,3
Inowrocław	15,2	11,1	11,8	9,3	10,0	12,6	14,0	12,1	12,3	12,4	13,6	15,8	150,2
Wieniec-Zdrój	12,9	8,6	9,4	8,6	9,3	10,1	12,9	9,9	10,0	12,2	14,0	13,5	131,4
Warszawa Okęcie	14,8	13,6	11,8	12,9	13,3	13,3	13,5	13,7	13,6	14,9	12,9	13,2	161,4
Region Południowo-wschodni <i>South-East Region</i>													
Nałęczów	15,3	11,9	12,1	11,7	12,9	14,5	11,9	10,8	12,4	11,7	12,8	16,7	154,7
Zamość	13,6	11,0	11,8	11,4	13,3	13,8	13,3	10,2	11,4	10,5	13,5	16,4	150,2
Horyniec-Zdrój	14,1	15,4	14,9	10,8	15,0	13,1	13,0	11,9	9,7	9,7	13,8	16,1	157,5
Region Świętokrzysko-małopolski <i>Upland Region</i>													
Szaniec	11,6	10,1	10,1	10,1	11,8	13,5	13,3	11,9	11,4	10,3	10,8	13,1	138,0
Pszczyna	15,4	13,3	14,4	14,4	14,2	16,8	14,4	13,5	13,4	12,6	14,8	17,2	174,4
Wieliczka	14,6	12,4	12,8	12,4	13,0	14,9	13,0	12,0	11,9	10,6	14,2	16,8	158,6
Region Sudecki <i>Sudetic Region</i>													
Świeradów-Zdrój	17,9	15,1	18,1	16,8	16,4	18,8	16,4	14,8	16,2	15,0	18,7	19,1	203,3
Cieplice Śląskie-Zdrój	13,5	12,4	14,2	13,7	14,1	15,0	14,4	13,4	12,3	10,7	14,3	15,5	163,5
Szczawno-Zdrój	16,1	14,7	15,5	14,5	14,3	17,5	14,8	14,2	13,4	12,2	15,7	18,0	180,9
Długopole-Zdrój	16,3	14,5	15,9	14,0	14,0	15,3	13,4	12,5	12,7	11,4	15,7	17,5	173,2
Duszniki-Zdrój	15,9	14,1	16,4	14,5	13,8	15,9	14,3	13,3	13,0	12,2	16,2	17,4	177,0
Kudowa-Zdrój	16,5	12,3	14,0	13,3	12,8	15,3	14,1	13,6	13,3	10,1	14,7	18,1	168,1
Łądek-Zdrój	16,3	14,6	15,4	14,5	14,9	16,4	15,4	13,8	14,2	11,9	15,3	17,3	180,0
Polanica-Zdrój	15,8	13,2	14,9	13,7	14,1	16,2	14,4	13,4	13,1	13,0	15,8	16,8	174,4
Region Karpacki <i>Carpathian Region</i>													
Wisła	16,9	14,0	16,0	16,6	16,0	18,6	16,3	14,9	15,0	13,0	16,2	18,2	191,7
Rabka-Zdrój	16,1	13,5	15,0	15,6	15,7	17,6	15,6	14,6	13,4	11,8	15,2	16,3	180,4
Szczawnica	14,7	12,5	14,4	14,6	15,3	17,5	15,5	13,5	13,7	11,2	14,8	16,1	173,8
Piwniczna-Zdrój	14,5	13,7	15,1	15,0	16,3	17,9	16,0	15,0	13,9	12,3	15,4	16,6	181,7
Żegiestów-Zdrój	14,5	13,3	14,5	15,2	15,7	17,5	15,6	15,1	13,8	12,1	15,4	17,0	179,7

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Karpacki <i>Carpathian Region</i>													
Muszyna	14,6	12,6	14,2	14,0	14,7	16,8	15,3	13,9	12,5	11,7	14,0	16,3	170,6
Krynica-Zdrój	15,6	14,1	15,6	15,5	16,5	17,7	16,1	14,9	14,3	12,0	15,6	17,7	185,6
Wysowa-Zdrój	16,2	14,7	15,5	16,0	16,7	17,8	16,2	14,8	15,5	13,8	16,7	18,5	192,4
Iwonicz-Zdrój	13,4	11,3	12,7	13,6	14,3	16,6	14,9	13,1	13,7	12,2	13,8	15,2	164,8
Rymanów-Zdrój	14,7	13,5	14,9	12,0	15,7	14,5	13,6	13,8	11,7	11,9	13,4	15,4	165,1
Solina	16,6	12,9	15,4	14,6	15,1	17,8	14,9	13,8	13,1	11,2	13,9	17,9	177,2

Źródło: Kozłowska-Szczęśna i inni (2002). / Source: Kozłowska-Szczęśna et al. (2002).

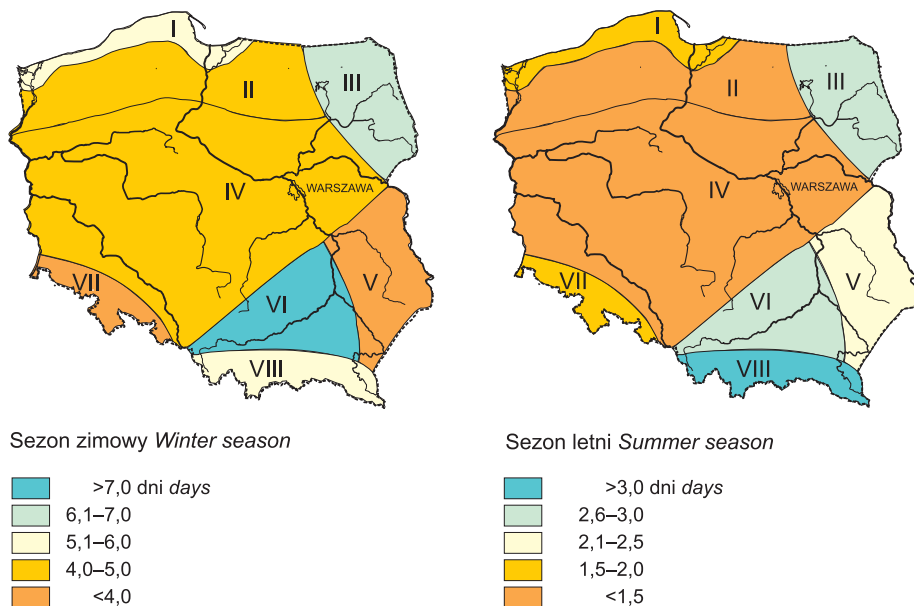
Tabela 10.14. Liczba dni z mgłą, 1971–1990

Table 10.14. Number of days with fog, 1971–1990

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Nadmorski <i>Coastal Region</i>													
Świnoujście	6,0	6,1	5,0	4,2	1,3	1,3	0,7	1,0	2,6	4,5	5,0	4,6	42,3
Kamień Pomorski	4,9	3,9	3,9	3,1	0,9	1,4	1,4	1,1	3,4	4,1	5,8	3,8	37,7
Ustka	3,4	4,8	4,1	3,4	2,3	2,9	1,8	1,9	1,9	2,8	2,1	2,9	34,3
Kołobrzeg	6,1	6,5	6,0	5,0	3,2	3,1	1,6	1,6	2,2	4,8	5,4	5,0	50,5
Gdynia	5,0	7,3	7,0	5,4	2,6	1,9	1,2	0,9	1,9	4,7	3,9	4,8	46,6
Region Pojezierny <i>Lakeland Region</i>													
Połczyn-Zdrój	4,1	5,3	3,6	2,1	0,7	1,1	1,1	1,9	3,1	5,1	4,0	3,3	35,4
Region Północno-wschodni <i>North-East Region</i>													
Gołdap	5,7	7,5	6,3	4,5	2,9	2,0	1,9	3,7	6,0	8,2	9,6	9,1	67,4
Białystok	5,4	5,6	6,4	3,4	2,2	3,0	2,8	3,4	6,6	7,6	6,6	7,3	60,3
Region Centralny <i>Central Region</i>													
Inowrocław	5,3	4,7	5,1	2,3	0,3	0,3	0,4	1,2	2,6	5,9	7,5	4,9	40,5
Ciechocinek	3,4	4,7	4,7	1,7	0,7	0,9	0,5	2,5	4,4	7,1	5,1	3,9	39,6
Wieniec-Zdrój	3,5	5,3	4,1	1,4	0,3	1,0	0,3	2,4	5,1	7,1	5,8	3,4	39,7
Warszawa Okęcie	2,5	1,6	2,5	2,3	3,4	2,9	2,5	3,0	2,1	3,7	2,8	1,9	31,2
Region Południowo-wschodni <i>South-East Region</i>													
Nałęczów	3,4	2,4	1,6	1,2	0,7	0,6	0,4	1,2	2,4	3,6	2,8	2,4	22,7
Zamość	3,4	3,8	3,6	3,2	4,4	3,6	3,0	5,0	8,0	7,2	4,2	3,6	53,0
Horyniec-Zdrój	2,8	4,1	3,0	1,1	1,4	0,7	1,1	2,1	3,6	5,4	3,6	4,3	33,2
Region Świętokrzysko-małopolski <i>Upland Region</i>													
Szaniec	4,8	5,2	4,2	2,3	1,7	1,0	1,8	2,5	6,5	7,8	5,7	4,8	48,3
Pszczyna	7,3	6,8	4,6	3,7	1,5	1,0	1,0	1,7	7,1	9,4	6,5	5,7	56,3
Wieliczka	12,8	11,8	10,2	8,8	6,5	5,1	5,4	6,4	12,0	14,4	13,6	10,8	117,8
Region Sudecki <i>Sudetic Region</i>													
Świeradów-Zdrój	2,1	3,8	2,6	2,1	1,9	1,0	0,7	1,3	2,0	2,0	2,9	2,2	24,6
Cieplice Śląskie-Zdrój	2,3	3,2	2,2	1,6	0,3	0,5	0,5	1,7	4,1	6,0	3,9	3,2	29,5

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Sudecki Sudetic Region													
Szczawno-Zdrój	1,9	3,1	2,3	1,9	1,0	0,9	0,7	1,2	1,5	2,2	1,9	1,7	20,3
Kudowa-Zdrój	1,5	2,1	2,3	1,1	0,7	0,5	1,5	2,5	3,9	4,2	2,7	1,5	24,5
Polanica-Zdrój	2,2	3,2	4,6	3,9	2,5	2,0	1,3	3,5	4,7	5,9	4,0	3,0	40,8
Długopole-Zdrój	9,1	9,0	8,4	7,5	4,7	4,1	3,2	5,7	8,7	8,2	7,5	6,0	82,1
Duszniki-Zdrój	2,4	4,2	3,5	2,2	1,2	0,7	0,6	0,7	2,0	3,5	3,6	2,9	27,5
Łądek-Zdrój	3,1	4,5	4,4	4,4	1,4	1,6	1,5	2,5	3,9	3,7	4,2	3,4	38,6
Region Karpacki Carpathian Region													
Wisła	6,3	5,6	4,6	4,3	2,3	2,7	2,6	3,1	5,0	6,0	5,8	6,1	54,4
Rabka-Zdrój	5,1	6,7	7,1	5,7	4,9	3,8	5,0	7,1	9,8	8,0	5,7	3,5	72,4
Szczawnica	4,4	4,4	5,2	4,3	3,8	4,3	3,8	7,6	9,0	6,1	5,7	3,8	62,4
Piwniczna-Zdrój	6,4	6,1	6,7	4,7	4,6	3,5	4,2	9,5	11,9	8,8	6,2	6,0	78,6
Muszyňa	3,7	3,9	6,4	3,9	3,8	2,9	5,8	12,7	12,2	10,0	6,3	4,1	75,7
Krynica-Zdrój	7,8	6,8	6,7	4,8	3,7	3,1	3,9	8,8	11,4	11,6	9,1	8,5	86,2
Wysowa-Zdrój	5,5	5,2	4,1	2,3	1,5	0,8	0,8	1,8	4,2	5,2	7,0	7,2	45,6
Iwonicz-Zdrój	5,8	5,5	7,9	6,6	6,8	6,2	6,0	6,1	8,9	8,1	7,9	5,9	81,7
Solina	4,3	4,3	5,4	4,9	5,5	4,9	4,6	7,2	7,8	5,6	5,1	3,8	63,4

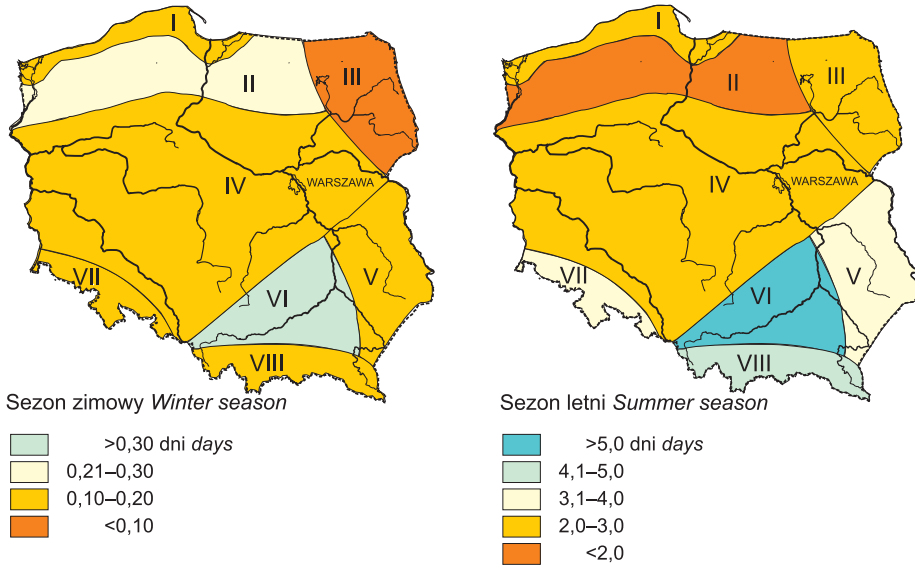
Źródło: Kozłowska-Szczęsna i inni (2002). / Source: Kozłowska-Szczęsna et al. (2002).



Ryc. 10.9. Średnia liczba dni z mgłą w różnych regionach bioklimatycznych (I–VIII, patrz ryc. 10.1)

Fig. 10.9. Mean number of foggy days in bioclimatic regions (I–VIII, see fig. 10.1.)
Badania własne. / Own data.

Liczba dni z burzą w całym sezonie zimowym nie przekracza w żadnym z regionów wartości 0,4. Latem zróżnicowanie regionalne jest znaczne. Z największą liczbą dni burzowych należy się liczyć w regionach Świętokrzysko-małopolskim (ponad 5) oraz Karpackim (4–5), najrzadsze zaś są dni z burzą w Regionie Pojeziernym (poniżej 2 w sezonie) (ryc. 10.10).



Ryc. 10.10. Średnia liczba dni z burzą w różnych regionach bioklimatycznych (I–VIII, patrz ryc. 10.1)

Fig. 10.10. Mean number of thunderstorm days in bioclimatic regions (I–VIII, see fig. 10.1)
Badania własne. / Own data.

Występowanie burz wiąże się z silnym wypiętrzaniem chmur kłębiastych, spowodowanym bądź to czynnikami termicznymi podłoża, bądź też przemieszczaniem się frontów atmosferycznych. Burze połączone są najczęściej z intensywnymi opadami atmosferycznymi (Woś 1999) i są zjawiskiem lokalnym. W wybranych do opracowania stacjach meteorologicznych roczna liczba dni z burzą wahała się od około 6 w Horyńcu do blisko 29 w Piwnicznej. Potwierdzeniem lokalnego występowania burz jest porównanie danych z sąsiadującymi ze sobą stacjami na Kujawach (Inowrocław, Ciechocinek i Wieniec), w Kotlinie Kłodzkiej (Kudowa, Polanica, Duszniki) i w Dolinie Popradu (Piwniczna, Żegiestów, Muszyna), gdzie różnice dochodzą do 10 dni z burzą w skali roku. Należy dodać, że z uwagi na w większości konwekcyjną genezę burz, dominują one w okresie letnim. Niemniej we wszystkich regionach Polski ze sporadycznym występowaniem burz należy się liczyć także zimą (tab. 10.15).

Tabela 10.15. Liczba dni z burzą, 1971–1990

Table 10.15. Number of days with storm, 1971–1990

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<i>Region Nadmorski Coastal Region</i>													
Świnoujście	.	0,1	0,2	0,6	3,2	3,1	3,5	3,1	1,1	0,5	0,1	0,1	15,6
Kamień Pomorski	.	.	0,1	0,2	1,4	1,5	1,3	1,6	0,6	0,3	.	0,2	7,2
Ustka	0,1	0,1	0,1	0,7	2,8	2,4	3,3	2,9	1,8	1,2	0,5	.	15,9
Kołobrzeg	0,1	0,1	0,2	0,8	3,2	3,7	3,5	3,2	1,6	0,5	0,5	0,1	17,5
Gdynia	0,1	0,1	0,1	0,7	2,7	3,0	2,9	2,3	0,7	0,2	0,2	0,2	13,2
<i>Region Pojezierny Lakeland Region</i>													
Połczyn-Zdrój	.	.	0,2	0,9	1,9	2,1	2,0	1,9	0,5	0,1	0,3	0,1	10,0
<i>Region Północno-wschodni North-East Region</i>													
Gołdap	.	.	.	0,6	1,4	2,7	2,1	1,6	0,3	.	.	.	8,7
Białystok	0,1	0,1	0,1	0,7	3,0	4,4	4,2	2,4	0,6	0,1	0,1	.	15,8
<i>Region Centralny Central Region</i>													
Inowrocław	.	.	0,2	0,3	2,1	2,8	3,3	2,4	0,8	0,3	0,1	0,1	12,4
Ciechocinek	.	.	0,1	0,3	2,8	3,9	4,1	3,4	0,6	0,3	0,1	0,1	15,7
Wieniec-Zdrój	0,1	.	0,2	0,1	1,1	1,4	1,9	1,8	0,3	0,3	.	.	7,2
Warszawa Okęcie	0,2	0,5	0,9	2,0	6,0	4,7	6,6	5,7	1,9	0,6	0,1	.	29,2
<i>Region Południowo-wschodni South-East Region</i>													
Nałęczów	0,2	0,1	0,2	1,1	3,3	5,2	4,9	3,7	0,9	0,3	.	0,2	20,1
Zamość	0,1	.	0,1	1,0	3,9	5,0	5,2	3,6	1,3	0,2	0,1	.	20,5
Horyniec-Zdrój	.	.	0,1	0,5	1,0	1,2	1,7	1,4	0,3	.	.	.	6,2
<i>Region Świętokrzysko-małopolski Upland Region</i>													
Pszczyna	.	.	0,4	1,1	5,2	5,8	4,6	4,8	1,1	0,2	0,2	.	23,4
Wieliczka	0,2	0,2	0,4	0,7	5,1	6,6	6,3	5,4	1,7	0,3	0,3	0,4	27,6
<i>Region Sudecki Sudetic Region</i>													
Świeradów-Zdrój	0,1	0,1	0,5	0,8	3,9	4,5	3,9	3,7	1,3	0,2	.	0,1	19,1
Cieplice Śląskie-Zdrój	.	0,1	0,5	0,6	3,2	3,8	3,7	2,9	0,8	0,2	.	.	15,8
Szczawnno-Zdrój	0,1	0,1	0,3	0,9	3,6	4,6	4,3	4,0	0,7	0,5	.	0,1	19,2
Kudowa-Zdrój	0,1	0,1	0,1	0,4	2,7	3,5	3,1	2,1	0,6	0,3	.	0,1	13,1
Polanica-Zdrój	0,1	0,1	0,2	0,4	3,6	6,1	5,0	4,2	1,0	0,9	0,2	0,1	21,9
Duszniki-Zdrój	0,1	0,1	.	0,4	2,8	3,6	3,7	2,5	0,6	0,3	0,1	.	14,2
Długopole-Zdrój	0,1	0,1	0,2	0,6	3,5	5,9	4,5	3,8	1,0	0,3	0,1	0,1	20,2
Łądek-Zdrój	.	.	0,1	0,3	3,2	4,3	4,1	3,2	0,6	0,2	0,1	0,1	16,2
<i>Region Karpacki Carpathian Region</i>													
Wisła	0,1	0,1	0,3	0,6	3,3	4,3	3,0	2,9	1,2	0,2	0,1	0,1	16,2
Rabka-Zdrój	.	.	0,2	1,0	3,6	4,6	3,8	3,1	0,9	0,2	0,1	0,1	17,6
Szczawnica	0,1	.	.	1,1	5,0	5,6	4,1	5,0	1,0	0,2	0,1	.	22,2
Piwniczna-Zdrój	0,1	0,1	0,1	1,3	6,0	7,1	5,6	6,1	1,9	0,3	0,1	.	28,7
Żegiestów-Zdrój	.	.	0,1	0,8	3,9	4,9	4,3	4,6	0,8	0,2	0,1	.	19,7
Muszyzna	.	.	0,2	1,2	5,3	5,2	4,6	4,3	1,5	0,2	0,1	.	22,6

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Karpacki Carpathian Region													
Krynica-Zdrój	.	.	0,1	0,7	4,4	4,8	4,3	4,3	1,1	0,2	0,1	.	20,0
Wysowa-Zdrój	0,1	.	0,1	1,2	3,9	4,6	4,2	3,9	1,1	0,2	.	0,1	19,4
Iwonicz-Zdrój	0,1	0,1	0,5	0,9	3,7	5,4	4,8	3,9	1,4	0,3	0,1	0,1	21,3
Rymanów-Zdrój	.	.	0,2	1,8	4,6	5,8	5,0	4,9	2,9	0,3	0,2	.	25,7
Solina	0,1	.	0,2	0,8	4,3	5,1	4,3	3,4	1,3	0,2	.	0,1	19,8

Źródło: Kozłowska-Szczęśna i inni (2002). / Source: Kozłowska-Szczęśna et al. (2002).

11. Regionalne zróżnicowanie warunków pogodowych

Omówioną w rozdziale 4.2 klasyfikację pogody zastosowano do scharakteryzowania i oceny warunków pogodowych, z punktu widzenia ich przydatności do rekreacji i turystyki w Polsce. Wykorzystano w tym celu codzienne informacje meteorologiczne za lata 1971–1990 z Łeby (reprezentującej Region Nadmorski), Połczyna (Region Pojezierny), Gołdapi (Północno-wschodni), Ciechocinka i Warszawy (Centralny), Nałęczowa (Południowo-wschodni), Szańca (Świętokrzysko-małopolski), Łądką (Sudecki) i Rabki (Karpacki). Analizę tę uzupełniono danymi z Głuchołaz (Góry Opawskie – Region Sudecki) za lata 1981–2000 oraz z Hali Gąsienicowej (Tatry – Region Karpacki) za lata 1996–2005.

11.1. Główne cechy warunków pogodowych

Aby ogólnie scharakteryzować warunki pogodowe w różnych regionach bioklimatycznych, porównano częstość występowania poszczególnych charakterystyk pogody, określających jej typ, podtyp i klasę.

11.1.1. Typy pogody

We wszystkich regionach Polski obserwuje się wyraźną sezonowość typów pogody (tab. 11.1). Pogoda zimna pojawia się od listopada do marca, a w regionach górskich także w październiku i kwietniu. Pogoda chłodna występuje we wszystkich miesiącach roku, a jej częstość zmienia się od 1–10% latem do blisko 90% w miesiącach zimowych. W przypadku pogody komfortowej największa częstość przypada na okres letni, jesienny lub wiosenny. Pogoda ciepła może występować już w lutym lub marcu i zdarza się nawet w listopadzie i grudniu; naj-

częstsza jest jednak w miesiącach letnich. Lato jest także okresem najczęstszego pojawiania się pogody gorącej (w niektórych regionach nawet 30% dni w miesiącu) i bardzo gorącej (do 25% dni).

Syntetyczny obraz zróżnicowania regionalnego typów pogody daje porównanie częstości ich występowania w poszczególnych sezonach w wybranych do badań stacjach meteorologicznych (ryc. 11.1). Zimą zdecydowanie dominuje w Polsce pogoda chłodna; jej częstość waha się od 30% na Hali Gąsienicowej do około 75% w Połczynie i Ciechocinku. W Tatrach oraz Polsce północno-wschodniej wyraźnie podwyższona jest częstość pogody zimnej, stanowiącej 27–70% wszystkich dni tego okresu. Zaznaczają się także obszary o stosunkowo łagodnych warunkach biotermicznych, gdzie częstość pogody zimnej jest wyraźnie zmniejszona i wynosi 7–11%; są to Przedgórze Sudeckie (Głuchołazy) oraz Beskidy (Rabka). Wiosną najbardziej surowe warunki pogodowe występują w Polsce północno-wschodniej oraz w Tatrach, najłagodniejsze zaś na terenie Beskidów. Największe regionalne zróżnicowanie typów pogody występuje latem. Warunki najbardziej surowe obserwuje się w Tatrach – zaznacza się to bardzo częstym pojawianiem się pogody chłodnej (60–70%) oraz brakiem pogody bardzo gorącej.

Najbardziej uciążliwe warunki biotermiczne, z dużą frekwencją pogody bardzo gorącej, obserwuje się w regionach: Centralnym, Południowo-wschodnim i Świętokrzysko-małopolskim oraz na Przedgórzu Sudeckim. Jesień, podobnie jak wiosna, jest okresem dominacji pogody chłodnej, która w Tatrach oraz w Polsce północno-wschodniej panuje przez około 70% dni. Najłagodniejsze warunki pogodowe występują w tym okresie w Beskidach, na Przedgórzu Sudeckim oraz w Regionie Świętokrzysko-małopolskim.

11.1.2. Podtypy pogody

Podtypy pogody są określane na podstawie: natężenia bodźców radiacyjnych, rodzaju stresu termofizjologicznego i natężenia uczucia parności. Natężenie bodźców radiacyjnych jest oceniane na podstawie ilości promieniowania słonecznego docierającego do człowieka, zależnej od stopnia zachmurzenia nieba oraz wysokości Słońca (w obliczeniach przyjmuje się stałą wartość albedo powierzchni ciała i odzieży równą 30%). W przebiegu rocznym zaznacza się wyraźna sezonowość bodźców radiacyjnych, związana z czynnikami astronomicznymi – w miesiącach zimowych niskie położenie tarczy słonecznej nad horyzontem skutkuje słabym natężeniem bodźców radiacyjnych nawet przy małym zachmurzeniu. Latem przeważają umiarkowane i silne bodźce radiacyjne, w niektórych miejscowościach nawet przez 70–80% dni w miesiącu (tab. 11.2).

Wyraźna sezonowość widoczna jest także w przypadku stresu termofizjologicznego powodowanego przez warunki atmosferyczne. W okresie od października do kwietnia przez 95–100% dni w miesiącu występuje stres zimna przejawiający się specyficznymi reakcjami dostosowawczymi organizmu do warunków otoczenia: obniżeniem temperatury powierzchni ciała, zwężeniem peryferyjnych naczyń krwionośnych, zmniejszeniem skórno przepływu krwi i zwiększeniem ciśnienia krwi, a w przypadkach bardzo niskiej temperatury otoczenia – także

Tabela 11.1. Częstość występowania (%) biotermicznych typów pogody w różnych regionach bioklimatycznych, 1971–1990
 Table 11.1. Frequency (%) of bio-thermal types of weather at various bioclimatic regions, 1971–1990

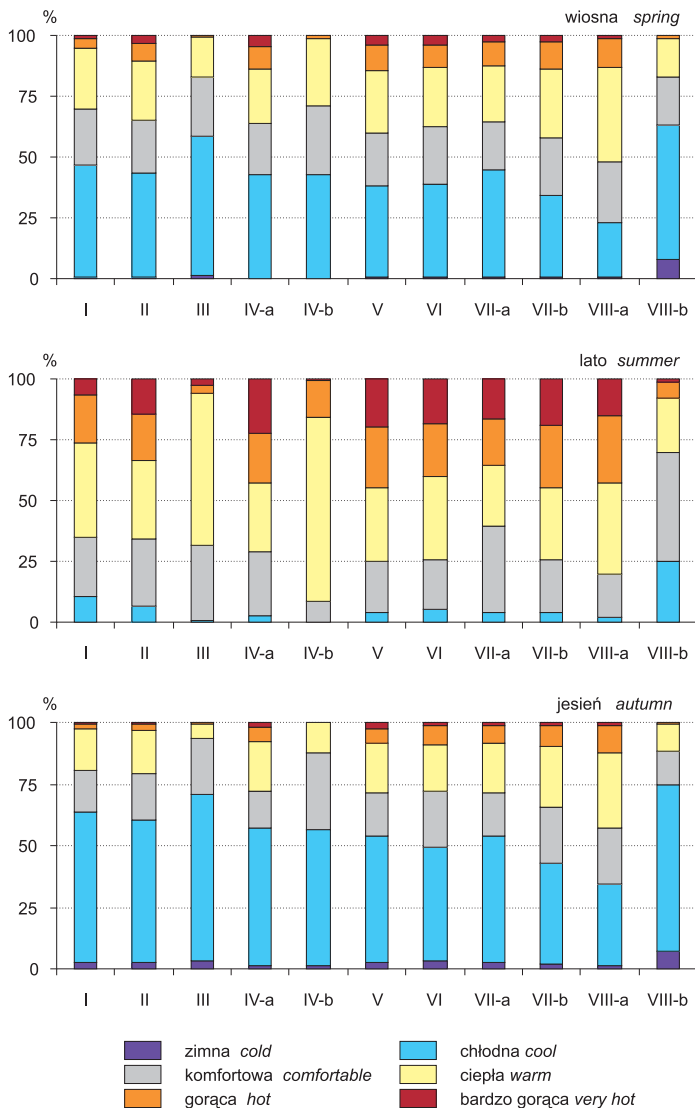
Region	Typ pogody Weather type	Miesiące Months												Rok Year
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Nadmorski Coastal –Łeba	<i>zimna cold</i>	33,9	17,5	1,5	.	.	.	.	.	.	.	8,5	27,3	7,4
	<i>chłodna cool</i>	65,8	74,4	67,1	46,8	24,4	16,0	6,1	9,4	37,3	58,6	85,6	72,7	46,8
	<i>komfortowa comfortable</i>	0,3	8,1	24,5	26,5	19,4	24,7	26,3	22,1	20,5	24,7	5,7	.	16,9
	<i>ciepła warm</i>	.	.	6,9	25,7	41,2	39,0	39,1	39,1	35,7	15,6	0,2	.	20,3
	<i>gorąca hot</i>	.	.	.	0,8	11,9	16,5	21,6	21,3	5,0	1,1	.	.	6,6
	<i>bardzo gorąca very hot</i>	.	.	.	0,2	3,1	3,8	6,9	8,1	1,5	.	.	.	2,0
Pojezierny Lakeland –Półczyn-Zdrój	<i>zimna cold</i>	30,1	12,4	1,1	.	.	.	.	.	.	.	6,9	21,6	6,0
	<i>chłodna cool</i>	69,5	76,2	63,0	46,7	19,2	9,8	3,4	7,2	33,7	54,5	86,0	78,2	45,3
	<i>komfortowa comfortable</i>	0,4	11,2	25,1	22,2	19,0	31,0	26,9	23,3	21,5	27,6	6,9	0,2	18,0
	<i>ciepła warm</i>	.	0,2	10,4	26,3	35,8	29,6	35,7	31,9	36,5	16,3	0,2	.	18,7
	<i>gorąca hot</i>	.	.	0,4	4,4	16,1	16,1	19,2	22,6	6,0	1,6	.	.	7,3
	<i>bardzo gorąca very hot</i>	.	.	.	0,4	9,9	13,5	14,8	15,0	2,3	.	.	.	4,7
Północno- wschodni North-East –Gołdap	<i>zimna cold</i>	45,1	26,7	3,5	.	.	.	.	.	.	.	8,0	35,2	9,9
	<i>chłodna cool</i>	50,9	69,3	91,3	67,2	14,0	1,7	.	0,3	28,5	83,2	87,0	60,8	46,1
	<i>komfortowa comfortable</i>	3,0	4,0	5,2	28,0	40,3	33,8	27,3	31,3	53,8	15,4	5,0	4,0	20,9
	<i>ciepła warm</i>	.	.	.	4,8	44,3	60,2	64,9	62,0	15,7	1,4	.	.	21,2
	<i>gorąca hot</i>	.	.	.	.	0,8	2,3	4,8	3,4	2,0	.	.	.	1,1
	<i>bardzo gorąca very hot</i>	.	.	.	.	0,6	2,0	3,0	3,0	.	.	.	.	0,8
Centralny Central –Ciechocinek	<i>zimna cold</i>	26,1	12,5	0,9	.	.	.	.	.	.	.	4,6	24,1	5,5
	<i>chłodna cool</i>	72,6	76,7	64,0	47,0	16,4	4,2	0,7	3,8	26,8	53,2	86,2	75,4	43,1
	<i>komfortowa comfortable</i>	1,3	10,1	21,3	16,7	25,9	25,1	27,4	25,6	19,5	18,4	7,9	0,5	16,9
	<i>ciepła warm</i>	.	0,7	12,8	27,2	25,6	25,6	29,6	29,7	32,8	25,2	1,3	.	17,9
	<i>gorąca hot</i>	.	.	1,0	7,7	19,7	20,9	19,2	21,5	15,1	3,1	.	.	9,2
	<i>bardzo gorąca very hot</i>	.	.	.	1,4	12,4	24,2	23,1	19,4	5,8	0,1	.	.	7,4

Region	Typ pogody Weather type	Miesiące Months												Rok Year
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
-Warszawa	<i>zimna cold</i>	70,2	56,1	35,0	9,1	0,3	.	.	.	.	13,1	52,9	75,4	26,0
	<i>chłodna cool</i>	29,8	41,5	47,8	49,1	31,4	28,4	24,1	20,8	40,4	52,3	43,5	24,5	36,1
	<i>komfortowa comfortable</i>	.	2,3	13,0	21,4	14,6	13,0	8,5	9,8	21,7	19,5	3,2	.	10,6
	<i>ciepła warm</i>	.	0,1	4,3	17,8	39,4	34,2	38,2	39,1	29,2	14,2	0,3	.	18,1
	<i>gorąca hot</i>	.	.	.	2,5	13,2	20,5	22,0	22,9	8,2	1,0	.	.	7,5
	<i>bardzo gorąca very hot</i>	.	.	.	.	1,0	3,9	7,3	7,4	0,4	.	.	.	1,7
Południowo- wschodni South-East -Nałęczów	<i>zimna cold</i>	26,9	11,4	1,4	.	.	.	.	.	.	0,2	8,2	24,7	6,2
	<i>chłodna cool</i>	68,9	70,6	61,8	38,5	13,4	6,1	1,4	4,4	25,6	52,5	75,5	74,0	41,2
	<i>komfortowa comfortable</i>	4,2	15,8	17,2	23,7	23,8	23,3	21,3	18,0	19,8	19,9	12,2	1,3	16,6
	<i>ciepła warm</i>	.	2,2	18,5	28,2	29,6	29,5	30,7	31,1	33,4	22,6	4,1	.	19,1
	<i>gorąca hot</i>	.	.	1,1	8,3	23,5	26,3	24,0	24,9	14,3	4,8	.	.	10,5
	<i>bardzo gorąca very hot</i>	.	.	.	1,3	9,7	14,8	22,6	21,6	6,9	.	.	.	6,4
Świętokrzysko- małopolski Upland -Szaniec	<i>zimna cold</i>	25,7	12,5	2,0	.	.	.	.	.	.	.	10,4	21,9	6,1
	<i>chłodna cool</i>	70,7	71,3	55,6	41,4	16,6	6,3	2,4	7,5	25,8	43,7	69,0	76,0	40,2
	<i>komfortowa comfortable</i>	3,6	14,9	23,8	25,4	22,1	24,9	18,0	17,4	23,0	26,5	17,8	1,9	18,2
	<i>ciepła warm</i>	.	1,3	16,8	26,7	29,7	34,2	35,8	32,2	30,3	24,4	2,8	0,2	19,7
	<i>gorąca hot</i>	.	.	1,8	6,1	20,2	20,2	22,2	23,5	16,7	5,4	.	.	9,8
	<i>bardzo gorąca very hot</i>	.	.	.	0,4	11,4	14,4	21,6	19,4	4,2	.	.	.	6,0
Sudecki Sudetic -ŁądekZdrój	<i>zimna cold</i>	21,0	10,6	1,6	.	.	.	.	.	.	0,2	6,8	17,9	4,8
	<i>chłodna cool</i>	74,3	68,0	61,0	50,0	20,8	4,7	2,1	5,6	35,2	46,5	73,2	78,7	43,2
	<i>komfortowa comfortable</i>	4,7	17,9	16,0	15,8	28,2	38,0	36,9	30,9	18,4	17,9	16,5	3,4	20,4
	<i>ciepła warm</i>	.	3,5	20,1	25,1	23,9	28,5	24,1	23,5	24,5	31,4	3,5	.	17,4
	<i>gorąca hot</i>	.	.	1,3	8,8	19,5	18,3	18,5	19,5	17,7	4,0	.	.	9,0
	<i>bardzo gorąca very hot</i>	.	.	.	0,3	7,6	10,5	18,4	20,5	4,2	.	.	.	5,2

Region	Typ pogody Weather type	Miesiące Months												Rok Year
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
–Głucholazy*	<i>zimna cold</i>	13,1	7,6	1,5	.	.	.	.	.	.	5,3	11,8	3,3	
	<i>chłodna cool</i>	73,7	64,8	49,6	36,5	15,1	4,7	1,3	5,0	21,2	38,1	64,2	79,8	37,8
	<i>komfortowa comfortable</i>	12,6	23,5	28,2	20,8	21,7	26,8	19,8	18,4	19,2	23,2	25,7	8,1	20,7
	<i>ciepła warm</i>	0,6	4,1	20,0	30,8	35,0	35,6	29,4	25,3	35,9	33,5	4,8	0,3	21,3
	<i>gorąca hot</i>	.	.	0,7	9,7	22,1	21,7	27,6	27,9	19,7	5,0	.	.	11,2
	<i>bardzo gorąca very hot</i>	.	.	.	2,2	6,1	11,2	21,9	23,4	4,0	0,2	.	.	5,7
Karpacki Carpathian –Rabka-Zdrój	<i>zimna cold</i>	8,9	4,4	1,3	.	.	.	.	.	.	.	3,0	8,2	2,1
	<i>chłodna cool</i>	78,2	56,5	36,0	25,0	6,9	2,8	1,3	1,6	16,0	25,5	59,6	81,3	32,5
	<i>komfortowa comfortable</i>	12,4	31,3	29,5	25,5	20,9	21,2	17,6	14,8	14,0	24,4	28,2	10,5	20,8
	<i>ciepła warm</i>	0,5	7,8	31,1	38,9	46,1	39,9	36,8	35,6	42,4	41,2	9,2	.	27,5
	<i>gorąca hot</i>	.	.	2,1	9,8	22,9	24,3	27,7	30,1	23,3	8,9	.	.	12,5
	<i>bardzo gorąca very hot</i>	.	.	.	0,8	3,2	11,8	16,6	17,9	4,3	.	.	.	4,6
–Hala Gąsienicowa**	<i>zimna cold</i>	68,1	69,6	63,5	35,0	7,1	.	.	.	14,0	37,1	67,7	69,7	35,9
	<i>chłodna cool</i>	31,9	29,3	28,7	46,0	58,4	67,3	71,6	59,7	55,0	39,0	29,0	30,0	46,1
	<i>komfortowa comfortable</i>	.	1,1	7,7	13,0	16,5	10,7	7,4	9,0	14,7	18,1	3,3	0,3	7,6
	<i>ciepła warm</i>	.	.	.	6,0	17,4	17,3	18,4	27,4	16,0	5,8	.	.	9,3
	<i>gorąca hot</i>	.	.	.	.	0,6	4,7	2,6	3,9	0,3	.	.	.	1,1
	<i>bardzo gorąca very hot</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

* okres / period 1981–2000; ** okres / period 1996–2005.

Badania własne. / Own data.



Ryc. 11.1. Częstość (%) typów pogody w poszczególnych porach roku w różnych regionach bioklimatycznych Polski:

I – Nadmorskim (Łeba), II – Pojeziernym (Połczyn-Zdrój), III – Północno-wschodnim (Gołdap), IV – Centralnym (a – Ciechocinek, b – Warszawa), V – Południowo-wschodnim (Nałęczów), VI – Świętokrzysko-małopolskim (Szaniec), VII – Sudeckim (a – Łądek-Zdrój, b – Głuchołazy), VIII – Karpackim (a – Rabka-Zdrój, b – Hala Gąsienicowa)

Fig. 11.1. Frequency (%) of weather types at particular seasons in bioclimatic regions of Poland:

I – Coastal (Łeba), II – Lakeland (Połczyn-Zdrój), III – North-eastern (Gołdap), IV – Central (a – Ciechocinek, b – Warsaw), V – South-eastern (Nałęczów), VI – Upland (Szaniec), VII – Sudetic (a – Łądek-Zdrój, b – Głuchołazy), VIII – Carpathian (a – Rabka-Zdrój, b – Hala Gąsienicowa, Tatra Mts.).

Badania własne. / Own data.

drzeniem mięśniowym. Fizjologiczny stres gorąca dominuje w miesiącach letnich i przejawia się podwyższeniem temperatury powierzchni ciała, rozszerzeniem peryferyjnych naczyń krwionośnych, zwiększeniem skórniego przepływu krwi i zmniejszeniem ciśnienia krwi oraz wzmożoną aktywnością gruczołów potowych. Częstość takich sytuacji pogodowych może w niektórych miejscowościach przewyższać 50% (tab. 11.2).

Trzecią biotermiczną cechą warunków pogodowych jest natężenie uczucia parności, związanego z aktualnymi warunkami termiczno-wilgotnościowymi otoczenia. Na większości stacji dominują sytuacje pogodowe nie wywołujące uczucia parności. Dni z umiarkowanym natężeniem parności, która może być uciążliwa głównie dla osób starszych i dzieci, zdarzają się od marca do października, a w niektórych miejscowościach sporadycznie także w miesiącach zimowych (w dniach stosunkowo ciepłych, gdy człowiek używa odzieży o podwyższonej izolacyjności termicznej). Silne uczucie parności, uciążliwe dla większości osób, pojawia się stosunkowo rzadko (od 3 do 14% dni), przede wszystkim w miesiącach letnich. Nad brzegiem Bałtyku i w wyższych partiach gór sytuacje takie praktycznie nie są notowane (tab. 11.2).

Analizując regionalne zróżnicowanie biotermicznych podtypów pogody można stwierdzić kilka prawidłowości (ryc. 11.2). W odniesieniu do bodźców radiacyjnych w miesiącach zimowych uprzywilejowane są miejscowości położone w regionach Sudeckim i Karpackim (poza najwyższymi partiami gór). Częstość dni z bodźcami umiarkowanymi może tam nawet przekroczyć 60% (przy średnio 20% w regionach: Nadmorskim, Pojeziernym i Północno-wschodnim). Latem pogoda z umiarkowanymi bodźcami radiacyjnymi jest wielokrotnie częstsza niż zimą. Przez 30–40% dni letnich występują silne bodźce radiacyjne; tylko w Regionie Północno-wschodnim i w Tatrach ich liczba jest wyraźnie zmniejszona i wynosi odpowiednio: 26–31% i 6–16%. Najwięcej dni ze słabymi bodźcami notuje się w Tatrach (ok. 70%), a najmniej – w Rabce (27%). W pozostałej części Polski występują one przez 40–60% dni rocznie. Wiosną i jesienią uprzywilejowane pod względem radiacyjnym są miejscowości w Karpatach i na Przedgórzu Sudeckim.

Znaczące zróżnicowanie przestrzenne częstości występowania różnych rodzajów stresu termofizjologicznego obserwuje się tylko w miesiącach letnich (ryc. 11.3). Pod tym względem wyraźnie zaznaczają się trzy grupy stacji o odmiennym charakterze. W Regionie Nadmorskim i w wysokich górach przez zdecydowaną większość dni letnich dominują warunki termofizjologicznego stresu zimna. Znaczny udział dni (około 33%) z panującym stresem zimna notuje się także w Regionie Pojeziernym. W pozostałej części Polski najczęściej spotyka się latem warunki termoneutralne (40–60% dni). Względna równowaga dni ze stresem zimna i stresem gorąca (po około 25–30%) występuje w regionach: Południowo-wschodnim, Świętokrzysko-małopolskim, Sudeckim i Karpackim (poza partiami szczytowymi gór). W regionach Centralnym i Północno-wschodnim sytuacje pogodowe powodujące stres gorąca panują w 30–35% dni letnich.

Bardzo wyrazisty jest obraz przestrzenny częstości pojawiania się warunków pogodowych o różnym natężeniu uczucia parności (ryc. 11.4). Zarówno latem, jak i wiosną oraz jesienią najczęściej dni z umiarkowanym i silnym uczuciem parności bywa w miejscowościach leżących w dolinach karpackich. Znaczna liczba dni

Tabela 11.2. Częstość występowania (%) różnych cech podtypów pogody w poszczególnych regionach bioklimatycznych, 1971–1990
 Table 11.2. Frequency (%) of various features bio-thermal weather subtypes in different bioclimatic regions, 1971–1990

Region	Cecha podtypu pogody Weather subtype/feature	Miesiące Months												Rok Year
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
		natężenie bodźców radiacyjnych intensity of radiation stimuli												
Nadmorski Coastal – Łeba	slabe weak	89,5	61,2	53,7	41,8	29,8	37,8	32,9	31,1	43,7	52,6	82,2	93,7	54,2
	umiarkowane moderate	10,5	38,8	37,1	37,2	21,6	20,7	26,3	36,1	50,3	47,4	17,8	6,3	29,1
	silne strong	.	.	9,2	21,0	48,5	41,5	40,8	32,7	6,0	.	.	.	16,8
Pojezierny Lakeland – Połczyn-Zdrój	slabe weak	86,4	62,5	53,9	45,7	34,9	42,0	36,6	34,3	42,5	50,8	82,5	91,3	55,1
	umiarkowane moderate	13,6	37,5	33,0	32,0	26,0	27,5	32,3	33,2	45,6	48,4	17,5	8,7	29,5
	silne strong	.	.	13,1	22,2	39,1	30,6	31,1	32,4	11,9	0,8	.	.	15,4
Płn.-wschodni North-East – Goldap	slabe weak	84,5	66,0	57,1	49,2	41,5	47,8	48,1	36,0	47,8	51,9	84,2	89,8	58,6
	umiarkowane moderate	15,5	34,0	27,1	28,2	21,3	21,0	26,0	35,8	37,5	48,1	15,8	10,2	26,7
	silne strong	.	.	15,8	22,7	37,3	31,2	26,0	28,2	14,7	.	.	.	14,7
Centralny Central – Ciechocinek – Warszawa	slabe weak	81,6	67,2	59,0	52,7	45,7	41,3	44,6	38,5	45,6	53,3	78,8	89,0	57,9
	umiarkowane moderate	18,4	32,8	28,9	26,0	17,9	20,8	23,8	34,0	40,3	45,4	21,2	11,0	26,7
	silne strong	.	.	12,1	21,3	36,4	37,9	31,6	27,5	14,1	1,3	.	.	15,4
Płd.-wschodni South-East – Nałęczów	slabe weak	71,7	57,2	46,5	42,5	29,6	32,6	28,8	24,7	38,3	47,3	65,7	89,8	47,9
	umiarkowane moderate	28,3	42,8	43,8	35,9	33,6	37,1	39,3	34,0	49,6	46,6	34,3	10,2	36,3
	silne strong	.	.	9,7	21,6	36,8	30,3	31,9	41,2	12,2	6,1	.	.	15,8
Świętokrzysko- -małopolski Upland – Szaniec	slabe weak	69,6	62,4	55,9	42,8	38,5	36,5	33,3	30,7	39,1	51,8	66,3	87,3	51,3
	umiarkowane moderate	30,4	37,6	24,9	32,8	27,2	29,3	32,1	28,1	45,7	41,0	33,7	12,7	31,2
	silne strong	.	.	19,2	24,4	34,2	34,3	34,6	41,2	15,2	7,2	.	.	17,5
Świętokrzysko- -małopolski Upland – Szaniec	slabe weak	65,4	50,7	45,3	42,8	35,3	34,7	25,1	27,5	38,9	38,4	58,2	87,6	45,8
	umiarkowane moderate	34,6	49,3	37,4	35,8	29,0	35,3	39,6	31,7	47,7	54,8	41,8	12,4	37,3
	silne strong	.	.	17,3	21,4	35,7	30,0	35,3	40,7	13,3	6,8	.	.	16,8

Region	Cecha podtypu pogody Weather subtype feature	Miesiące Months												Rok Year
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
natężenie bodźców radiacyjnych <i>intensity of radiation stimuli</i>														
Sudecki Sudetic – Łądek-Zdrój – Głuchołazy*	slabe <i>weak</i>	67,7	61,8	56,3	52,5	48,5	50,3	48,7	43,9	49,8	46,0	64,7	80,3	55,9
	umiarkowane <i>moderate</i>	32,3	38,2	25,0	22,5	17,1	21,5	19,5	18,5	28,5	46,5	35,3	19,7	27,0
	silne <i>strong</i>	.	.	18,7	25,0	34,4	28,2	31,8	37,6	21,7	7,6	.	.	17,2
	slabe <i>weak</i>	51,6	41,4	42,6	38,0	34,2	37,3	28,5	28,7	36,5	36,5	51,2	69,2	41,3
	umiarkowane <i>moderate</i>	48,4	55,9	44,5	30,3	25,8	32,7	31,6	26,9	45,2	57,7	48,8	30,8	39,8
	silne <i>strong</i>	.	2,7	12,9	31,7	40,0	30,0	39,8	44,4	18,3	5,8	.	.	18,9
Karpacki Carpathian – Rabka-Zdrój – Hala Gąsienicowa**	slabe <i>weak</i>	46,1	32,4	29,0	27,5	28,6	27,8	26,1	19,3	23,7	24,0	38,3	62,6	27,0
	umiarkowane <i>moderate</i>	53,9	67,6	54,0	45,3	32,5	36,7	32,1	31,4	62,8	68,7	61,7	37,4	53,6
	silne <i>strong</i>	.	.	16,9	27,2	38,9	35,5	41,8	49,3	13,5	7,3	.	.	19,3
	slabe <i>weak</i>	67,4	68,2	67,4	68,0	61,9	68,3	72,6	60,3	65,3	64,5	74,0	76,5	68,2
	umiarkowane <i>moderate</i>	32,6	31,8	20,6	18,0	22,9	18,3	21,0	22,9	28,3	32,9	26,0	23,5	24,2
	silne <i>strong</i>	.	.	11,9	14,0	15,2	13,3	6,5	16,8	6,3	2,6	.	.	7,6
stres termofizjologiczny <i>physiological strain</i>														
Nadmorski Coastal – Łeba	stres zimna <i>cold stress</i>	100,0	100,0	99,7	97,2	83,1	79,0	64,4	56,6	83,7	94,8	99,8	100,0	88,1
	termoneutralnie <i>thermoneutral</i>	.	.	0,3	2,8	13,7	16,8	30,8	35,0	14,3	5,2	0,2	.	10,0
	stres gorąca <i>hot stress</i>	.	.	.	.	3,2	4,2	4,8	8,4	2,0	.	.	.	1,9
Pojezierny Lakeland – Połczyn-Zdrój	stres zimna <i>cold stress</i>	100,0	100,0	97,3	90,0	51,4	40,4	34,7	25,4	67,7	91,5	100,0	100,0	74,7
	termoneutralnie <i>thermoneutral</i>	.	.	2,7	10,0	40,5	44,5	44,4	56,2	29,4	8,5	.	.	19,8
	stres gorąca <i>hot stress</i>	.	.	.	.	8,1	15,1	20,9	18,4	2,9	.	.	.	5,5
Płn.-wschodni North-East – Goldap	stres zimna <i>cold stress</i>	100,0	100,0	98,7	88,5	46,0	29,7	17,7	14,4	60,2	90,3	100,0	100,0	70,2
	termoneutralnie <i>thermoneutral</i>	.	.	1,3	10,2	35,0	42,2	46,9	54,0	32,3	9,0	.	.	19,4
	stres gorąca <i>hot stress</i>	.	.	.	1,3	19,0	28,2	35,3	31,6	7,5	0,6	.	.	10,4

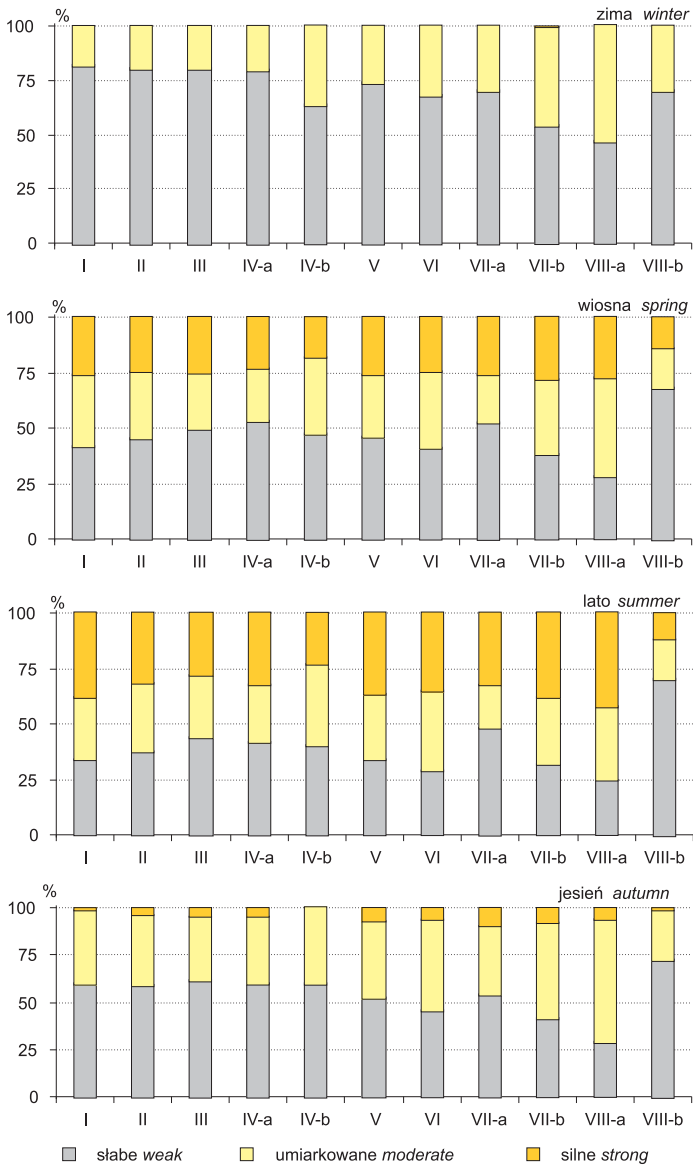
Region	Cecha podtypu pogody <i>Weather subtype feature</i>	Miesiące <i>Months</i>												Rok <i>Year</i>
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
stres termofizjologiczny <i>physiological strain</i>														
Centralny <i>Central</i> – Ciechocinek	stres zimna <i>cold stress</i>	100,0	99,9	95,9	81,5	38,7	21,4	15,5	16,2	44,7	82,8	99,7	100,0	65,6
	termoneutralnie <i>thermoneutral</i>	.	0,1	4,1	16,8	45,6	47,2	48,7	51,7	46,0	16,9	0,3	.	23,6
	stres gorąca <i>hot stress</i>	.	.	.	1,7	15,7	31,5	35,7	32,1	9,3	0,2	.	.	10,8
– Warszawa	stres zimna <i>cold stress</i>	100,0	100,0	97,9	87,7	53,7	40,4	31,5	26,8	68,2	92,6	100,0	100,0	74,9
	termoneutralnie <i>thermoneutral</i>	.	.	2,1	9,8	33,9	38,8	41,1	44,0	27,2	7,4	.	.	17,0
	stres gorąca <i>hot stress</i>	.	.	.	2,5	12,4	20,8	27,4	29,2	4,6	.	.	.	8,1
Płd.wschodni <i>South-East</i> – Nałęczów	stres zimna <i>cold stress</i>	100,0	99,8	95,9	79,6	37,6	30,7	18,3	16,3	51,7	82,6	99,0	100,0	67,8
	termoneutralnie <i>thermoneutral</i>	.	0,2	4,1	18,7	50,4	48,3	49,8	52,4	40,9	17,2	1,0	.	23,5
	stres gorąca <i>hot stress</i>	.	.	.	1,7	12,0	20,9	31,9	31,3	7,4	0,2	.	.	8,7
Świętokrzysko- małopolski <i>Upland</i> – Szaniec	stres zimna <i>cold stress</i>	100,0	100,0	94,0	82,6	48,0	36,3	26,5	25,1	54,9	81,8	99,6	100,0	70,3
	termoneutralnie <i>thermoneutral</i>	.	.	6,0	17,0	40,9	46,1	47,7	44,3	36,7	18,2	0,4	.	21,7
	stres gorąca <i>hot stress</i>	.	.	.	0,4	11,0	17,5	25,8	30,6	8,4	.	.	.	8,0
Sudecki <i>Sudetic</i> – Łądek-Zdrój	stres zimna <i>cold stress</i>	100,0	99,6	96,0	83,5	47,9	38,2	26,9	22,4	53,8	84,0	99,3	100,0	70,8
	termoneutralnie <i>thermoneutral</i>	.	0,4	4,0	16,3	46,3	51,2	52,4	56,0	41,2	16,0	0,7	.	23,8
	stres gorąca <i>hot stress</i>	.	.	.	0,2	5,8	10,7	20,6	21,6	5,0	.	.	.	5,4
– Głuchołazy*	stres zimna <i>cold stress</i>	99,8	99,4	95,2	78,3	47,4	33,7	21,1	18,2	46,7	71,5	97,2	99,7	67,0
	termoneutralnie <i>thermoneutral</i>	0,2	0,6	4,8	19,2	45,0	53,0	51,6	49,5	47,0	27,6	2,8	0,3	25,3
	stres gorąca <i>hot stress</i>	.	.	.	2,5	7,6	13,3	27,3	32,3	6,3	1,0	.	.	7,7

Region	Cecha podtypu pogody <i>Weather subtype feature</i>	Miesiące <i>Months</i>												Rok <i>Year</i>	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
	stres termofizjologiczny <i>physiological strain</i>														
Karpacki <i>Carpathian</i> – Rabka-Zdrój	stres zimna <i>cold stress</i>	99,7	98,9	89,5	75,2	37,6	28,8	17,7	17,1	43,2	67,6	94,8	99,8	63,9	
	termoneutralnie <i>thermoneutral</i>	0,3	1,1	10,3	23,7	54,3	54,7	58,4	57,0	47,7	31,1	5,2	0,2	28,8	
	stres gorąca <i>hot stress</i>	.	.	0,2	1,2	8,1	16,5	23,9	25,9	9,2	1,3	.	.	7,2	
	– Hala Gąsienicowa**	stres zimna <i>cold stress</i>	100,0	100,0	100,0	99,3	84,8	78,0	75,5	68,7	93,7	97,4	99,7	100,0	90,9
		termoneutralnie <i>thermoneutral</i>	.	.	.	0,7	15,2	22,0	24,2	30,3	6,3	2,6	0,3	.	9,0
		stres gorąca <i>hot stress</i>	0,3	1,0	0,1
	parność <i>sultriness</i>														
Nadmorski <i>Coastal</i> – Łeba	brak <i>non sultry</i>	100,0	100,0	99,8	99,8	98,9	98,3	97,1	96,3	98,7	99,5	99,8	100,0	99,0	
	umiarkowana <i>moderate</i>	.	.	0,2	0,2	1,1	1,7	2,9	3,5	1,2	0,5	0,2	.	1,0	
	duża <i>great</i>	.	.	.	.	.	.	.	0,2	0,2	.	.	.	0,0
Pojezierny <i>Lakeland</i> – Połczyn-Zdrój	brak <i>non sultry</i>	100,0	99,6	98,6	97,8	89,6	82,9	78,0	75,1	91,0	95,4	99,8	100,0	92,3	
	umiarkowana <i>moderate</i>	.	0,4	1,4	2,2	10,0	13,5	19,9	22,8	7,1	4,2	0,2	.	6,9	
	duża <i>great</i>	.	.	.	.	0,4	3,5	2,1	2,1	1,9	0,4	.	.	0,8
Płn.-wschodni <i>North-East</i> – Goldap	brak <i>non sultry</i>	100,0	100,0	100,0	99,3	87,1	79,2	74,2	76,8	95,2	99,8	100,0	100,0	92,6	
	umiarkowana <i>moderate</i>	.	.	.	0,7	12,9	20,8	25,2	22,6	4,8	0,2	.	.	7,3	
	duża <i>great</i>	.	.	.	.	.	.	0,6	0,6	.	.	.	.	0,1
Centralny <i>Central</i> – Ciechocinek	brak <i>non sultry</i>	100,0	100,0	99,4	97,0	87,4	77,6	71,7	66,4	86,7	95,5	99,9	100,0	90,0	
	umiarkowana <i>moderate</i>	.	.	0,6	2,7	12,4	21,0	25,9	32,3	12,8	4,5	0,1	.	9,5	
	duża <i>great</i>	.	.	.	0,2	0,1	1,4	2,4	1,3	0,5	.	.	.	0,5	
	– Warszawa	brak <i>non sultry</i>	100,0	100,0	99,9	99,1	95,8	92,2	87,4	87,1	97,8	99,5	100,0	100,0	96,6
umiarkowana <i>moderate</i>		.	.	0,1	0,9	4,2	7,7	12,0	12,5	1,9	0,4	.	.	3,3	
duża <i>great</i>		.	.	.	.	.	0,1	0,6	0,4	0,2	0,1	.	.	0,1

Region	Cecha podtypu pogody Weather subtype feature	Miesiące Months												Rok Year
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
	parność <i>sultriness</i>													
Płd.-wschodni South-East – Nałęczów	brak <i>non sultry</i>	100,0	99,8	98,4	95,9	82,6	77,4	60,6	61,8	80,7	92,5	98,0	100,0	87,3
	umiarkowana <i>moderate</i>	.	0,2	1,6	3,7	13,8	17,8	30,6	28,9	13,9	6,5	2,0	.	9,9
	duża <i>great</i>	.	.	.	0,4	3,6	4,8	8,8	9,3	5,4	1,1	.	.	2,8
Świętokrzysko- małopolski Upland – Szaniec	brak <i>non sultry</i>	99,8	99,6	99,1	98,4	89,8	81,9	73,0	72,0	87,4	97,1	100,0	100,0	91,4
	umiarkowana <i>moderate</i>	0,2	0,4	0,9	1,6	10,2	16,3	23,4	25,5	12,1	2,9	.	.	7,9
	duża <i>great</i>	.	.	.	.	.	1,8	3,6	2,5	0,5	.	.	.	0,7
Sudecki Sudetic – Łądek-Zdrój – Głucholązy*	brak <i>non sultry</i>	100,0	99,6	99,7	98,0	88,1	76,2	65,5	65,0	82,2	95,8	99,5	100,0	89,0
	umiarkowana <i>moderate</i>	.	0,4	0,3	1,7	11,6	22,5	30,8	32,3	17,0	4,2	0,5	.	10,2
	duża <i>great</i>	.	.	.	0,3	0,3	1,3	3,7	2,7	0,8	.	.	.	0,8
	brak <i>non sultry</i>	98,7	98,7	99,0	98,0	88,3	78,8	69,4	66,3	84,0	90,5	98,2	100,0	89,2
	umiarkowana <i>moderate</i>	1,3	1,3	1,0	1,7	11,0	18,5	26,0	27,7	15,2	8,9	1,8	.	9,5
	duża <i>great</i>	.	.	.	0,3	0,7	2,7	4,7	6,0	0,8	0,6	.	.	1,3
Karpacki Carpathian – Rabka-Zdrój – Hala Gąsienicowa**	brak <i>non sultry</i>	99,8	96,6	90,2	86,0	56,9	44,7	41,0	30,6	53,3	74,5	91,8	99,4	71,9
	umiarkowana <i>moderate</i>	0,2	3,4	9,8	13,8	39,3	45,7	45,5	50,6	36,8	23,1	8,2	0,6	23,2
	duża <i>great</i>	.	.	.	0,2	3,9	9,7	13,5	18,8	9,8	2,4	.	.	4,9
	brak <i>non sultry</i>	100,0	100,0	100,0	100,0	99,7	97,0	94,5	96,1	99,3	99,4	100,0	100,0	98,8
	umiarkowana <i>moderate</i>	.	.	.	.	0,3	3,0	5,5	3,9	0,7	0,6	.	.	1,2
	duża <i>great</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

* okres / period 1981–2000; ** okres / period 1996–2005.

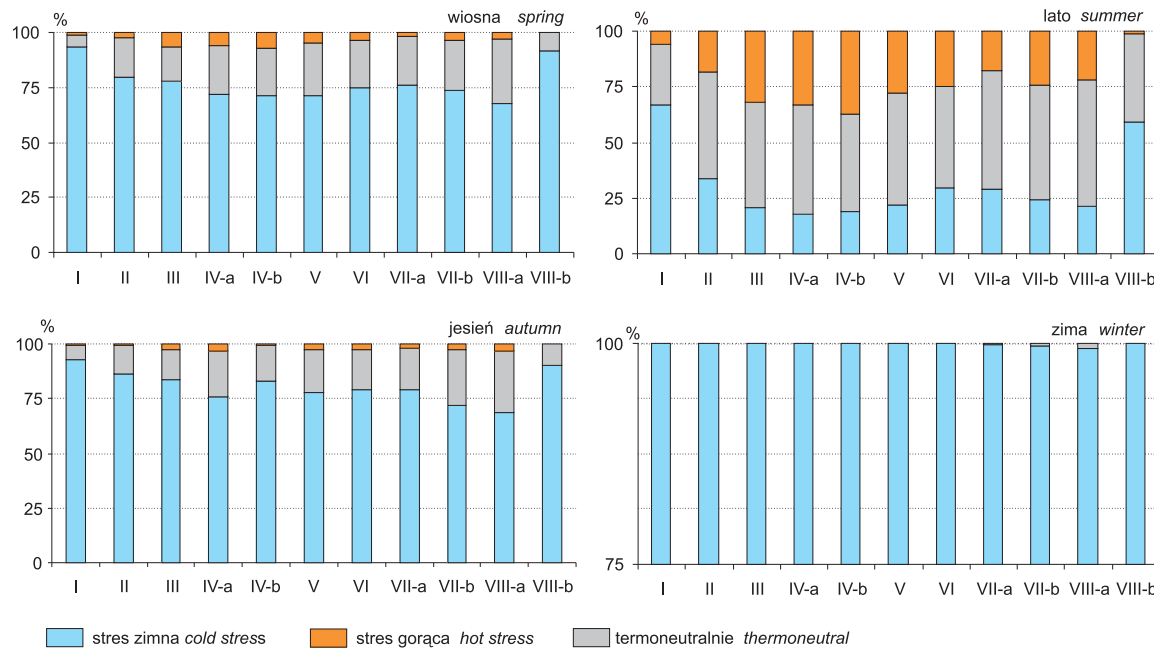
Badania własne. / Own data.



Ryc. 11.2. Częstość (%) występowania dni o różnym natężeniu bodźców radiacyjnych w poszczególnych porach roku i regionach bioklimatycznych (I–VIIIb) (objaśnienia jak na ryc. 11.1)

Fig. 11.2. Frequency (%) of days with various intensity of radiation stimuli in particular seasons and bioclimatic regions (I–VIIIb) (for explanations see fig. 11.1)

Badania własne. / Own data.



Ryc. 11.3. Częstość (%) występowania dni o różnym rodzaju stresu termofizjologicznego w poszczególnych porach roku i regionach bioklimatycznych (I–VIII-b) (objaśnienia jak na ryc. 11.1)

Fig. 11.3. Frequency (%) of days with various physiological strain type in particular seasons and bioclimatic regions (I–VIII-b) (for explanations see fig. 11.1)

Badania własne. / Own data.

z silną parnością jest także notowana w Regionie Południowo-wschodnim, a zdecydowanie najmniej jest takich sytuacji pogodowych w Regionie Nadmorskim oraz w wysokich partiach gór.

11.1.3. Klasy pogody

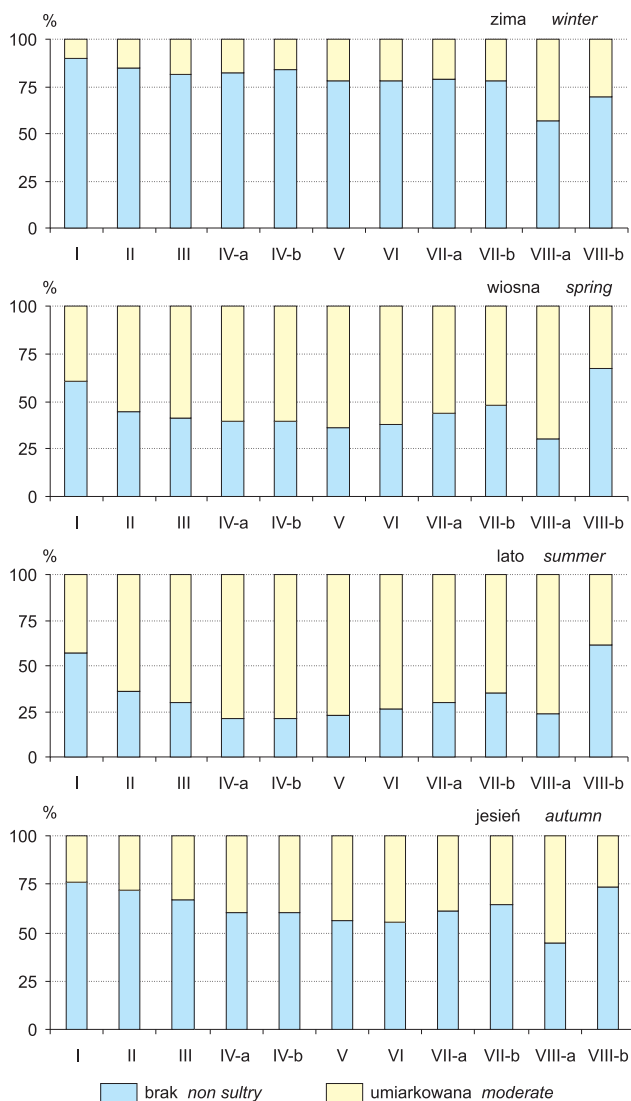
Klasy pogody są wyznaczone na podstawie pojawiania się określonych sytuacji meteorologicznych o różnej, dobowej kontrastowości warunków termicznych oraz opadach atmosferycznych o sumie dobowej ≥ 1 mm i pokrywie śnieżnej o grubości ≥ 10 cm.

Sezonowy obraz zróżnicowania dobowych kontrastów temperatury powietrza jest dość złożony. W większości regionów Polski duże dobowe kontrasty temperatury dominują w okresie od kwietnia do sierpnia lub września. Wyjątki stanowią: Region Nadmorski, gdzie tylko w maju duże wartości *dt* są notowane przez większość dni w miesiącu oraz Tatry, gdzie tylko w czerwcu liczba dni z dużymi kontrastami termicznymi zbliża się do 50%; w pozostałych miesiącach wynosi ona 19–42%. Specyficzne warunki termiczne panują także w Rabce, gdzie przez większą część roku dominuje pogoda o dużych dobowych kontrastach temperatury powietrza; od maja do sierpnia sytuacje takie stanowią 75–80% dni w miesiącu (tab. 11.3).

Duże dobowe kontrasty termiczne najczęściej występują wiosną i latem. Zwiększoną ich frekwencją odznaczają się miejscowości położone w dolinach, bez względu na region. Odmienna sytuacja panuje na obszarach nadmorskich i wysokogórskich, gdzie częstość dni z dużymi dobowymi kontrastami termicznymi jest wyraźnie mniejsza niż w pozostałej części Polski; prawidłowość ta dotyczy zwłaszcza wiosny i lata. Zimą zróżnicowanie przestrzenne tej cechy pogody prawie całkowicie się zacierza (ryc. 11.5).

Pod względem liczby dni z opadem atmosferycznym zaznaczają się 4 typy cyklu rocznego. W regionach: Nadmorskim, Pojeziernym i Północno-wschodnim najczęściej sytuacji pogodowych z opadem występuje w miesiącach jesiennych oraz w lipcu i w grudniu; stanowią one wtedy od 30 do 43% dni w miesiącu. W regionach: Centralnym, Południowo-wschodnim i Świętokrzysko-małopolskim tylko w czerwcu lub w lipcu pogoda z opadem przewyższa 1/3 dni w miesiącu. Z podobną frekwencją pogoda z opadem występuje od maja do lipca lub sierpnia w Regionie Sudeckim. Najmniej korzystne dla rekreacji warunki opadowe notuje się w Regionie Karpackim, gdzie przez większość miesięcy częstość dni z opadem jest większa od 33%, a w Tatrach nawet od 45% (tab. 11.3).

Największe zróżnicowanie regionalne warunków pogodowych obserwuje się latem i jesienią (ryc. 11.6). W pozostałych porach roku znaczne zwiększenie liczby dni z opadem charakteryzuje jedynie Region Karpacki. Latem stosunkowo mało dni deszczowych notuje się w regionach Nadmorskim oraz Północno- i Południowo-wschodnim, a najwięcej takich sytuacji jest w Karpatach. Jesienią najmniej dni z opadem występuje w Południowo-wschodnim, Świętokrzysko-małopolskim oraz Sudeckim, podwyższoną frekwencją dni z opadem wyróżnia się natomiast Region Nadmorski oraz Tatry.



Ryc. 11.4. Częstość (%) występowania dni o różnym natężeniu uczucia parności w poszczególnych porach roku i regionach bioklimatycznych (I–VIII-b) (objaśnienia jak na ryc. 11.1)

Fig. 11.4. Frequency (%) of days with various intensity of sultriness in particular seasons and bioclimatic regions (I–VIII-b) (for explanations see fig. 11.1)

Badania własne. / Own data.

Z uwagi na braki w materiałach obserwacyjnych, warunki pogodowe odpowiednie do uprawiania turystyki narciarskiej – oceniane na podstawie dni z pokrywą śnieżną o grubości ponad 10 cm – można było określić tylko dla niektórych regionów: Nadmorskiego, Północno-wschodniego, Centralnego, Sudeckiego

Tabela 11.3. Częstość występowania (%) klas pogody w różnych regionach bioklimatycznych, 1971–1990

Table 11.3. Frequency (%) of weather classes in various bioclimatic regions, 1971–1990

Region	Klasa pogody Weather class	Miesiące Months												Rok Year
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
dobowe kontrasty temperatury <i>daily temperature contrasts</i>														
Nadmorski <i>Coastal</i> – Łeba	małe <i>small</i>	89,5	84,8	73,9	60,7	46,1	57,2	60,2	54,5	64,3	71,6	92,2	95,8	70,8
	duże <i>great</i>	10,5	15,2	26,1	39,3	53,9	42,8	39,8	45,5	35,7	28,4	7,8	4,2	29,2
Pojezierny <i>Lakeland</i> – Połczyn-Zdrój	małe <i>small</i>	83,6	78,8	64,7	43,0	25,3	33,7	39,7	34,5	51,9	71,0	92,7	91,5	58,6
	duże <i>great</i>	16,4	21,2	35,3	57,0	74,7	66,3	60,3	65,5	48,1	29,0	7,3	8,5	41,4
Płn.-wschodni <i>North-East</i> – Gołdap	małe <i>small</i>	82,3	75,0	62,7	38,3	21,3	24,7	32,7	33,2	48,5	63,7	89,3	86,3	54,7
	duże <i>great</i>	17,7	25,0	37,3	61,7	78,7	75,3	67,3	66,8	51,5	36,3	10,7	13,7	45,3
Centralny <i>Central</i> – Ciechocinek – Warszawa	małe <i>small</i>	82,4	74,2	60,9	33,7	22,8	21,0	21,7	21,1	37,0	55,3	88,2	90,4	50,1
	duże <i>great</i>	17,6	25,8	39,1	66,3	77,2	79,0	78,3	78,9	63,0	44,7	11,8	9,6	49,9
	małe <i>small</i>	83,2	76,0	58,3	34,7	22,2	25,7	24,0	24,2	41,2	56,9	84,8	90,0	51,8
	duże <i>great</i>	16,8	24,0	41,7	65,3	77,8	74,3	76,0	75,8	58,8	43,1	15,2	10,0	48,2
Płd.-wschodni <i>South-East</i> – Nałęczów	małe <i>small</i>	76,4	73,2	54,6	30,0	24,2	25,4	23,1	21,0	35,9	52,7	80,0	84,4	48,4
	duże <i>great</i>	23,6	26,8	45,4	70,0	75,8	74,6	76,9	79,0	64,1	47,3	20,0	15,6	51,6
Świętokrzysko- –małopolski <i>Upland</i> – Szaniec	małe <i>small</i>	75,4	73,4	52,0	33,9	27,4	27,0	26,5	26,1	38,9	52,5	74,3	84,4	49,0
	duże <i>great</i>	24,6	26,6	48,0	66,1	72,6	73,0	73,5	73,9	61,1	47,5	25,7	15,6	51,0
Sudecki <i>Sudetic</i> – Łądek-Zdrój	małe <i>small</i>	81,0	72,6	59,5	43,5	27,6	29,2	29,2	29,8	45,3	57,9	80,3	82,3	53,1
	duże <i>great</i>	19,0	27,4	40,5	56,5	72,4	70,8	70,8	70,2	54,7	42,1	19,7	17,7	46,9

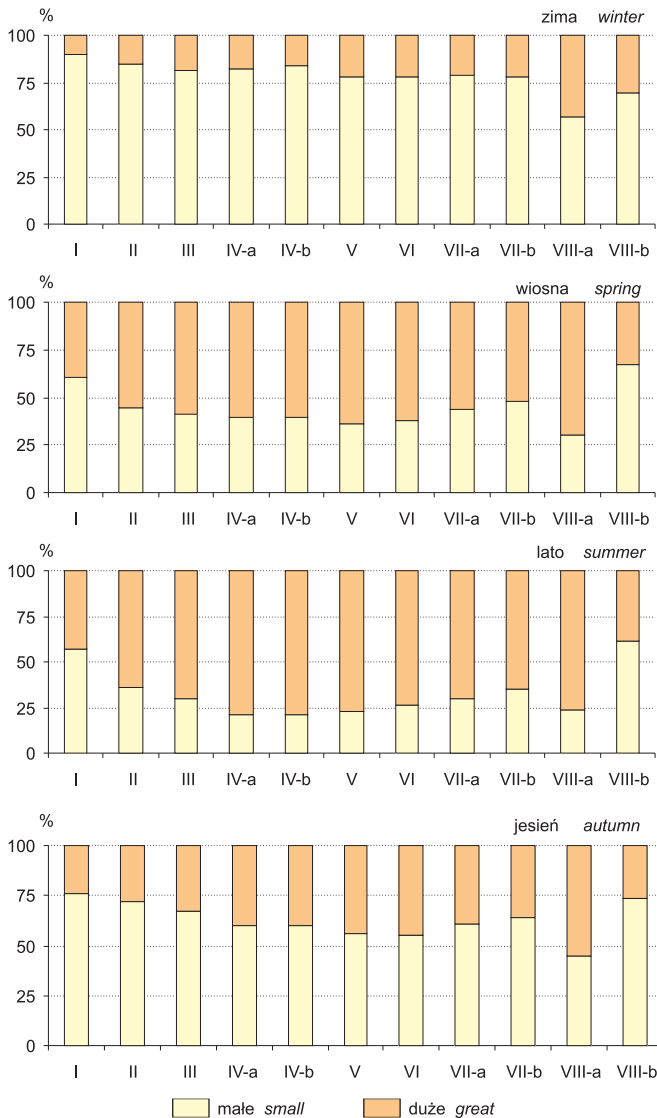
Region	Klasa pogody Weather class	Miesiące Months												Rok Year
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
dobowe kontrasty temperatury <i>daily temperature contrasts</i>														
– Głucholaźy*	małe <i>small</i>	78,5	73,6	63,7	44,3	34,8	37,2	35,5	31,8	52,0	62,6	78,2	82,4	56,2
	duże <i>great</i>	21,5	26,4	36,3	55,7	65,2	62,8	64,5	68,2	48,0	37,4	21,8	17,6	43,8
Karpacki <i>Carpathian</i> – Rabka-Zdrój	małe <i>small</i>	57,6	50,4	37,7	33,7	19,9	22,3	23,4	24,9	37,0	37,9	59,8	63,1	39,1
	duże <i>great</i>	42,4	49,6	62,3	66,3	80,1	77,7	76,6	75,1	63,0	62,1	40,2	36,9	60,9
– Hala Gąsienicowa**	małe <i>small</i>	69,7	66,8	63,2	78,0	60,3	58,7	66,1	63,2	66,3	66,5	74,0	73,5	67,3
	duże <i>great</i>	30,3	33,2	36,8	22,0	39,7	41,3	33,9	36,8	33,7	33,5	26,0	26,5	32,7
opad atmosferyczny – dzień <i>precipitation – day</i>														
Nadmorski <i>Coastal</i> – Łeba	bez opadu <i>no rain</i>	69,2	76,6	72,1	77,7	78,4	74,3	66,9	71,6	63,0	66,0	57,0	60,5	69,4
	z opadem <i>rainy</i>	30,8	23,4	27,9	22,3	21,6	25,7	33,1	28,4	37,0	34,0	43,0	39,5	30,6
Pojezierny <i>Lakeland</i> – Połczyn-Zdrój	bez opadu <i>no rain</i>	67,4	77,2	74,0	74,3	74,0	69,4	65,6	71,7	67,8	70,8	64,9	64,5	70,2
	z opadem <i>rainy</i>	32,6	22,8	26,0	25,7	26,0	30,6	34,4	28,3	32,2	29,2	35,1	35,5	29,8
Płn.-wschodni <i>North-East</i> – Goldap	bez opadu <i>no rain</i>	69,7	79,3	73,5	75,7	72,6	61,3	59,7	67,7	64,3	70,5	66,5	64,4	68,7
	z opadem <i>rainy</i>	30,3	20,7	26,5	24,3	27,4	38,7	40,3	32,3	35,7	29,5	33,5	35,6	31,3
Centralny <i>Central</i> – Ciechocinek	bez opadu <i>no rain</i>	70,4	72,7	74,4	75,2	68,2	67,5	65,3	70,9	70,8	70,5	67,3	67,6	70,0
	z opadem <i>rainy</i>	29,6	27,3	25,6	24,8	31,8	32,5	34,7	29,1	29,2	29,5	32,7	32,4	30,0
– Warszawa	bez opadu <i>no rain</i>	78,7	76,7	76,4	76,7	72,6	69,4	70,6	73,3	72,0	76,4	71,8	70,5	73,7
	z opadem <i>rainy</i>	21,3	23,3	23,6	23,9	27,4	30,6	29,4	26,7	28,0	23,6	28,2	29,5	26,3
Płd.-wschodni <i>South-East</i> – Nałęczów	bez opadu <i>no rain</i>	72,9	76,9	78,6	76,1	70,8	63,5	72,7	75,9	72,3	75,2	76,5	68,9	73,4
	z opadem <i>rainy</i>	27,1	23,1	21,4	23,9	29,2	36,5	27,3	24,1	27,7	24,8	23,5	31,1	26,6

Region	Klasa pogody Weather class	Miesiące Months												Rok Year
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
opad atmosferyczny – dzień <i>precipitation – day</i>														
Świętokrzysko- małopolski <i>Upland</i> – Szaniec	bez opadu <i>no rain</i>	80,0	83,2	77,9	78,4	70,1	65,8	68,8	70,5	74,6	76,1	76,0	73,7	74,5
	z opadem <i>rainy</i>	20,0	16,8	22,1	21,6	29,9	34,2	31,2	29,5	25,4	23,9	24,0	26,3	25,5
Sudecki <i>Sudetic</i> – ŁądekZdrój – Głucholazy*	bez opadu <i>no rain</i>	70,8	71,3	70,0	67,3	66,3	57,7	63,1	65,8	67,5	75,6	67,8	67,6	67,6
	z opadem <i>rainy</i>	29,2	28,7	30,0	32,7	33,7	42,3	36,9	34,2	32,5	24,4	32,2	32,4	32,4
Karpacki <i>Carpathian</i> – RabkaZdrój – Hala Gąsienicowa**	bez opadu <i>no rain</i>	77,9	73,6	69,3	73,0	66,8	60,8	65,0	70,8	72,8	77,9	74,0	74,7	71,4
	z opadem <i>rainy</i>	22,1	26,4	30,7	27,0	33,2	39,2	35,0	29,2	27,2	22,1	26,0	25,3	28,6
Karpacki <i>Carpathian</i> – RabkaZdrój – Hala Gąsienicowa**	bez opadu <i>no rain</i>	62,9	70,3	68,4	64,0	62,4	54,2	59,5	62,2	66,2	70,8	62,7	60,6	63,7
	z opadem <i>rainy</i>	37,1	29,7	31,6	36,0	37,6	45,8	40,5	37,8	33,8	29,2	37,3	39,4	36,3
Nadmorski <i>Coastal</i> – Łeba	bez opadu <i>no rain</i>	56,1	45,6	47,4	47,7	46,1	40,0	33,9	52,9	58,0	50,6	51,0	52,6	48,3
	z opadem <i>rainy</i>	43,9	54,4	52,6	52,3	53,9	60,0	66,1	47,1	42,0	49,4	49,0	47,4	51,7
pokrywa śnieżna – dzień <i>snow cover – day</i>														
Nadmorski <i>Coastal</i> – Łeba	bez śniegu <i>no snow</i>	70,6	74,5	93,1	99,8	99,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,8	89,8	94,0
	ze śniegiem <i>snowy</i>	29,4	25,5	6,9	0,2	0,2	.	.	.	.	.	0,2	10,2	6,0
Płn.-wschodni <i>North-East</i> – Goldap	bez śniegu <i>no snow</i>	43,4	49,0	68,4	99,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,0	77,6	86,3
	ze śniegiem <i>snowy</i>	56,6	51,0	31,6	0,3	.	.	.	.	.	.	4,0	22,4	13,7
Centralny <i>Central</i> – Ciechocinek – Warszawa	bez śniegu <i>no snow</i>	97,6	96,9	96,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,7	95,9	98,6
	ze śniegiem <i>snowy</i>	2,4	3,1	4,0	.	.	.	.	.	.	.	3,3	4,1	1,4
Centralny <i>Central</i> – Warszawa	bez śniegu <i>no snow</i>	97,6	96,9	96,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,7	95,9	98,6
	ze śniegiem <i>snowy</i>	2,4	3,1	4,0	.	.	.	.	.	.	.	3,3	4,1	1,4

Region	Klasa pogody Weather class	Miesiące Months												Rok Year
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
	pokrywa śnieżna – dzień <i>snow cover – day</i>													
Sudecki <i>Sudetic</i> – Łądek-Zdrój	bez śniegu <i>no snow</i>	67,6	65,7	84,2	96,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	89,2	76,9	90,1
	ze śniegiem <i>snowy</i>	32,4	34,3	15,8	3,7	.	.	.	.	.	.	10,8	23,1	9,9
Karpaccy <i>Carpathian</i> – Rabka-Zdrój	bez śniegu <i>no snow</i>	35,3	37,0	65,0	96,7	99,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	31,3	30,3	81,2
	ze śniegiem <i>snowy</i>	64,7	63,0	35,0	3,3	0,2	.	.	.	.	.	18,7	19,7	18,8
– Hala Gąsienicowa**	bez śniegu <i>no snow</i>	0,3	.	0,3	12,3	88,1	97,0	100,0	100,0	95,3	81,6	50,7	18,7	51,2
	ze śniegiem <i>snowy</i>	99,7	100,0	99,7	87,7	11,9	3,0	.	.	4,7	18,4	49,3	81,3	48,8

* okres / period 1981–2000, ** okres / period 1996–2005.

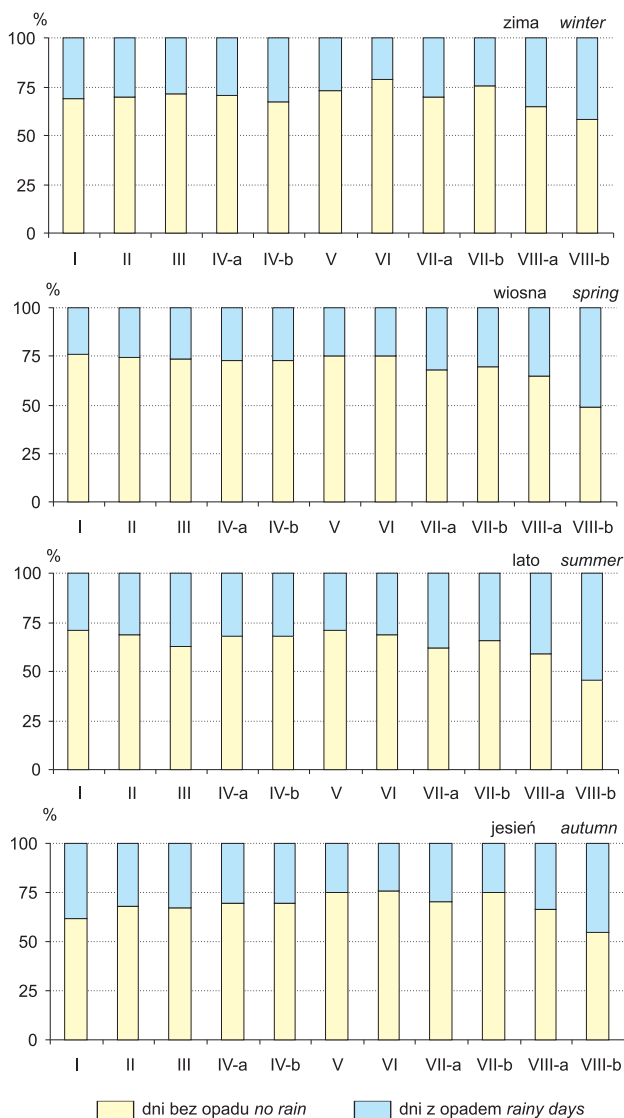
Badania własne. / Own data.



Ryc. 11.5. Częstość (%) występowania dni o różnym natężeniu dobowych kontrastów termicznych w poszczególnych porach roku i regionach bioklimatycznych (I–VIII-b); (objaśnienia jak na ryc. 11.1)

Fig. 11.5. Frequency (%) of days with various intensity of daily temperature contrasts in particular seasons and bioclimatic regions (I–VIII-b) (for explanations see fig. 11.1)

Badania własne. / Own data.



Ryc. 11.6. Częstość (%) występowania dni bez opadu i dni z opadem w poszczególnych porach roku i regionach bioklimatycznych (I–VIIIb) (objaśnienia jak na ryc. 11.1)

Fig. 11.6. Frequency (%) of non rainy and rainy days in particular seasons and bioclimatic regions (I–VIIIb) (for explanations see fig. 11.1)

Badania własne. / Own data.

i Karpackiego. Na większości obszaru Polski pogoda sprzyjająca uprawianiu narciarstwa występuje przez nie więcej niż 6% dni w roku. W regionach Sudeckim i Północno-wschodnim dobre warunki śniegowe są notowane przez 10–15% dni w roku, z kulminacją w styczniu i lutym. W Karpatach dni korzystnych dla turystyki narciarskiej jest w roku około 19%, a ich największa częstość przypada na styczeń i luty, osiągając ponad 60%. W najwyższych częściach Karpat (Tatry) od listopada do kwietnia pogoda z pokrywą śnieżną utrzymuje się przez ponad 50% dni w miesiącu, osiągając w styczniu i lutym wartość 100% (tab. 11.3).

Przestrzenne zróżnicowanie sytuacji pogodowych z pokrywą śnieżną jest najbardziej widoczne zimą i wiosną. Jesienią tylko w regionach Sudeckim i Karpackim można się liczyć z występowaniem niewielkiej liczby dni śnieżnych. Zimą najwięcej dni z pokrywą śnieżną obserwuje się w Regionie Karpackim (w Tatrach w styczniu i lutym pokrywa śnieżna o grubości ponad 10 cm występuje przez wszystkie dni), a następnie – Północno-wschodnim. W Sudetach jest ich wyraźnie mniej niż w Karpatach i na Suwalszczyźnie. Wiosną na większości obszaru Polski pokrywa śnieżna zanika dość szybko i jedynie w Tatrach występuje ona przez prawie 3/4 dni wiosennych (ryc. 11.7).

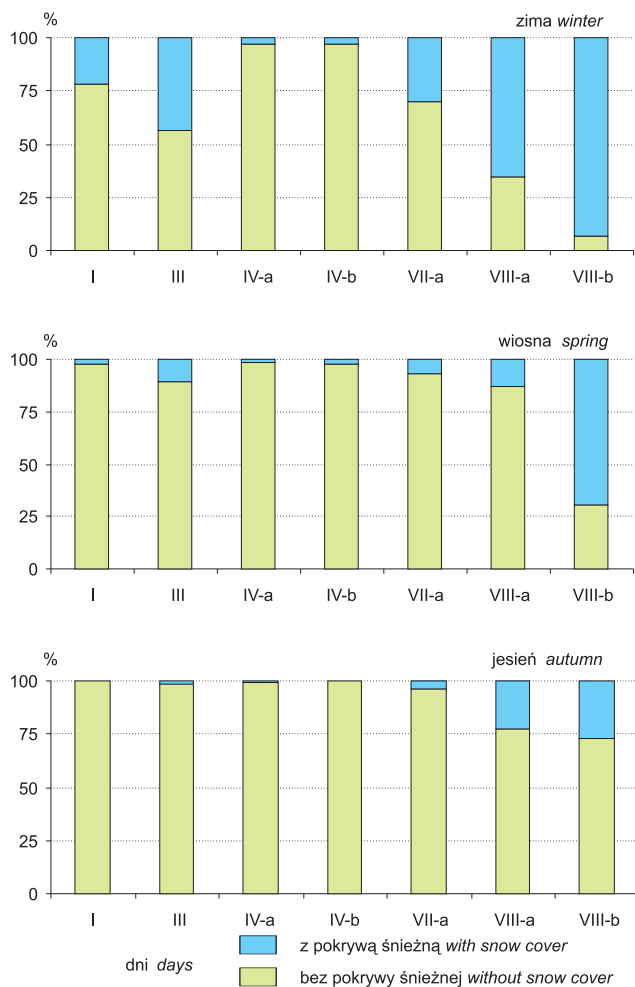
11.2. Przydatność pogody do różnych form rekreacji

Z praktycznego punktu widzenia, poza scharakteryzowaniem biotermicznych cech pogody istotne jest dokonanie oceny jej przydatności do rekreacji i turystyki. Na potrzeby obecnego opracowania obliczono średnie dekadowe wartości wskaźnika przydatności pogody do wybranych form rekreacji: kąpiele słonecznych (WSI_{avg_SB}), kąpiele powietrznych (WSI_{avg_AB}), łagodnych form rekreacji ruchowej (WSI_{avg_MR}), intensywne form rekreacji (WSI_{avg_AR}) oraz turystyki narciarskiej (WSI_{avg_ST}). Przydatność pogody do wymienionych form rekreacji określają następujące wartości progowe wskaźników WSI_{avg} :

WSI_{avg}	Pogoda
0,00–0,49	niekorzystna
0,50–1,19	umiarkowanie korzystna
1,20–1,99	korzystna
$\geq 2,00$	bardzo korzystna.

Jako przykład przedstawiono średnie pentadowe wartości wskaźników oceny pogody dla różnych form rekreacji w trzech regionach: Nadmorskim (dane ze stacji w Kołobrzegu), Centralnym (stacja Warszawa Okęcie) oraz Karpackim (stacja na Hali Gąsienicowej). Porównując zamieszczone na rycinie 11.8 wykresy można zauważyć szereg podobieństw oraz różnic pomiędzy regionami.

Podobny we wszystkich regionach jest przebieg roczny wskaźników WSI . W przypadku kąpiele słonecznych i powietrznych oraz łagodnej rekreacji ruchowej występują w ciągu roku dwa maksima i dwa minima ich wartości. Pierwsze



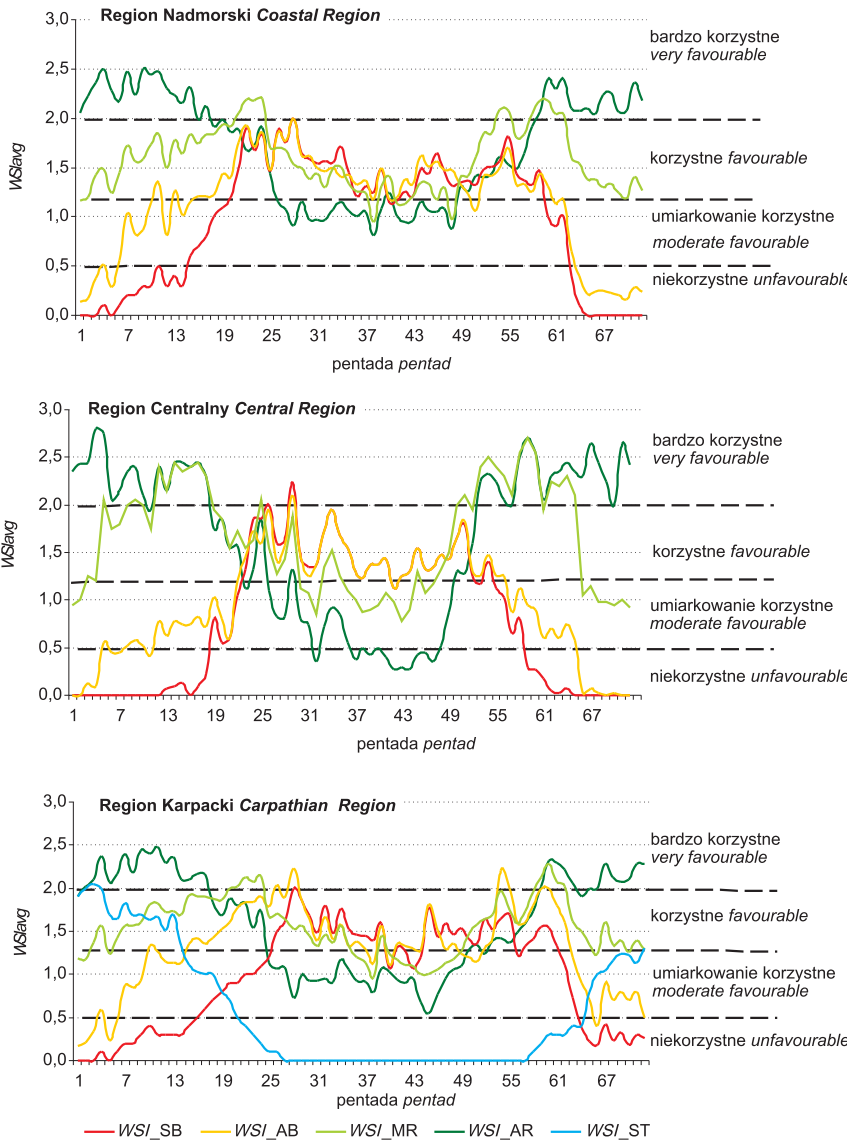
Ryc. 11.7. Częstość (%) występowania dni bez i z pokrywą śnieżną w poszczególnych porach roku i regionach bioklimatycznych (I–VIIIb) (objaśnienia jak na ryc. 11.1)

Fig. 11.7. Frequency (%) of days without snow cover and days with snow cover in particular seasons and bioclimatic regions (I–VIIIb) (for explanations see fig. 11.1)

Badania własne. / Own data.

maksimum ma miejsce wiosną, a drugie wczesną jesienią. Niskie wartości WSI, mówiące o umiarkowanie korzystnych lub niekorzystnych dla rekreacji warunkach pogodowych, obserwuje się w miesiącach letnich oraz zimowych. Niekorzystne, zwłaszcza dla kąpieli słonecznych i powietrznych, są miesiące zimowe. Wartości WSI_{SB} i WSI_{AB} spadają w niektórych pentadach do zera.

Odmienne kształtują się wskaźniki oceny pogody dla aktywnych form rekreacji ruchowej. Warunki najkorzystniejsze panują w okresie od listopada do marca/



Ryc. 11.8. Wartości pentadowe wskaźników oceny pogody (WSI_{avg}) dla różnych form rekreacji w wybranych regionach bioklimatycznych Polski: kąpiele słonecznych (SB), kąpiele powietrznych (AB), łagodnej rekreacji ruchowej (MR), intensywnej rekreacji ruchowej (AR) i turystyki narciarskiej (ST)

Fig. 11.8. 5-days averages of weather suitability indices (WSI_{avg}) for various forms of recreation in selected bioclimatic regions of Poland: sun baths (SB), air baths (AB), mild recreation (MR), active recreation (AR), ski tourism (ST)
 Badania własne. / Own data.

kwietnia, natomiast latem WSI_AR przyjmuje we wszystkich regionach wartości najniższe, mówiące o warunkach umiarkowanie korzystnych lub nawet niekorzystnych dla aktywnej rekreacji.

Przydatność pogody do turystyki narciarskiej można było ocenić tylko dla dwóch regionów: Karpackiego i Sudeckiego. W Tatrach warunki korzystne do turystyki narciarskiej trwają od początku stycznia do końca marca. Zarówno gruba pokrywa śnieżna, jak i biotermiczne cechy pogody pozwalają wtedy na korzystanie z tej formy rekreacji. Warunki umiarkowanie korzystne obserwuje się natomiast w kwietniu oraz w grudniu. W miesiącach tych nie zawsze grubość pokrywy śnieżnej lub inne cechy pogody pozwalają na korzystanie z turystyki narciarskiej. Poza obszarem Tatr i Karkonoszy okres pogody co najmniej umiarkowanie korzystnej dla wypoczynku na śniegu skraca się do 2–3 miesięcy, z reguły od stycznia do marca.

11.3. Kompleksowy wskaźnik oceny pogody dla rekreacji (WRI)

Analiza rozkładu przestrzennego kompleksowego wskaźnika oceny pogody na potrzeby rekreacji w głównych sezonach turystycznych w Polsce pokazuje, że warunki do uprawiania turystyki i rekreacji w Polsce są dość jednolite. W sezonie zimowym na przeważającej części kraju – z wyjątkiem regionów leżących w północnej części Polski, okolic Szańca i Nałęczowa oraz Sudetów – notuje się niekorzystne lub mało korzystne warunki pogodowe, natomiast w sezonie letnim warunki korzystne dla rekreacji występują w Polsce centralnej i południowej. Regiony położone w północnej części kraju cechują się obniżoną przydatnością (ryc. 11.9).

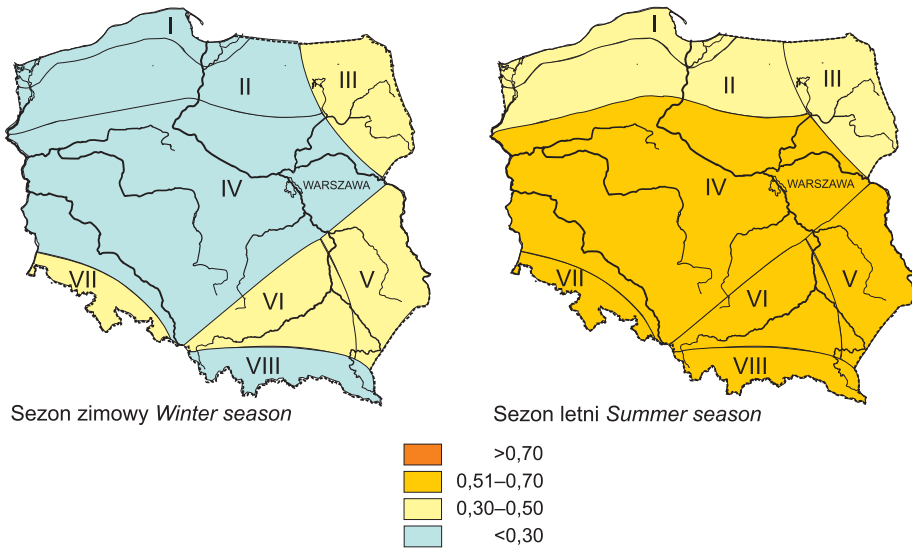
Z rozkładu średnich miesięcznych wartości WRI można stwierdzić, że warunki korzystne dla rekreacji na terenie Polski panują we wszystkich regionach od marca do końca października; a w miejscowościach górskich oraz na północnym wschodzie już od lutego. Okres wysokiej przydatności pogody trwa w Polsce od kwietnia do września, a na południu kraju nawet do października.

Region Południowo-wschodni oraz Świętokrzysko-małopolski wyróżniają się najkrótszym okresem pogody nieprzydatnej dla rekreacji (tylko grudzień) oraz przesunięciem pojawienia się pogody bardzo korzystnej na początek maja (tab. 11.4).

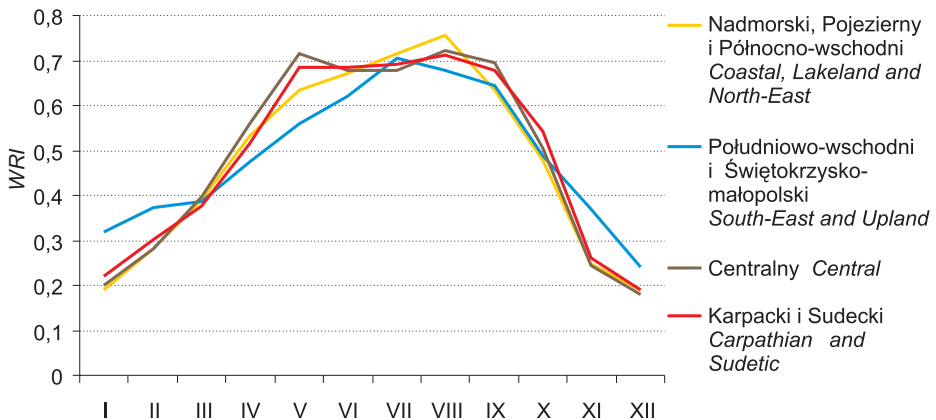
Na podstawie przebiegu wartości kompleksowego wskaźnika oceny pogody dla rekreacji w poszczególnych miejscowościach w ciągu roku podzielono regiony bioklimatyczne na 4 grupy:

- 1) o jednym, letnim maksimum WRI w sierpniu,
- 2) o dwóch kulminacjach WRI – w maju oraz w sierpniu/wrześniu,
- 3) z letnim maksimum WRI w lipcu,
- 4) o wyrównanym, wysokim poziomie WRI od maja do września.

Na obszarach położonych na północy i północnym wschodzie kraju widać letni wzrost wartości WRI, który kulminację osiąga w sierpniu. W miejscowościach Regionu Centralnego kompleksowy wskaźnik oceny pogody dla rekreacji może osiągać maksymalne wartości dwukrotnie w ciągu roku – w maju oraz w sierpniu



Ryc. 11.9. Średnie wartości kompleksowego wskaźnika oceny pogody dla rekreacji (WRI) w regionach bioklimatycznych Polski, 1971–1990
 Fig. 11.9. Mean values of weather recreation index (WRI) in bioclimatic regions of Poland, 1971–1990
 Badania własne. / Own data.



Ryc. 11.10. Miesięczne wartości kompleksowego wskaźnika oceny pogody dla rekreacji (WRI), 1971–1990 w czterech grupach regionów
 Fig. 11.10. Monthly values of weather recreation index (WRI), 1971–1990, at four groups of regions
 Badania własne. / Own data.

lub wrześniu. W regionach Południowo-wschodnim i Świętokrzysko-małopolskim najwyższe wartości *WRI* notuje się natomiast w lipcu. Na południu Polski (regiony Karpacki i Sudecki) wysoki stopień przydatności pogody do rekreacji występuje praktycznie nieprzerwanie w półroczu ciepłym, od maja do września (ryc. 11.10).

Tabela 11.4. Średnie miesięczne wartości kompleksowego wskaźnika oceny pogody dla rekreacji (*WRI*), 1971–1990

Table 11.4. Mean monthly values of weather recreation index (*WRI*), 1971–1990

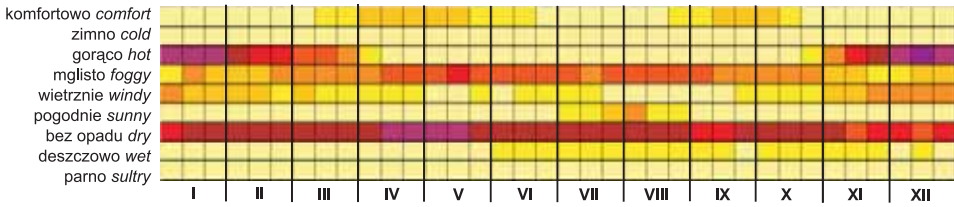
Miejscowość <i>Site</i>	Miesiące <i>Months</i>											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Region Nadmorski <i>Coastal Region</i>												
Świnoujście	0,20	0,29	0,39	0,52	0,57	0,66	0,73	0,76	0,66	0,48	0,24	0,19
Kołobrzeg	0,17	0,24	0,34	0,52	0,59	0,63	0,73	0,77	0,63	0,46	0,20	0,16
Region Pojezierny <i>Lakeland Region</i>												
Połczyn-Zdrój	0,18	0,27	0,35	0,52	0,70	0,67	0,69	0,75	0,63	0,46	0,20	0,17
Region Północno-wschodni <i>North-East Region</i>												
Gołdap	0,22	0,33	0,48	0,57	0,68	0,73	0,71	0,75	0,62	0,51	0,35	0,24
Region Centralny <i>Central Region</i>												
Ciechocinek	0,19	0,28	0,40	0,56	0,71	0,66	0,66	0,71	0,71	0,51	0,24	0,18
Warszawa	0,21	0,28	0,39	0,56	0,72	0,70	0,70	0,73	0,68	0,50	0,24	0,18
Region Południowo-wschodni <i>South-East Region</i>												
Nałęczów	0,30	0,33	0,37	0,47	0,56	0,60	0,71	0,69	0,70	0,46	0,35	0,22
Region Świętokrzysko-małopolski <i>Upland Region</i>												
Szaniec	0,34	0,42	0,41	0,48	0,55	0,64	0,70	0,67	0,59	0,51	0,39	0,26
Region Sudecki <i>Sudetic Region</i>												
Świeradów-Zdrój	0,23	0,32	0,40	0,49	0,65	0,68	0,72	0,74	0,66	0,54	0,25	0,23
Łądek-Zdrój	0,22	0,30	0,36	0,51	0,66	0,68	0,65	0,67	0,68	0,54	0,26	0,18
Polanica-Zdrój	0,21	0,30	0,38	0,53	0,72	0,71	0,72	0,72	0,69	0,56	0,26	0,19
Region Karpacki <i>Carpathian Region</i>												
Rabka-Zdrój	0,27	0,37	0,45	0,57	0,72	0,71	0,70	0,72	0,71	0,63	0,33	0,22
Iwonicz-Zdrój	0,16	0,22	0,30	0,47	0,66	0,64	0,67	0,70	0,66	0,45	0,19	0,13

Badania własne. / Own data.

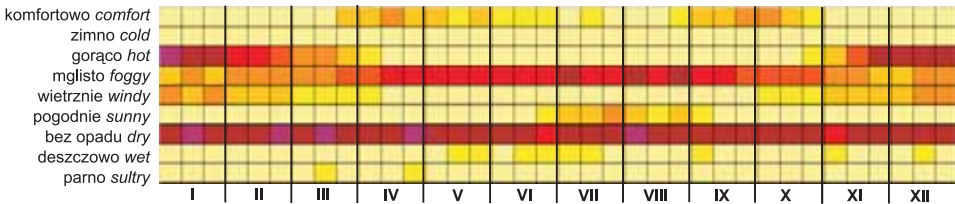
11.4. Diagram informacji klimatyczno-turystycznej (*CTIS*)

Analiza diagramów informacji turystycznej dla poszczególnych miejscowości ze wszystkich regionów bioklimatycznych Polski wskazuje na znaczne zróżnicowanie przestrzenne następujących cech bioklimatu: stresu ciepła, dni z mgłą, dni mokrych (z dobową sumą opadów powyżej 5 mm) oraz dni parnych (ryc. 11.11).

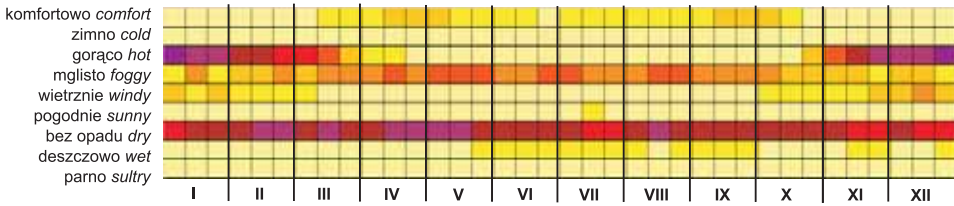
Kołobrzeg



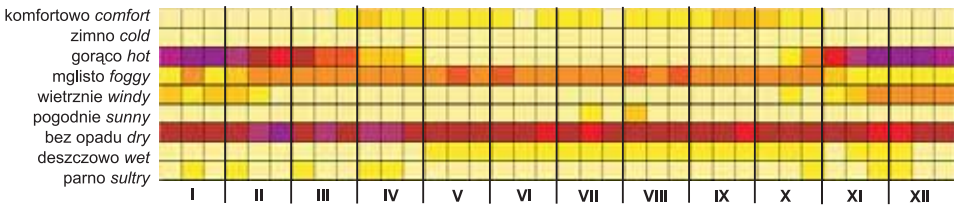
Świnoujście



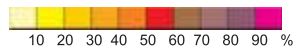
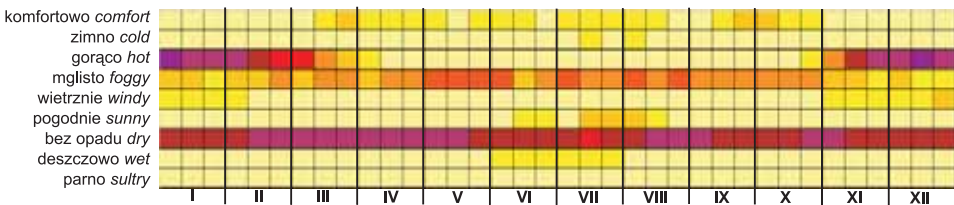
Połczyn-Zdrój

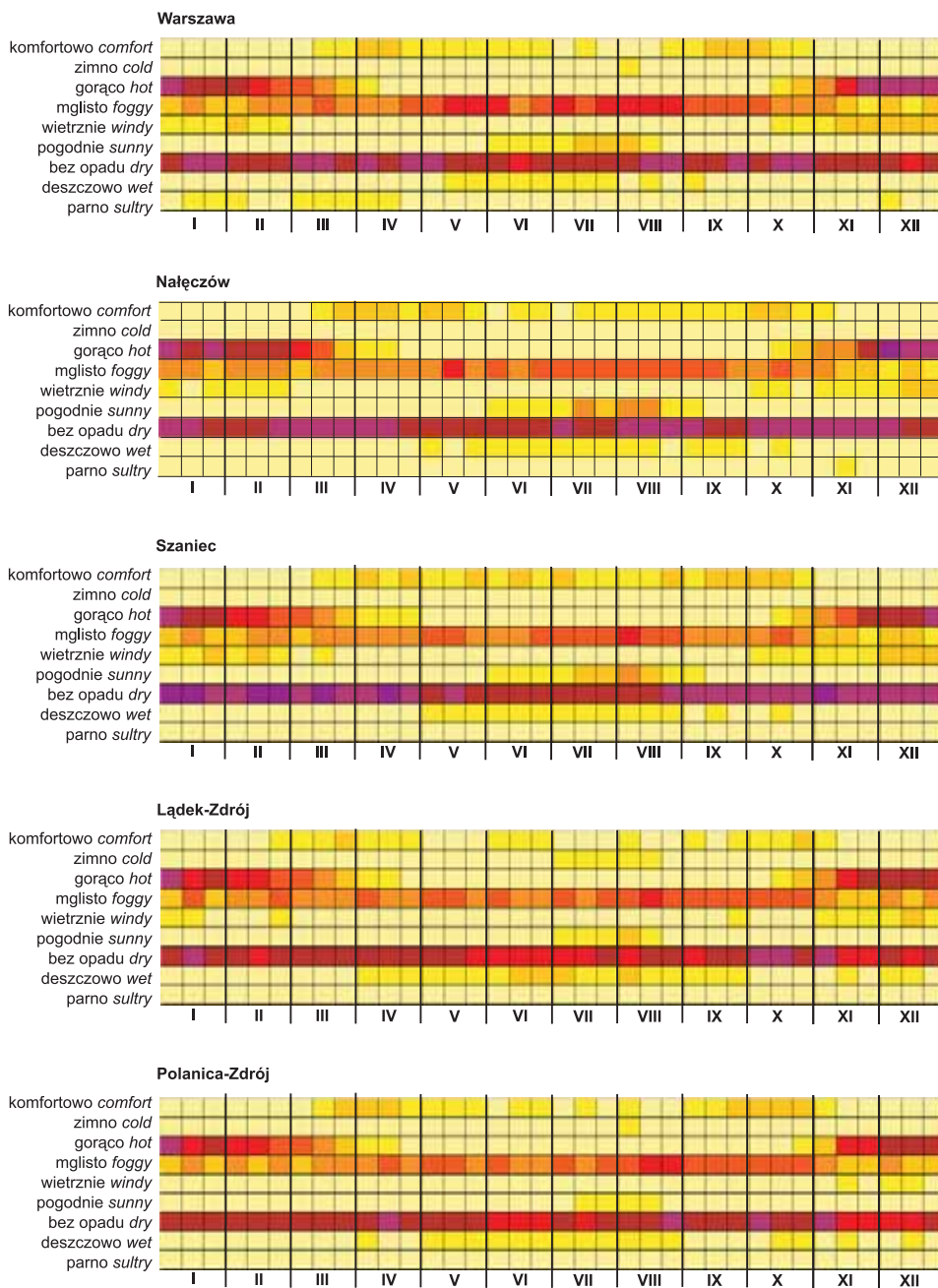


Goldap



Ciechocinek

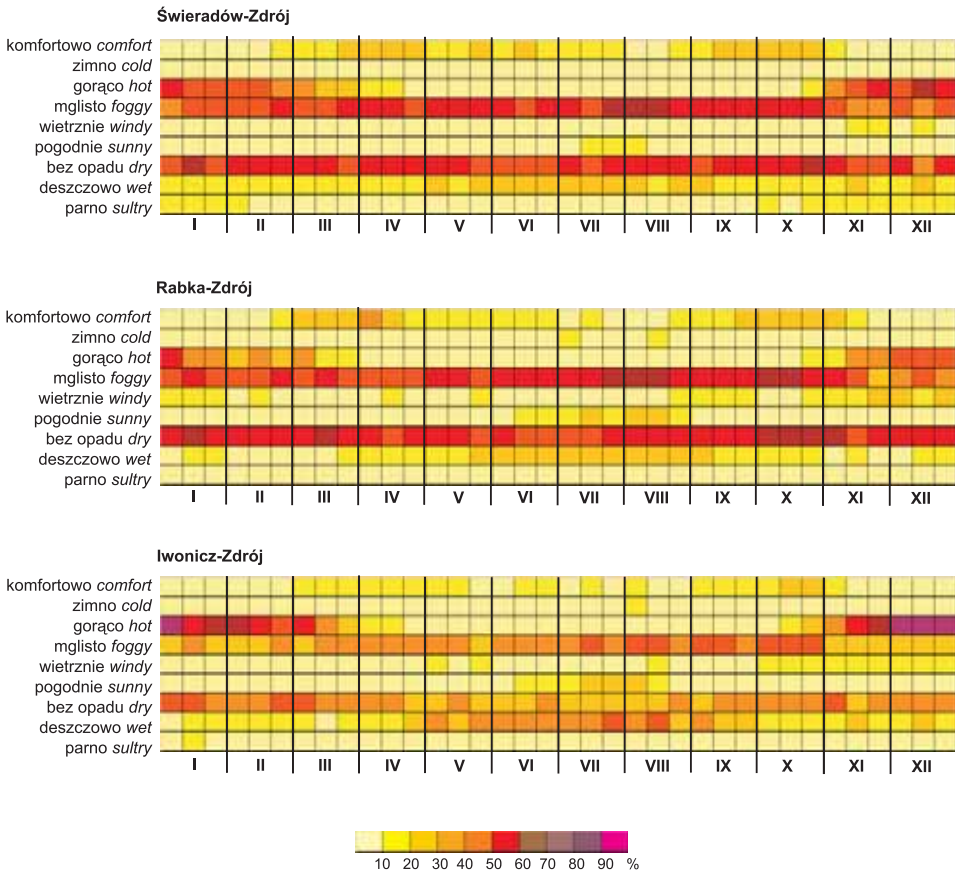




Ryc. 11.11. Diagramy informacji turystycznej (CTIS) dla poszczególnych stacji meteorologicznych w kolejnych dekadach roku, 1971–1990

Fig. 11.11. Climate-Tourism-Information-Scheme (CTIS) for individual meteorological stations in consecutive decades of the year, 1971–1990

Badania własne. / Own data.



Ryc. 11.11 (cd.). Diagramy informacji turystycznej (CTIS) dla poszczególnych stacji meteorologicznych w kolejnych dekadach roku, 1971–1990

Fig. 11.11 (cont.). ClimateTourismInformation-Scheme (CTIS) for individual meteorological stations in consecutive decades of the year, 1971–1990

Badania własne. / Own data.

Największe zróżnicowanie częstości dni chłodnych w Polsce występuje w półroczu zimowym, od pierwszej dekady listopada do drugiej dekady marca. Częstość dni chłodnych osiąga kulminację na przełomie grudnia i stycznia, gdy ich liczba waha się od ponad 90% w Gołdapi do około 50% w Świeradowie i Rabce. W pierwszej dekadzie lutego zaznacza się wyraźny podział przestrzenny: na Polskę północną i centralną – z częstością dni chłodnych powyżej 60% – oraz dużo cieplejsze południe kraju.

Częstość dni z mgłą jest w Polsce dość zróżnicowana i wynosi od 40% w dekadach półroczu chłodnego do około 1% latem. Mgły pojawiają się najczęściej w regionach: Nadmorskim, Pojeziernym i Północno-wschodnim. Kumulacja maksimum ich częstości ma miejsce w drugiej i trzeciej dekadzie grudnia i pierwszej dekadzie stycznia. Dni parne występują w Polsce z częstością powyżej 10% w deka-

dzie w najcieplejszych miesiącach, od początku czerwca do połowy września. Najczęściej notowane są na wybrzeżu (w pojedynczych dekadach) oraz w Nałęczowie.

Zróznicowanie regionalne częstości występowania dni z opadem powyżej 5 mm notuje się od maja do sierpnia, kiedy to w miejscowościach położonych w górach notuje się dwu- i trzykrotnie częstsze opady (od 27 do 40% dni w dekadzie) niż w pozostałej części kraju.

12. Regionalne zróżnicowanie warunków biotermicznych

12.1. Temperatura odczuwana fizjologicznie (PST)

Temperaturę odczuwaną fizjologicznie (określaną też skrótowo jako temperatura odczuwalna) scharakteryzowano za pomocą wskaźnika *PST*. Opisuje on odczucia ciepłe człowieka ukształtowane w wyniku aktywnego dostosowywania się organizmu do warunków atmosferycznych otoczenia. Posłużono się wartościami średnimi i skrajnymi *PST* oraz częstością występowania wartości *PST* w poszczególnych przedziałach odpowiadających różnej odczuwalności ciepłej człowieka.

Średnie wartości temperatury odczuwanej fizjologicznie wahają się na obszarze Polski od -14 do -8°C w grudniu i styczniu do 15 – 24°C w miesiącach letnich (tab. 12.1). Są wyraźne różnice regionalne: najniższe wartości przez cały rok występują w regionach: Nadmorskim, Pojeziernym i Północno-wschodnim. Zimą niskie wartości *PST* notuje się również w centralnej Polsce. Latem, najwyższe średnie wartości temperatury odczuwalnej obserwuje się w Nałęczowie oraz w Szańcu, najniższe w Regionie Nadmorskim.

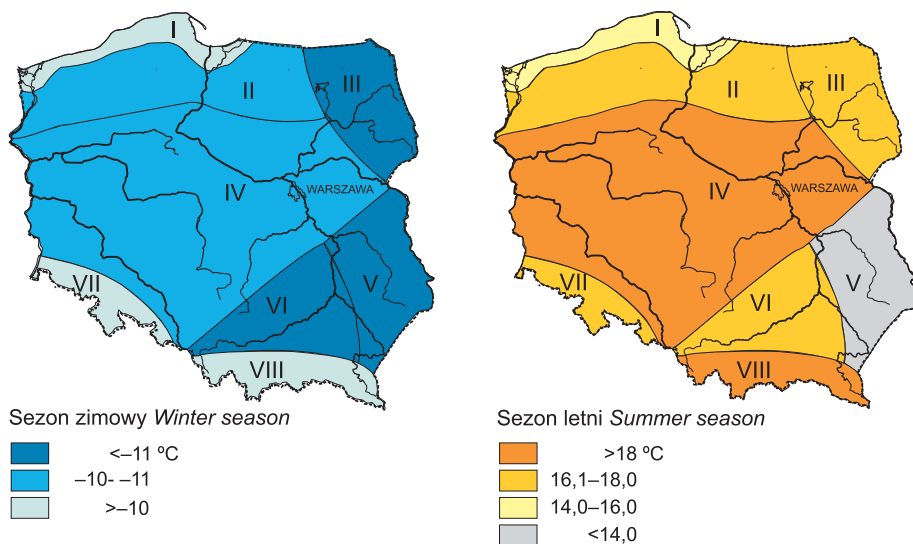
Pod względem temperatury odczuwalnej w sezonie zimowym wyróżnia się Region Północno-wschodni oraz regiony Południowo-wschodni i Świętokrzysko-małopolski, gdzie średnie wartości *PST* są niższe niż w pozostałej części kraju. Latem najniższa temperatura odczuwalna notowana jest natomiast w regionach Nadmorskim i Południowo-wschodnim (ryc. 12.1).

W przypadku temperatury odczuwalnej ważne są jej wartości nie tylko średnie, lecz także skrajne, gdyż wskazują na możliwy zakres wahań. W poszczególnych miesiącach różnice pomiędzy najwyższą a najniższą wartością *PST*, zanotowaną w całym badanym okresie, wynoszą od 21 do 64°C . Najmniejsze są wahania *PST* w grudniu i styczniu, a największe od maja do sierpnia. Porównując absolutne maksima i absolutne minima temperatury odczuwalnej widać, że do najniższych wartości (około -25°C) może ona spadać w regionach Północno-wschodnim i Świętokrzysko-małopolskim. Najwyższe wartości *PST*, powyżej 50°C , są natomiast notowane w regionach: Północno-wschodnim, Centralnym oraz Sudeckim. Tam też występują największe absolutne amplitudy temperatury odczuwalnej, odpowiednio $82,1$; $71,5$ i $73,0^{\circ}\text{C}$ (ryc. 12.2).

Tabela 12.1. Średnie wartości temperatury odczuwanej fizjologicznie *PST* (°C) o godz. 12:00 UTC, 1971–1990
 Table 12.1. Mean values of *PST* index (°C) at 12:00 UTC, 1971–1990

Miejscowość Site	Miesiące Months												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Nadmorski <i>Coastal Region</i>													
Świnoujście	-12,34	-10,43	-6,82	-2,35	6,29	13,01	17,56	17,45	6,77	-2,52	-9,91	-11,42	0,44
Kołobrzeg	-12,27	-10,67	-6,74	-2,78	5,17	10,75	14,60	16,53	6,13	-2,99	-10,06	-11,73	-0,34
Region Pojezierny <i>Lakeland Region</i>													
Połczyn-Zdrój	-13,23	-11,39	-8,18	-0,83	9,47	13,75	17,70	17,59	5,42	-4,12	-10,95	-12,06	0,26
Region Północno-wschodni <i>North-East Region</i>													
Gołdap	-14,75	-13,75	-10,34	-2,21	8,72	15,98	17,46	16,22	4,78	-5,02	-12,40	-14,12	-0,79
Region Centralny <i>Central Region</i>													
Ciechocinek	-12,09	-10,62	-7,56	0,37	12,29	16,67	21,18	18,42	9,45	-2,38	-9,80	-11,41	2,04
Warszawa	-13,49	-11,95	-8,06	-0,59	10,97	15,85	21,20	19,81	7,37	-3,91	-11,52	-12,84	1,07
Region Południowo-wschodni <i>South-East Region</i>													
Nałęczów	-11,82	-8,27	-3,54	4,31	16,47	20,26	24,37	24,75	13,09	2,22	-6,68	-10,86	5,36
Region Świętokrzysko-małopolski <i>Upland Region</i>													
Szaniec	-11,78	-9,33	-3,66	2,69	15,35	19,31	23,87	23,34	12,46	2,80	-7,52	-11,13	4,70
Region Sudecki <i>Sudetic Region</i>													
Świeradów-Zdrój	-11,33	-8,45	-5,54	0,56	8,44	13,01	18,35	17,51	8,60	-0,80	-9,33	-11,23	1,65
Łądek-Zdrój	-11,29	-8,87	-5,24	1,47	9,21	14,17	19,80	18,65	9,23	-0,05	-8,98	-10,60	2,29
Polanica-Zdrój	-11,75	-8,79	-6,57	1,51	9,63	14,25	19,67	19,41	9,25	0,53	-8,51	-10,44	2,35
Region Karpacki <i>Carpathian Region</i>													
Rabka-Zdrój	-8,65	-5,09	-2,14	4,18	13,06	18,73	22,83	21,66	12,45	3,71	-5,48	-7,43	5,65
Iwonicz-Zdrój	-12,80	-10,31	-6,33	1,86	10,26	16,85	19,74	16,84	9,15	-0,42	-9,66	-12,06	1,93

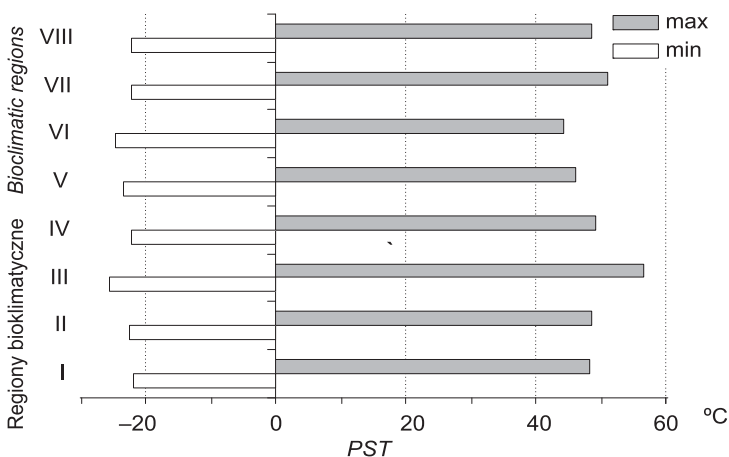
Badania własne. / Own data.



Ryc. 12.1. Średnie wartości temperatury odczuwanej fizjologicznie (PST) o godz. 12:00 UTC w regionach bioklimatycznych Polski, 1971–1990

Fig. 12.1. Mean values of physiological subjective temperature (PST) at 12:00 UTC in bioclimatic regions of Poland, 1971–1990

Badania własne. / Own data.



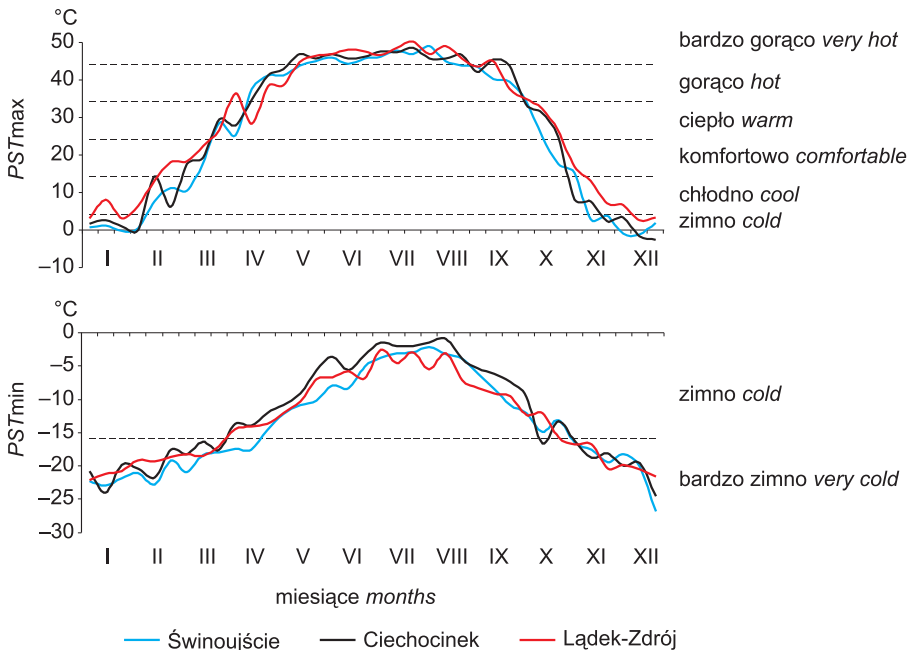
Ryc. 12.2. Najwyższe (max) i najniższe (min) wartości temperatury odczuwanej fizjologicznie (PST) obserwowane w poszczególnych regionach bioklimatycznych Polski, 1971–1990

Fig. 12.2. The highest (max) and the lowest (min) values of physiological subjective temperature (PST) in bioclimatic regions of Poland, 1971–1990

Badania własne. / Own data.

Analiza rocznego przebiegu maksymalnych wartości *PST* w ujęciu dekadowym pokazuje, że odczucia ciepłe 'bardzo gorąco' mogą pojawiać się w Polsce od połowy kwietnia do pierwszej dekady października. Od maja do września przebieg *PST* nad morzem, w centrum kraju i w Sudetach jest dość podobny. Największe zróżnicowanie notuje się w trzeciej dekadzie lutego oraz pierwszej dekadzie kwietnia, kiedy w Regionie Sudeckim maksymalna temperatura odczuwalna jest dużo wyższa niż w pozostałych analizowanych miejscowościach. Na uwagę zasługuje również widoczny wzrost wartości *PST* w trzeciej dekadzie września, w Ciechocinku i w Łądku.

Od pierwszej dekady kwietnia minimalne wartości *PST* notowane w Sudetach i w Ciechocinku znajdują się w klasie odczuć 'chłodno', nad morzem czas ten jest przesunięty aż o cztery tygodnie, na pierwsze dni maja. Od stycznia do końca czerwca najniższe wartości temperatury odczuwalnej notuje się w Świnoujściu, a najwyższe w Łądku; w najcieplejszych miesiącach oraz wczesną jesienią są one natomiast obserwowane w Sudetach. W drugiej dekadzie października zaznacza się wyraźny spadek minimalnej wartości *PST* nad morzem i w centrum kraju (ryc. 12.3).



Ryc. 12.3. Maksymalne i minimalne dekadowe wartości temperatury odczuwanej fizjologicznie (*PST*) w Świnoujściu, Ciechocinku i Łądku-Zdroju, 1970–1990 oraz odczucia cieplne

Fig. 12.3. The highest and the lowest values of physiological subjective temperature (*PST*) in Świnoujście, Ciechocinek and Łądek-Zdrój, 1971–1990 and thermal sensations

Badania własne. / Own data.

Istotną charakterystyką warunków bioklimatycznych jest częstość występowania badanych wskaźników w klasach wartości odpowiadających różnym reakcjom – subiektywnym lub fizjologicznym – organizmu. W odniesieniu do temperatury odczuwalnej najczęściej – w skali w roku – pojawiają się odczucia 'zimno': od około 48% dni w Rabce do około 63% dni w Kołobrzegu. Z częstością od 8 do 19% pojawiają się odczucia ciepłe 'chłodno' i 'komfortowo'. Odczucia 'gorąco' notuje się przez około 2–8% dni w roku (najrzadziej w regionach Nadmorskim i Południowo-wschodnim, a najczęściej w Regionie Centralnym). Skrajne odczucia termiczne 'bardzo gorąco' występują bardzo rzadko, przez 0,2% dni w roku nad Bałtykiem i przez 2% dni w Szańcu (tab. 12.2).

Temperatura odczuwalna jest znacznie zróżnicowana sezonowo. W styczniu przez prawie 100% dni w miesiącu panują odczucia ciepłe 'bardzo zimno' lub 'zimno'. Latem zróżnicowanie termicznych warunków odczuwalnych jest znacznie większe niż zimą. Dotyczy to zarówno liczby klas odczuć ciepłych, jak i ich zróżnicowania regionalnego. W lipcu pojawiają się odczucia ciepłe od 'zimno' do 'bardzo gorąco'. Średnio przez około 1/4 dni występują odczucia: 'chłodno', 'komfortowo' i 'ciepło'. Stosunkowo częste są w lipcu warunki biotermiczne odczuwane jako 'gorąco' – dni z nimi stanowią od 6% w Nałęczowie i 7–11% w miejscowościach nadmorskich do 23–25% w Polsce środkowej (tab. 12.2).

Szczegółowy obraz sezonowego zróżnicowania temperatury odczuwalnej przedstawiono na przykładzie Świnoujścia, Ciechocinka i Łądka-Zdroju. W okresie od grudnia do lutego częstość poszczególnych klas odczuć ciepłych jest w tych miejscowościach podobna. Różnice regionalne zaczynają się pojawiać już w marcu, a ich kulminacja ma miejsce w lipcu i sierpniu. W okresie tym nad morzem skrajne warunki odczuwalne 'bardzo gorąco' występują stosunkowo rzadko, podczas gdy w Łądku i Ciechocinku stanowią one ponad 25% wszystkich dni. W październiku i listopadzie regionalne różnice warunków odczuwalnych stopniowo zanikają (ryc. 12.4).

12.2. Obciążenia ciepłe

12.2.1. Stres cieplny organizmu (*HSI*)

Średnie sezonowe wartości wskaźnika *HSI* charakteryzuje niewielkie zróżnicowanie regionalne, zarówno w sezonie letnim, jak i podczas całego roku. W obu przypadkach, najwyższe wartości stresu cieplnego organizmu notowane są w Regionie Karpackim. Latem warunki zbliżone do termoneutralnych obserwuje się w Regionie Nadmorskim, na pozostałym obszarze kraju występuje słaby albo umiarkowany stres gorąca (ryc. 12.5).

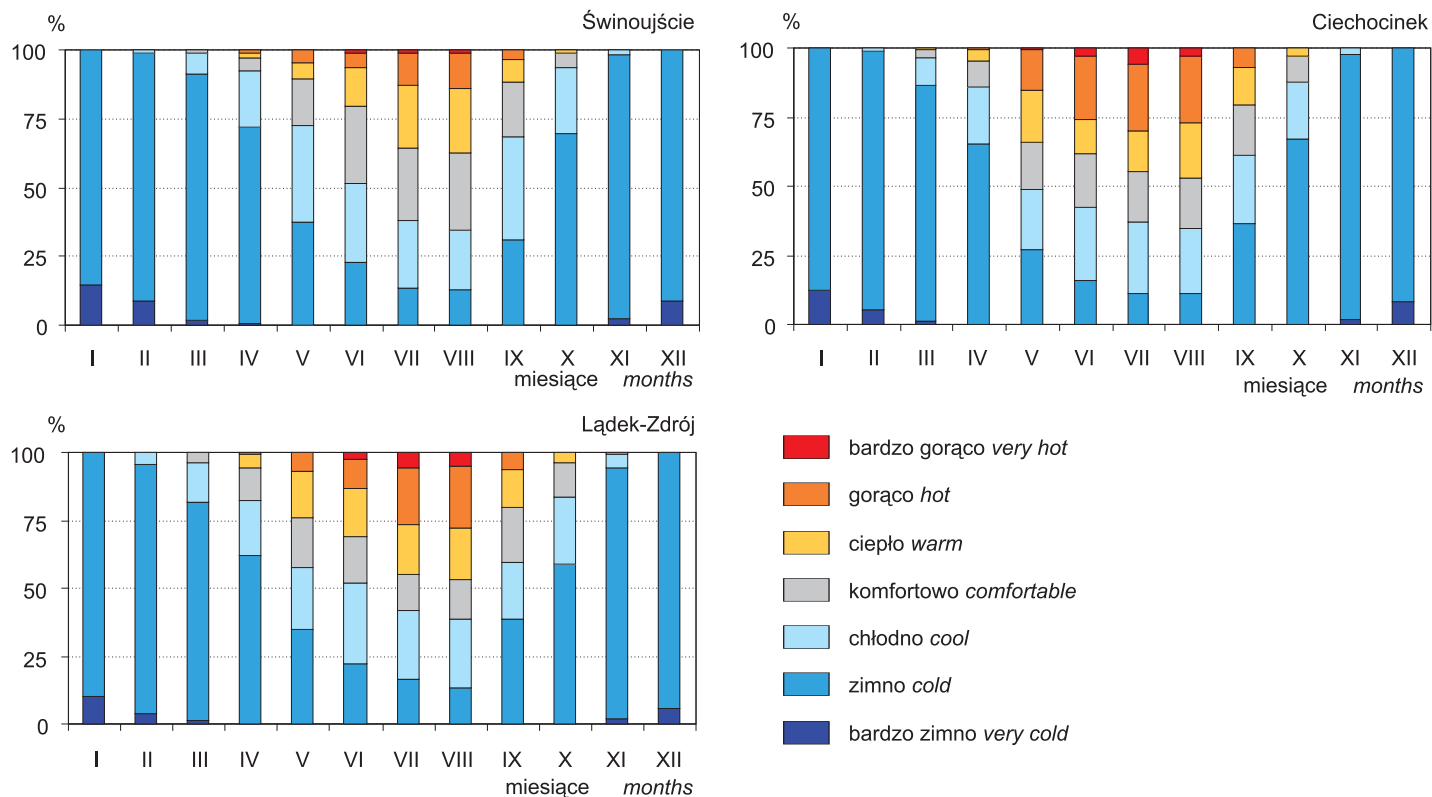
Analiza maksymalnych wartości wskaźnika *HSI* pokazuje, że w całym kraju istnieje ryzyko stresu ciepła o natężeniu, które może prowadzić do przegrzania organizmu (*HSI* >100%). Wartości te wykazują znaczne zróżnicowanie przestrzenne – najniższe notowane są na wybrzeżu, natomiast najwyższe (powyżej 150%) w regionach Północno- i Południowo-wschodnim oraz w górskich.

Tabela 12.2. Częstość (%) występowania różnych odczuć cieplnych człowieka, określonych na podstawie wartości *PST*, 1971–1990Table 12.2. Frequency (%) of various thermal sensations in man due to *PST* index, 1971–1990

Miejscowość Site	Bardzo zimno Very cold	Zimno Cold	Chłodno Cool	Komfortowo Comfortable	Ciepło Warm	Gościwo Hot	Bardzo gościwo Very hot	Bardzo zimno Very cold	Zimno Cold	Chłodno Cool	Komfortowo Comfortable	Ciepło Warm	Gościwo Hot	Bardzo gościwo Very hot	Bardzo zimno Very cold	Zimno Cold	Chłodno Cool	Komfortowo Comfortable	Ciepło Warm	Gościwo Hot	Bardzo gościwo Very hot
	Rok Year							Styczeń January							Lipiec July						
Region Nadmorski <i>Coastal Region</i>																					
Świnoujście	3,0	59,2	16,9	10,9	6,4	3,2	0,3	14,4	85,6	.	.	.	.	.	.	13,2	24,9	26,4	22,9	11,3	1,3
Kołobrzeg	1,9	62,9	16,7	10,2	5,5	2,5	0,2	10,0	90,0	.	.	.	.	.	.	17,7	27,6	26,5	20,6	7,1	0,4
Region Pojezierny <i>Lakeland Region</i>																					
Połczyn-Zdrój	3,7	59,8	16,0	8,7	6,4	4,8	0,6	18,7	81,3	.	.	.	.	.	.	15,3	31,9	17,7	16,7	15,2	3,3
Region Północno-wschodni <i>North-East Region</i>																					
Gołdap	7,5	57,7	14,3	8,5	6,7	4,9	0,5	33,6	66,4	.	.	.	.	.	.	20,5	27,0	16,8	17,9	15,8	2,1
Region Centralny <i>Central Region</i>																					
Ciechocinek	2,4	57,3	14,7	9,4	7,4	7,7	1,1	12,6	87,4	.	.	.	.	.	.	11,2	25,7	18,2	15,2	23,8	5,9
Warszawa	5,1	55,9	13,8	9,0	7,9	7,6	0,6	22,5	77,5	.	.	.	.	.	.	13,5	19,9	19,0	19,2	25,0	3,4
Region Południowo-wschodni <i>South-East Region</i>																					
Nałęczów	5,1	60,3	16,6	10,4	5,8	1,8	0,1	20,4	79,6	.	.	.	.	.	.	16,3	28,9	28,2	20,5	5,7	0,4
Region Świętokrzysko-małopolski <i>Upland Region</i>																					
Szaniec	4,0	54,1	15,0	9,9	8,4	6,5	2,0	17,8	82,2	.	.	.	.	.	.	8,3	22,8	17,3	21,7	21,4	8,5

Region Sudecki <i>Sudetic Region</i>																					
Świeradów-Zdrój	3,0	56,5	16,8	11,0	7,7	4,4	0,5	13,0	86,7	0,2	.	.	.	.	.	16,3	22,5	19,7	20,9	17,4	3,1
Łądek-Zdrój	1,9	57,9	16,1	9,4	7,9	5,7	1,1	10,3	89,5	0,2	.	.	.	.	.	16,3	25,4	13,2	18,6	20,8	5,7
Polanica-Zdrój	2,0	56,4	17,7	9,6	8,1	5,5	0,8	10,1	89,9	.	.	.	.	.	.	13,4	30,3	12,8	20,2	20,0	3,2
Region Karpacki <i>Carpathian Region</i>																					
Rabka-Zdrój	0,7	48,2	19,2	13,5	10,6	6,7	1,2	2,6	95,9	1,5	.	.	.	.	.	5,9	19,1	24,9	24,4	20,6	5,1
Iwonicz-Zdrój	4,5	53,9	16,7	10,6	8,0	5,4	0,9	20,5	79,5	.	.	.	.	.	.	10,3	29,4	18,2	19,3	18,9	4,0

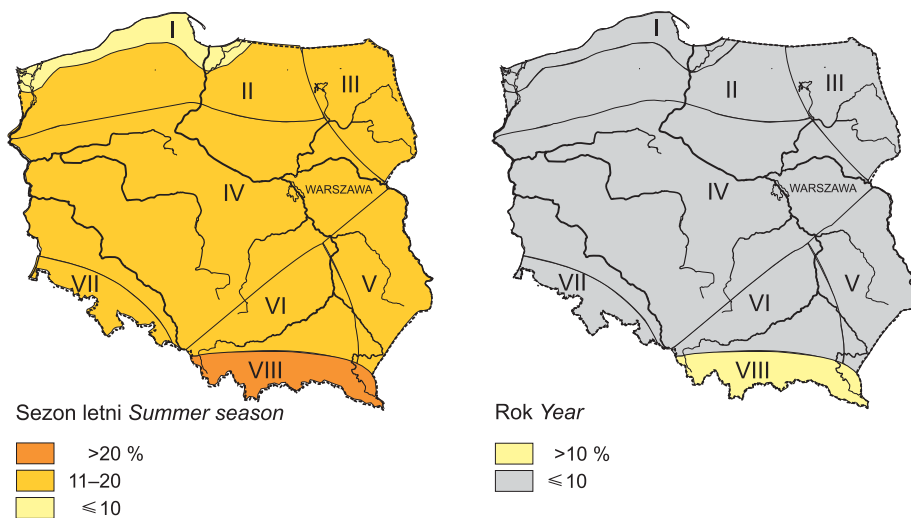
Badania własne. / Own data.



Ryc. 12.4. Częstość (%) różnych odczuć cieplnych w wybranych stacjach meteorologicznych, 1971–1990

Fig. 12.4. Frequency (%) of various thermal sensations in man at selected meteorological stations, 1971–1990

Badania własne. / Own data.



Ryc. 12.5. Średnie wartości wskaźnika stresu ciepłego (*HSI*) o godz. 12:00 UTC w regionach bioklimatycznych Polski, 1971–1990

Fig. 12.5. Mean values of heat stress index (*HSI*) at 12:00 UTC in bioclimatic regions of Poland, 1971–1990

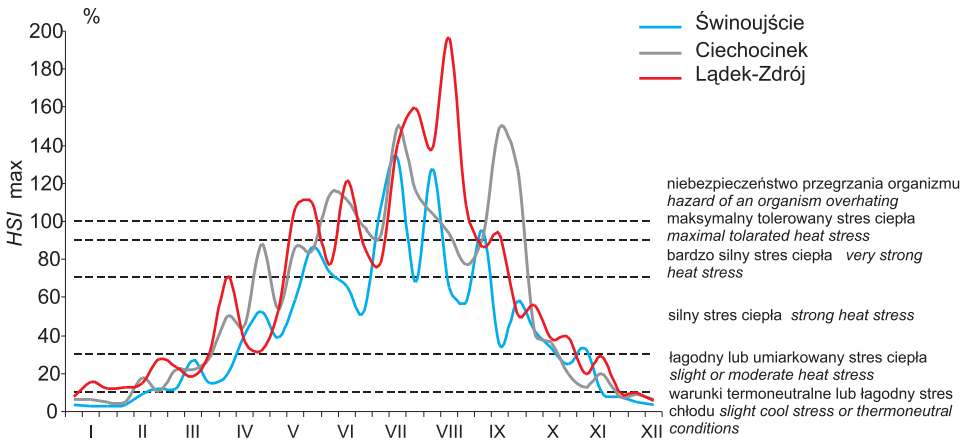
Badania własne. / Own data.

Największe natężenie stresu ciepłego notuje się w Polsce już w 3 dekadzie maja w Sudetach, w centrum kraju mogą wystąpić w połowie czerwca, natomiast w Świnoujściu dopiero na początku lipca. W sezonie letnim, największe obciążenia cieplne notuje się w trzeciej dekadzie lipca, tylko w Łądku dni 'bardzo gorących' jest więcej w sierpniu niż w lipcu. W górach mamy do czynienia również z dłuższym okresem występowania skrajnie wysokich wartości *HSI*, który może trwać nawet do pierwszej dekady września. W Ciechocinku przegrzanie organizmu jest możliwe nawet na przełomie września i października, podczas gdy nad morzem maksymalne notowane wartości *HSI* mieszczą się w klasie silnego stresu ciepła (ryc. 12.6).

Należy pamiętać, że sam fakt wystąpienia skrajnie niskich lub skrajnie wysokich wartości jakiegokolwiek charakterystyki klimatycznej czy bioklimatycznej mówi jedynie o zaobserwowanym zakresie danego elementu klimatu i bioklimatu. Ważne jest także określenie, jak często pojawiają się wartości tych elementów o określonym oddziaływaniu na człowieka.

Częstość pojawiania się stresu ciepła o różnym natężeniu w przekroju regionalnym prezentuje rycina 12.7. Na północy kraju oraz w Warszawie i Szańcu warunki termoneutralne w lipcu stanowią około 50% przypadków, a ryzyko przegrzania występuje tam niezmiernie rzadko. W pozostałej części kraju wartości *HSI* oznaczające bardzo silny stres ciepła występują z częstością od 0,7 do 3,5%.

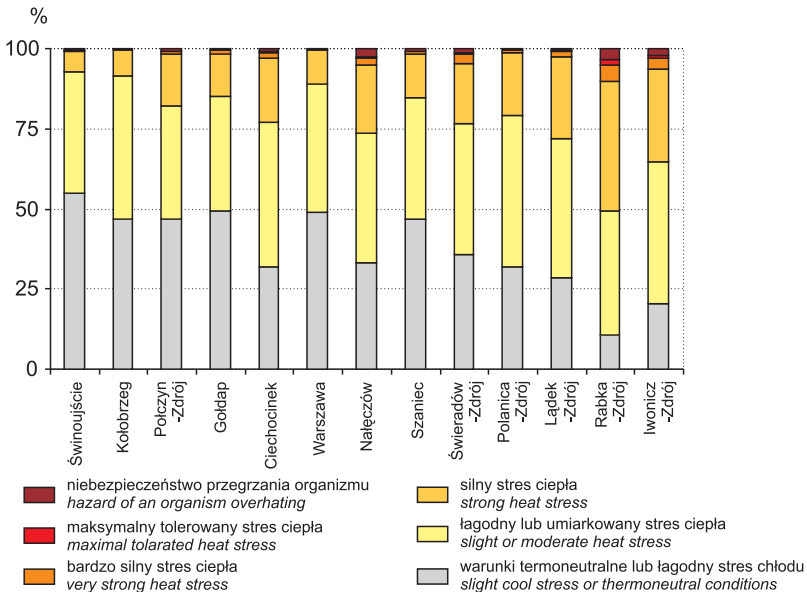
W Ciechocinku, Nałęczowie oraz w regionach Sudeckim i Karpackim w lipcu przeważają dni z łagodnym i silnym stresem ciepła (od 60 do 80% dni).



Ryc. 12.6. Maksymalne dekadowe wartości wskaźnika stresu cieplnego (*HSI*) w Świnoujściu, Ciechocinku i Łądku-Zdroju, 1970–1990

Fig. 12.6. The highest values of heat stress index (*HSI*) in Świnoujście, Ciechocinek and Łądek-Zdrój, 1971–1990

Badania własne. / Own data.



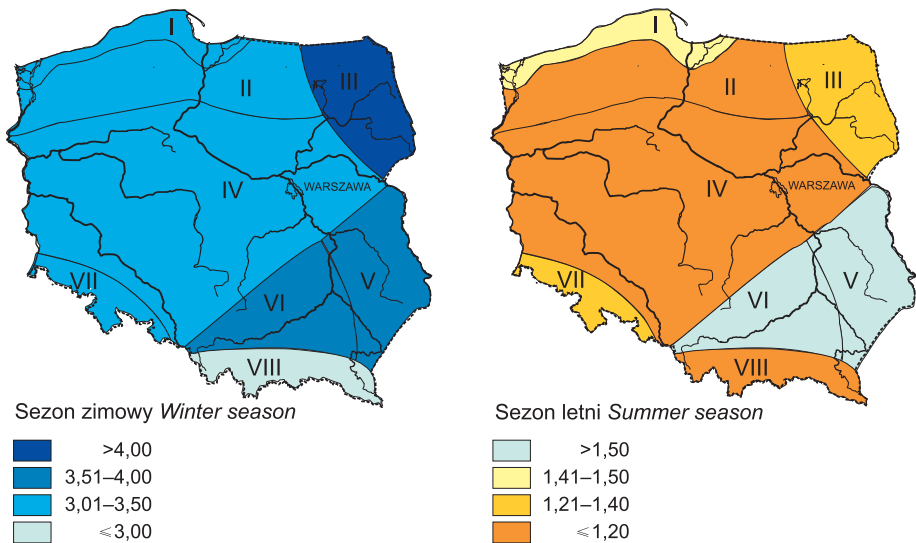
Ryc. 12.7. Częstość (%) występowania stresu cieplnego o różnym natężeniu w lipcu w wybranych stacjach meteorologicznych w okresie 1971–1990

Fig. 12.7. Frequency (%) of occurrence of heat stress categories in July, at selected meteorological stations, 1971–1990

Badania własne. / Own data.

12.2.2. Stres termofizjologiczny (*PhS*)

Wskaźnik stresu termofizjologicznego informuje o rodzaju procesów dostosowawczych organizmu do warunków termicznych otoczenia. Wiążą się one z dominującym sposobem oddawania ciepła do otoczenia. W sezonie zimowym we wszystkich regionach bioklimatycznych Polski wartości *PhS* wskazują na silne procesy dostosowawcze organizmu do zimnych warunków, przede wszystkim w Regionie Północno-wschodnim. Latem na większości obszaru Polski panują warunki biotermiczne powodujące niewielkie nasilenie procesów adaptacyjnych organizmu. Tylko w regionach: Nadmorskim, Południowo-wschodnim i Świętokrzysko-małopolskim wartości *PhS* wskazują na zwiększone natężenie procesów dostosowawczych do warunków zimna (ryc. 12.8).



Ryc. 12.8. Średnie wartości wskaźnika stresu termofizjologicznego (*PhS*) o godz. 12:00 UTC w regionach bioklimatycznych Polski, 1971–1990

Fig. 12.8. Mean values of physiological strain index (*PhS*) at 12:00 UTC in bioclimatic regions of Poland, 1971–1990

Badania własne. / Own data.

Średnie miesięczne wartości wskaźnika *PhS* są silnie zróżnicowane sezonowo i regionalnie. W miesiącach letnich wynoszą one od około 1 w Polsce środkowej i w miejscowościach górskich (co wskazuje na względną równowagę strat ciepła przez unoszenie i przez parowanie) do 1,4–1,9 w miejscowościach nadmorskich oraz w Nałęczowie i Szańcu (świadczy to o zdecydowanej dominacji konwekcyjnych strat ciepła z organizmu). Zimą na obszarze całej Polski średnie wartości *PhS* przekraczają 2,0, natomiast w Polsce środkowej i północno-wschodniej

– nawet 4,0. Oznacza to, że ilość ciepła oddawanego z organizmu człowieka do otoczenia drogą unoszenia jest 2–4-krotnie większa niż ewaporacyjne straty ciepła (tab. 12.3).

Tabela 12.3. Średnie wartości wskaźnika stresu termofizjologicznego (*PhS*), 1971–1990

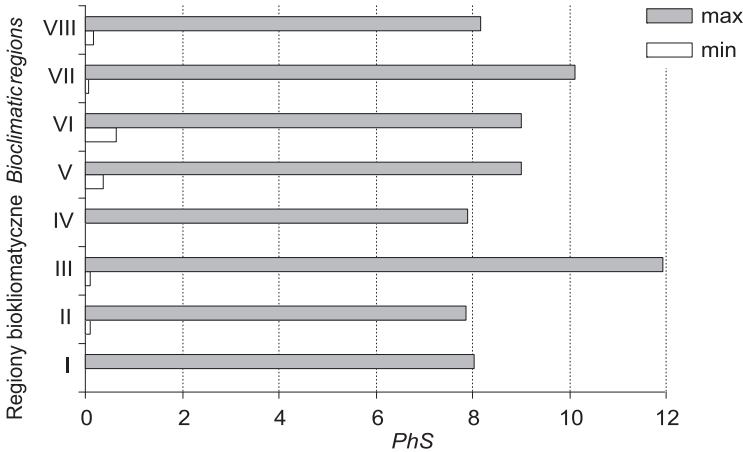
Table 12.3. Mean values of physiological strain index (*PhS*), 1971–1990

Miejscowość <i>Site</i>	Miesiące <i>Months</i>												Rok <i>Year</i>
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Region Nadmorski <i>Coastal Region</i>													
Świnoujście	3,75	3,64	3,20	2,79	2,10	1,60	1,40	1,30	1,69	2,20	3,01	3,61	2,53
Kołobrzeg	3,59	3,31	3,05	2,56	1,96	1,59	1,39	1,31	1,62	2,08	2,85	3,42	2,39
Region Pojezierny <i>Lakeland Region</i>													
Połczyn-Zdrój	3,78	3,48	3,02	2,47	1,56	1,40	1,27	1,20	1,64	2,18	2,94	3,55	2,37
Region Północno-wschodni <i>North-East Region</i>													
Gołdap	4,14	3,87	3,27	2,46	1,64	1,37	1,27	1,17	1,64	2,29	3,22	3,85	2,52
Region Centralny <i>Central Region</i>													
Ciechocinek	3,49	3,31	2,67	2,17	1,28	1,10	0,99	0,86	1,36	1,90	2,80	3,38	2,11
Warszawa	4,14	3,73	3,02	2,18	1,53	1,28	1,12	0,99	1,61	2,23	3,19	3,92	2,41
Region Południowo-wschodni <i>South-East Region</i>													
Nałęczów	3,89	3,66	3,26	2,73	1,90	1,77	1,56	1,54	1,43	2,59	2,82	3,59	2,56
Region Świętokrzysko-małopolski <i>Upland Region</i>													
Szaniec	3,95	3,91	3,30	2,92	1,98	1,77	1,64	1,60	2,07	2,67	3,28	3,81	2,74
Region Sudecki <i>Sudetic Region</i>													
Świeradów-Zdrój	3,77	3,31	3,01	2,36	1,77	1,55	1,31	1,21	1,77	2,16	3,00	3,56	2,40
Łądek-Zdrój	3,45	3,11	2,73	2,12	1,54	1,35	1,14	1,06	1,54	2,01	2,74	3,27	2,17
Polanica-Zdrój	3,51	3,21	2,63	2,31	1,54	1,35	1,19	1,08	1,51	1,96	2,66	3,38	2,19
Region Karpacki <i>Carpathian Region</i>													
Rabka-Zdrój	3,00	2,83	2,41	1,93	1,45	1,31	1,14	1,06	1,49	1,79	2,40	2,90	1,98
Iwonicz-Zdrój	3,69	3,30	2,60	2,02	1,48	1,23	1,14	1,07	1,43	2,00	2,75	3,60	2,19

Badania własne. / Own data.

Regionalne zróżnicowanie stresu termofizjologicznego widać także bardzo wyraźnie, gdy analizujemy skrajne zanotowane w badanym dwudziestolecu wartości. Warto zauważyć, że minimalne wartości *PhS* kształtują się podobnie na terenie całego kraju (poza Regionem Świętokrzysko-małopolskim) i są zbliżone do zera. Oznacza to, że prawie w każdym regionie Polski występują sytuacje pogodowe powodujące w organizmie człowieka silne natężenie stresu gorąca i związane z tym reakcje dostosowawcze organizmu do warunków termicznych otoczenia (silne pocenie się, podwyższenie temperatury skóry, zmniejszenie ciśnienia krwi itd.). Największe minimalne wartości wskaźnika stresu termofizjologiczne-

go notuje się w Regionie Świętokrzysko-małopolskim. Maksymalne wartości PhS są natomiast mocno zróżnicowane przestrzennie i wahają się od około 8 (ośmiokrotna przewaga unoszenia nad parowaniem) w regionach I, II, IV i VIII do prawie 12 w Regionie Północno-wschodnim (ryc. 12.9).



Ryc. 12.9. Najwyższe (max) i najniższe (min) wartości wskaźnika stresu termofizjologicznego (PhS) w regionach bioklimatycznych Polski, 1971–1990

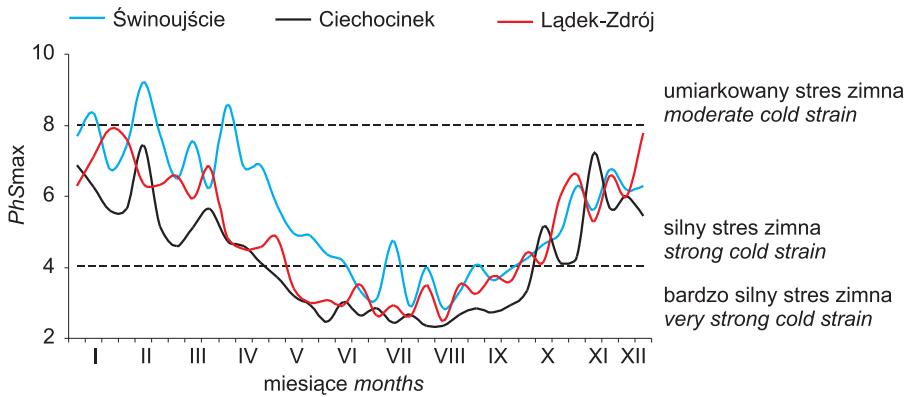
Fig. 12.9. The highest (max) and the lowest (min) values of physiological strain (PhS) in bioclimatic regions of Poland, 1971–1990

Badania własne. / Own data.

Do ilustracji regionalnego przebiegu maksymalnych wartości PhS wybrano dane z trzech stacji: Świnoujścia, Ciechocinka i Łądko-Zdroju. Największe regionalne zróżnicowanie wartości PhS występuje w okresie od trzeciej dekady grudnia do końca czerwca, natomiast latem i jesienią wartości te są zbliżone. Należy jednak zwrócić uwagę na możliwość wystąpienia dużego stresu zimna nad morzem pod koniec lipca.

Począwszy od trzeciej dekady lutego aż do końca czerwca, największy stres termofizjologiczny obserwuje się w Świnoujściu. Najniższe maksymalne wartości wskaźnika stresu termofizjologicznego, przez cały rok, poza trzecią dekadą października i trzecią dekadą listopada, notuje się natomiast w Ciechocinku (ryc. 12.10).

Porównując częstość występowania różnych rodzajów stresu termofizjologicznego można zauważyć kilka istotnych prawidłowości. Zimą w Świnoujściu wyraźnie zaznacza się wzrost częstości wysokich wartości PhS , mówiących o bardzo dużym natężeniu stresu zimna. W takich warunkach ochronę przed wychłodzeniem organizmu daje zmiana odzieży (na taką, która ma zwiększone właściwości termoizolacyjne) lub dodatkowa praca mięśni. Sytuacje takie są spotykane zimą (około 20–25% wszystkich dni od grudnia do lutego) także w Ciechocinku, natomiast tylko sporadycznie występują w Łądku-Zdroju (ryc. 12.11).



Ryc. 12.10. Maksymalne dekadowe wartości wskaźnika stresu termofizjologicznego (PhS) w Świnoujściu, Ciechocinku i Łądku-Zdroju, 1970–1990

Fig. 12.10. Decadal values of physiological strain index (PhS) in Świnoujście, Ciechocinek and Łądek-Zdrój, 1971–1990

Badania własne. / Own data.

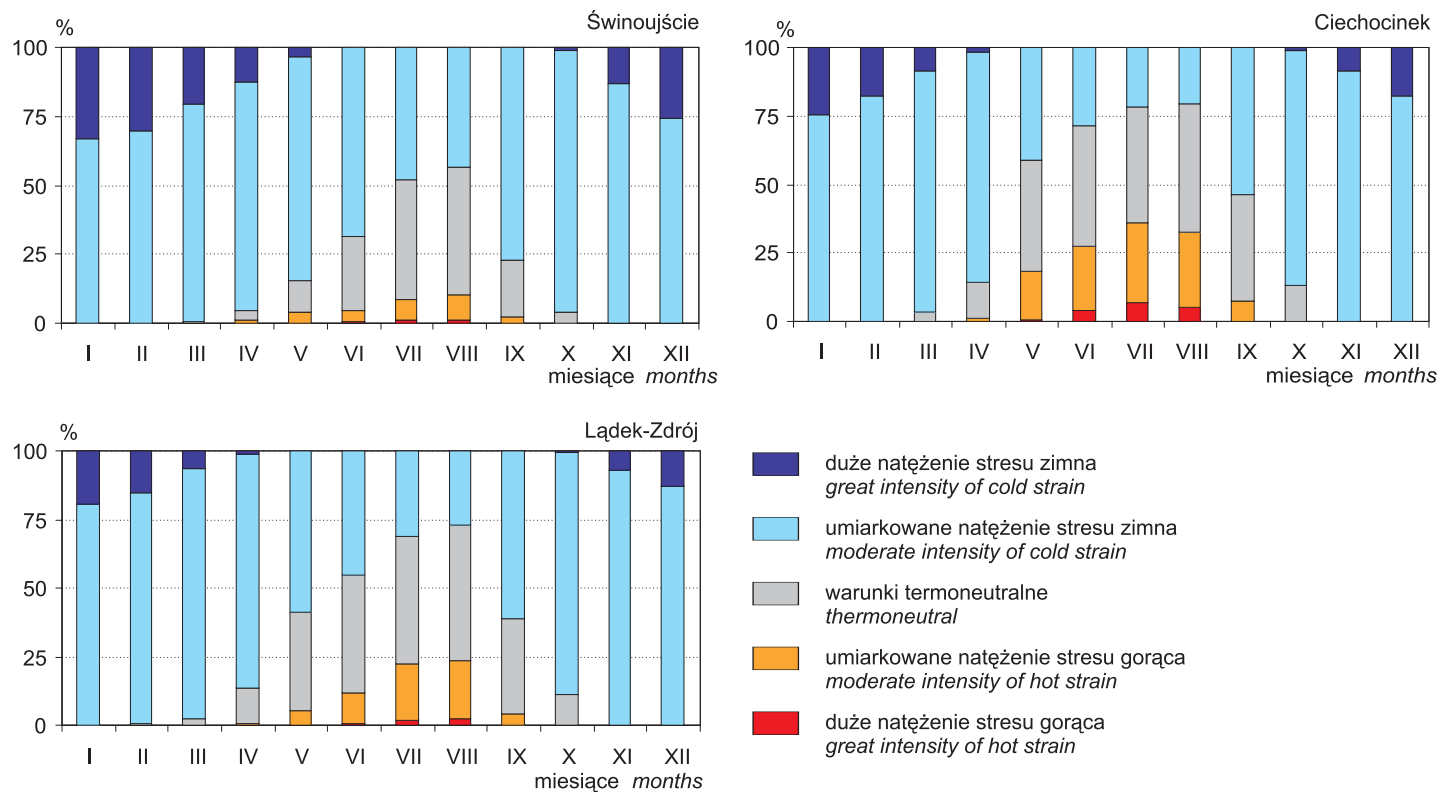
Duża sezonowa kontrastowość warunków biotermicznych, opisanych za pomocą wskaźnika PhS , charakteryzuje Ciechocinek (co jest typowe dla miejscowości położonych w Regionie Centralnym). Zimą dość często występuje tu silny stres zimna, natomiast latem przez 5–7% dni w miesiącu pojawia się stres gorąca o bardzo dużej intensywności. Warunki takie wymagają szczególnej ostrożności podczas zajęć rekreacyjnych, wiążących się ze znacznym wysiłkiem fizycznym.

Najłagodniejsze warunki biotermiczne obserwowane są w Łądku. Od maja do września, przez 35–50% dni w miesiącu występują tam warunki termoneutralne, z bardzo słabymi reakcjami termoregulacyjnymi organizmu. Od października do kwietnia zaznacza się w tej miejscowości (a także w innych miejscowościach sudeckich i karpackich) dominacja znacznego stresu zimna, który w przypadku osób starszych i chorych oraz dzieci może stanowić zagrożenie dla zachowania równowagi cieplnej organizmu.

12.2.3. Obciążenia cieplne organizmu ($UTCI$)

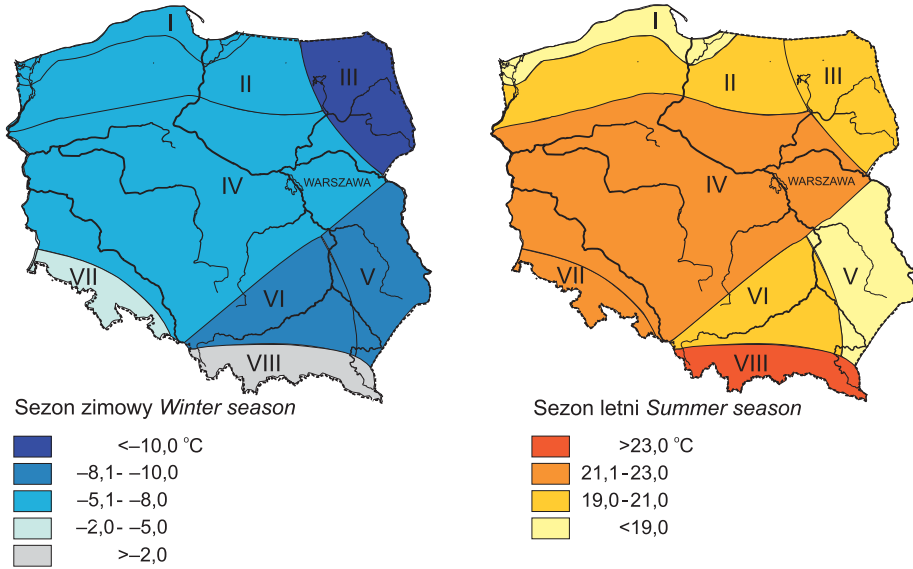
Średnie sezonowe wartości wskaźnika obciążeń cieplnych organizmu są wyraźnie zróżnicowane regionalnie, w sezonie zarówno zimowym, jak i letnim. W sezonie zimowym na terenie całego kraju występuje umiarkowany stres zimna, przy czym najmniejsze obciążenia cieplne organizmu są obserwowane w regionach Karpackim i Sudeckim. Warunki najbardziej surowe, mieszczące się w zakresie silnego stresu zimna, są wtedy notowane w Regionie Północno-wschodnim.

Latem, średnie wartości wskaźnika $UTCI$ wskazują na występowanie w Polsce neutralnych warunków biotermicznych. Najmniejsze obciążenia cieplne występują wówczas w regionach Nadmorskim i Południowo-wschodnim, natomiast największe w Polsce centralnej oraz w regionach górskich (ryc. 12.12).



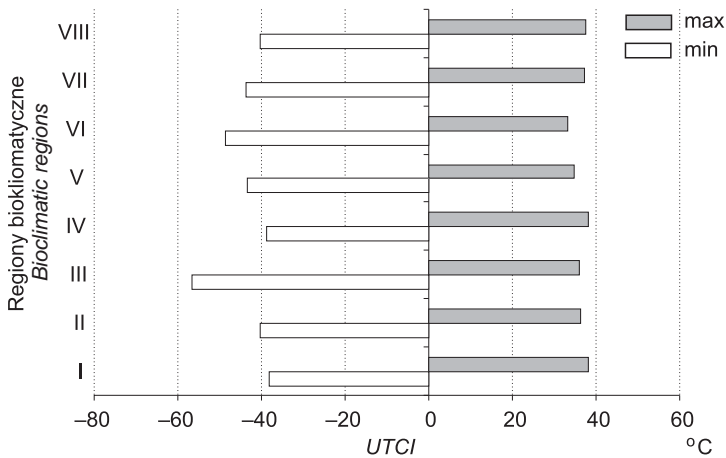
Ryc. 12.11. Częstość (%) występowania różnych rodzajów stresu termofizjologicznego (*PhS*), w wybranych stacjach meteorologicznych, 1971–1990

Fig. 12.11. Frequency (%) of various classes of physiological strain (*PhS*) at selected meteorological stations
Badania własne. / Own data.



Ryc. 12.12. Średnie wartości wskaźnika obciążeń cieplnych organizmu (*UTCI*) o godz. 12:00 UTC w regionach bioklimatycznych Polski, 1971–1990
 Fig. 12.12. Mean values of universal thermal climate index (*UTCI*) at 12:00 UTC in bioclimatic regions of Poland, 1971–1990

Badania własne. / Own data.



Ryc. 12.13. Najwyższe (max) i najniższe (min) wartości wskaźnika obciążeń cieplnych organizmu (*UTCI*) w regionach bioklimatycznych Polski, 1971–1990

Fig. 12.13. The highest (max) and the lowest (min) values of universal thermal climate index (*UTCI*) in bioclimatic regions of Poland, 1971–1990

Badania własne. / Own data.

Przez znaczną część roku (od października do kwietnia) średnie miesięczne wartości *UTCI* utrzymują się na poziomie odpowiadającym warunkom termoneutralnym (a więc w bardzo niewielkim stopniu obciążającym układ termoregulacyjny) lub też powodującym stres chłodu. W pozostałych miesiącach panuje stres ciepła lub stres gorąca (tab. 12.4).

Tabela 12.4. Średnie miesięczne wartości wskaźnika obciążenia cieplnego (*UTCI*), 1971–1990

Table 12.4. Mean monthly values of *UTCI*, 1971–1990

Miejscowość Site	Miesiące Months											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Region Nadmorski <i>Coastal Region</i>												
Świnoujście	-9,23	-7,46	-2,88	3,11	10,82	16,29	19,34	19,86	14,11	7,34	-2,89	-7,88
Kołobrzeg	-8,66	-5,68	-1,75	4,29	12,08	16,73	19,12	20,32	14,48	7,77	-2,49	-7,63
Region Pojezierny <i>Lakeland Region</i>												
Połczyn-Zdrój	-10,10	-6,39	-1,81	5,60	15,41	18,08	20,29	20,83	13,61	6,81	-3,57	-7,68
Region Północno-wschodni <i>North-East Region</i>												
Gołdap	-14,71	-11,76	-5,94	3,58	14,22	18,54	19,81	20,08	12,89	4,40	-6,84	-10,78
Region Centralny <i>Central Region</i>												
Ciechocinek	-8,12	-4,99	-0,05	6,83	17,78	20,90	22,63	22,70	16,43	8,58	-2,25	-6,46
Warszawa	-13,67	-10,59	-4,24	4,66	15,03	18,18	20,65	21,30	13,03	4,78	-6,37	-11,82
Region Południowo-wschodni <i>South-East Region</i>												
Nałęczów	-11,72	-8,07	-4,24	3,05	13,38	16,56	19,85	18,88	16,06	3,72	-2,77	-8,46
Region Świętokrzysko-malopolski <i>Upland Region</i>												
Szaniec	-12,22	-9,22	-4,28	1,85	12,64	16,03	18,52	18,07	11,74	4,19	-5,15	-9,71
Region Sudecki <i>Sudetic Region</i>												
Świeradów-Zdrój	-8,93	-4,28	-0,06	6,54	14,38	17,91	20,77	21,25	14,64	7,85	-2,97	-8,07
Łądek-Zdrój	-5,70	-2,30	2,55	9,24	16,89	19,91	22,45	22,84	16,84	10,21	0,14	-4,16
Polanica	-6,99	-2,70	2,11	7,91	16,46	19,39	21,91	22,93	16,97	10,64	0,88	-4,88
Region Karpacki <i>Carpathian Region</i>												
Rabka-Zdrój	-0,24	2,82	7,25	12,43	19,39	22,31	24,23	24,90	19,36	14,51	5,49	0,66
Iwonicz	-9,99	-5,08	1,87	9,89	17,42	20,89	22,68	22,45	17,31	9,82	-1,52	-8,47

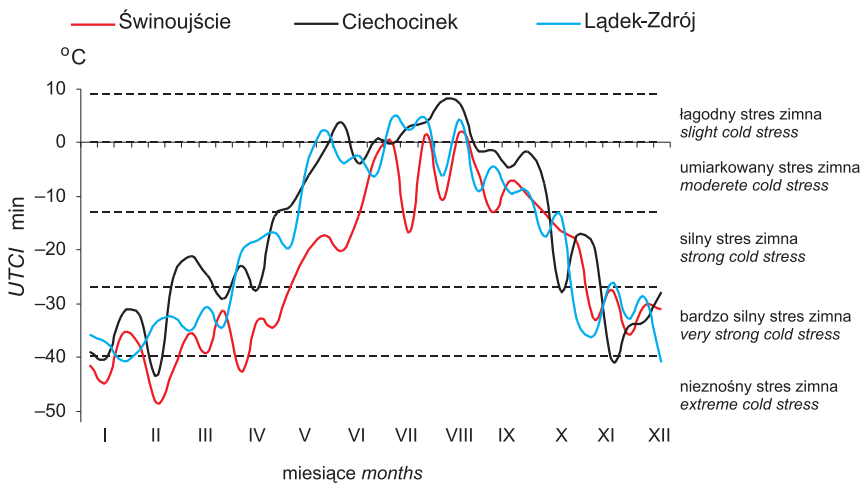
Badania własne. / Own data.

Zakres wskaźnika *UTCI* wyznaczają wartości skrajne, zanotowane w okresie 1971–1990. W większości regionów najwyższe wartości wskaźnika mieściły się w przedziale silnego stresu ciepła, natomiast w Polsce centralnej notowano również wartości powyżej 38,1°C, tj. bardzo silny stres ciepła. W większości badanych regionów bioklimatycznych (poza regionami Nadmorskim i Centralnym) najniższe wartości wskaźnika obciążenia cieplnego mieściły się w zakresie nieznosnego stresu zimna. Najniższa wartość *UTCI* wystąpiła w Gołdapi i wyniosła

-55,5°C. Warto zauważyć, że zróżnicowanie regionalne jest większe w przypadku najniższych wartości *UTCI* niż ich wartości najwyższych (ryc. 12.13).

Największe różnice minimalnych wartości wskaźnika obciążeń cieplnych – nawet powyżej 20°C – występują od II dekady kwietnia do końca czerwca. Najniższe wartości *UTCI* notuje się wówczas na wybrzeżu. Od początku września do grudnia przebieg *UTCI*min kształtuje się podobnie w południowej i północnej Polsce (ryc. 12.14).

Duże zróżnicowanie obciążeń cieplnych organizmu (zarówno sezonowego jak i regionalnego) na obszarze Polski widać również wyraźnie przy porównaniu częstości występowania wskaźnika *UTCI* w różnych przedziałach wartości. Średnie roczne wartości *UTCI* wykazują słabe zróżnicowanie regionalne, wyraźne różnice przestrzenne widać natomiast w okresie letnim oraz zimowym. W styczniu zdecydowanie dominuje umiarkowany stres zimna. Wyraźnie zaznacza się tu odrębność miejscowości w północnej i centralnej Polsce – gdzie często (przez około 30–40% dni w miesiącu) występują warunki silnego stresu zimna.

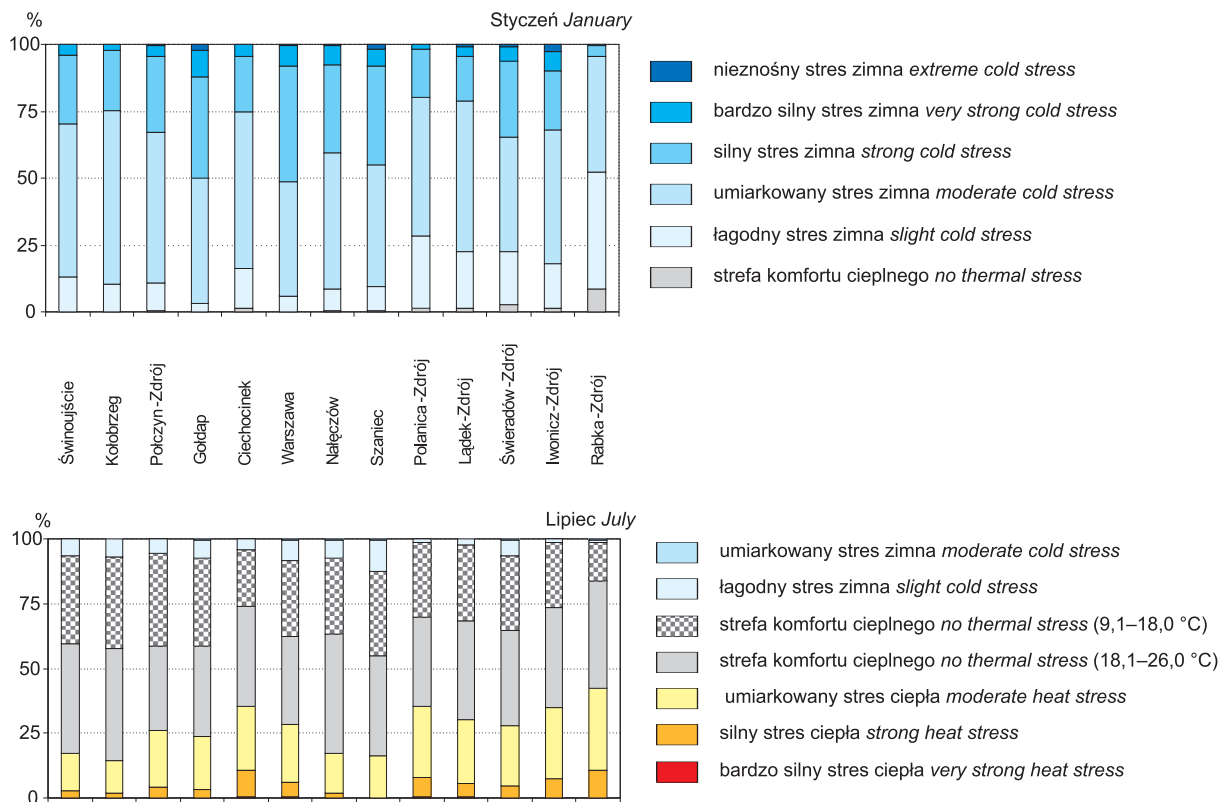


Ryc. 12.14. Minimalne dekadowe wartości obciążeń cieplnych (*UTCI*) w Świnoujściu, Ciechocinku i Łądku-Zdroju, 1970–1990; skala obciążeń

Fig. 12.14. The lowest decadal values of universal thermal climate index (*UTCI*) in Świnoujście, Ciechocinek and Łądek-Zdrój, 1971–1990

Badania własne. / Own data.

Dane dotyczące lipca również pokazują, że poszczególne obszary Polski różnią się znacznie pod względem sytuacji obciążających układ termoregulacyjny. Zdecydowanie najłagodniejsze warunki panują w Polsce północnej. Pogoda sprzyjająca silnemu stresowi ciepła należy tam do rzadkości. Dla kontrastu, w centrum kraju i w miejscowościach górskich częstość przypadków silnego i bardzo silnego stresu ciepła wynosi od 5 do 10% (ryc. 12.15).



Ryc. 12.15. Częstość (%) występowania różnych rodzajów obciążeń cieplnych (UTCI) w styczniu i lipcu, 1971–1990

Fig. 12.15. Frequency (%) of various thermal stress categories (UTCI) in January and July, 1971–1990

Badania własne. / Own data.

13. Zakończenie

„Ładna” pogoda lub „dobry” klimat należą do najczęściej definiowanych oczekiwań turystów i wczasowiczów w odniesieniu do miejsca i okresu wypoczynku. Niektórzy precyzują swe oczekiwania bardzo konkretnie, wymieniając „dużo słońca”, odpowiednią temperaturę, a zimą „dużo śniegu” jako preferowane cechy klimatu. Dopiero na dalszych miejscach w rankingu oczekiwań podawane są warunki lokalowe, smaczne jedzenie, łatwy dojazd czy dodatkowe atrakcje.

Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom turystów coraz więcej biur podróży proponuje mieszkańcom Polski wypoczynek w „ciepłych krajach”, gdzie „zawsze świeci słońce”, a deszcz „nigdy nie pada”. Niestety, te określenia są najczęściej jedynymi informacjami dotyczącymi klimatu wybranego miejsca. Z punktu widzenia efektywności rekreacji są one niewystarczające. Nie informują bowiem o istotnych cechach warunków klimatycznych miejsca wymarzonego na wypoczynek.

Brak rzetelnej informacji o warunkach bioklimatycznych danego miejsca w wielu przypadkach wynika z pomniejszania roli klimatu w rekreacji. Wiadomości zawarte w książce pozwalają zrozumieć, jak ważnym składnikiem efektywnego wypoczynku jest pogoda i klimat oraz podpowiadają, jakich informacji o walorach bioklimatycznych należy poszukiwać w dostępnych źródłach danych.

Zdarzają się niestety sytuacje, że firmy turystyczne przemilczają te fakty z zakresu warunków klimatycznych, które mogłyby zmniejszyć zainteresowanie potencjalnych klientów. Przykładem mogą być informacje o bardzo uciążliwych warunkach biotermicznych panujących na wybrzeżu greckim i tureckim w drugiej połowie lata. Każdy turysta powinien zdawać sobie sprawę zarówno z walorów bioklimatycznych danego obszaru (małe zachmurzenie, duża liczba godzin ze słońcem, brak opadów), jak i z istniejących zagrożeń i niebezpieczeństw (temperatura sięgająca 40°C, zagrożenie szkodliwym promieniowaniem UV).

Większość z nas stara się w swych działaniach kierować przesłankami racjonalnymi, a decyzje podejmować w pełni świadomie. Mamy nadzieję, że informacje zawarte w książce pozwolą lepiej niż dotychczas zrozumieć złożone relacje pomiędzy organizmem człowieka a otaczającą go atmosferą w trakcie różnych form rekreacji.

Gdy pracujemy intensywnie, nasz organizm potrzebuje również intensywnego, racjonalnego i efektywnego wypoczynku nie tylko raz lub dwa razy w roku. Bardzo ważna jest także rekreacja codzienna oraz cotygodniowa. W tym przypadku jesteśmy niejako „skazani” na panujące wtedy warunki pogodowe, powinniśmy zatem wiedzieć, jaka forma rekreacji jest optymalna w danych warunkach pogodowych. W warunkach klimatycznych Polski jest niewiele dni, w których pogoda wyklucza korzystanie z wypoczynku w terenie otwartym. Trzeba jednak pamiętać, że nie każda sytuacja atmosferyczna pozwala na bezpieczne i efektywne uprawianie każdej z form rekreacji. Wskazówki zawarte w książce sprzyjają racjonalnemu i świadomemu podejmowaniu codziennych decyzji w tym zakresie.

Część metodyczna opracowania może dostarczyć specjalistom z dziedziny klimatologii i bioklimatologii, termofizjologii i ergonomii pracy, medycyny i profilaktyki zdrowia nowoczesnych narzędzi badań i oceny wpływu środowiska atmosferycznego na organizm człowieka. Proponowane metody oparte na analizie bilansu cieplnego człowieka pozwalają na w pełni obiektywne i szczegółowe określenie tych oddziaływań.

Charakterystyka warunków bioklimatycznych Polski zawiera zarówno klasyczne informacje klimatyczne (warunki radiacyjne, termiczne, wilgotnościowe, opadowe, wietrzne), jak i informacje o sezonowej i przestrzennej zmienności warunków pogodowych i biotermicznych, opisanych za pomocą najnowszych wskaźników opartych na analizie bilansu cieplnego człowieka. Wykonane analizy potwierdzają duże zróżnicowanie czasowe i regionalne bioklimatu Polski. Zróżnicowanie to daje ogromne możliwości wykorzystania w racjonalny sposób zasobów klimatycznych naszego kraju w rekreacji i turystyce. Informacje te mogą być przydatne nie tylko dla osób zajmujących się profesjonalnie organizacją wypoczynku, ale także dla każdego turysty i rekreanta, który chce wypoczywać świadomie i efektywnie.

LITERATURA

- Abdumalikov T.I., 1974, *Bioklimatičeskaja ocenka nekotorych landšaftov Srednej Azii*, Trudy Srednieazjatskogo Regionalnogo Naučno-Issledovatel'nogo Gidro-Meteorologičeskogo Instituta, 20, Taškent, s. 76–80.
- ACGIH, 2004, *Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices*, American Conference of Governmental Industrial Hygienists Signature Publications, Cincinnati, s. 168–176.
- Ajzenštat B.A., 1973, *Bioklimatičeskij atlas Srednej Azii*, Gidrometeoizdat, Moskva.
- , 1987, *Health and the heat balance of the human body*, [w:] *Proceedings of the WMO, WHO, UNEO-Symposium on Climate and Human Health in Leningrad 1986*, WMO-WCP, Geneva, 2, s. 170–181.
- Arendt J., 1991, *Melatonin in humans: jet lag and after*, [w:] J. Arendt, P. Pevet (red.), *Advances in Pineal Research*, 5, s. 299–302.
- Aschoff J., Biebach H., Heise A., Schmidt T., 1974, *Day-night variation in heat balance*, [w:] J.L. Monteith, L.E. Mount (red.), *Heat Loss from Animals and Man*, Butterworths, London, s. 147–173.
- Atlas kurortno rajoniranje na NR Bulgarija*, 1971, Ministerstvo na Narodnoto Zdrave, Sofia.
- Bailes J.E., Cantu R.C., Day A.L., 2002, *The neurosurgeon in sport: awareness of the risks of heatstroke and dietary supplements*, *Neurosurgery*, 51, s. 283–288.
- Bajbakova E.M., Nevraev G.A., Čubukov L.A., 1963, *Metodika analiza klimata kurortov i meteorologičeskich uslovij klimatoterapii*, [w:] *Očerki po klimatologii kurortov*, Nauka, Moskva, 5–42.
- Baranowska M., 1987, *Klasyfikacja układów i frontów dla potrzeb badań korelacyjnych z dobową liczbą kolizji i wypadków w komunikacji miejskiej w Warszawie*, IMGW, Warszawa, raport grupy tematycznej R-11.2.3, maszynopis.
- Baranowska M., Boniecka-Żółcik H., Gurba A., 1986, *Weryfikacja skali klimatu odczuwalnego dla Polski*, *Przegląd Geofizyczny*, 31, 1, s. 27–40.

- Beaumont van W., Bullard R.W., 1965, *Sweating: Direct influence of skin temperature*, Science, 147, 3664, s. 1465–1467.
- Beer J., Mączak S., 1977, *Naturalne związki bakteriobójcze w lasach sosnowych Konstancina*, Miasto, 10, s. 19–21.
- Belding H.S., Hatch T.F., 1955, *Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strain*, Heating, Piping and Air Conditioning, 27, s. 129–136.
- BioKlima©2.6. Pakiet programu, www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/bioklima.htm.
- Bissoli P., Dittmann E., 2001, *The objective weather type classification of the German Weather Service and its possibilities of application to environmental and meteorological investigations*, Meteorologische Zeitschrift, 10, 4, s. 253–260.
- Blanc de J., 1975, *Man in the Cold*, Ch.C.Thomas Publ., Springfield.
- Bligh J., Johnson G., 1973, *Glossary of terms for thermal physiology*, Journal of Applied Physiology, 35, s. 941–961.
- Błażejczyk K., 1979, *Typologia pogody na potrzeby klimatoterapii*, Dokumentacja Geograficzna, 2, s. 12–24.
- , 1980a, *Próba oceny klimatu uzdrowiska metodą modelową*, Przegląd Geograficzny, 52, 1, s. 115–125.
- , 1980b, *Kilka uwag na temat metodyki prowadzenia pomiarów ochładzania katatermometrem Hilla*, Problemy Uzdrowiskowe, 6, s. 69–74.
- , 1981, *Bioklimatyczna klasyfikacja pogody*, Problemy Uzdrowiskowe, 1/4, s. 169–173.
- , 1983, *Bioklimatyczna ocena i typologia uzdrowisk Polski*, Dokumentacja Geograficzna, 3.
- , 1985a, *Klimatoterapia w uzdrowiskach polskich*, Studia Ośrodka Dokumentacji Fizjograficznej, 13, s. 269–298.
- , 1985b, *Analiza stosunków opadowych w Polsce z punktu widzenia rekreacji i klimatoterapii*, Przegląd Geograficzny, 57, 1–2, s. 139–155.
- , 1987, *Bilans cieplny człowieka w warunkach stacjonarnych i niestacjonarnych*, Problemy Uzdrowiskowe, 11/12, s. 25–35.
- , 1988, *Klimatologiczno-fizjologiczna charakterystyka wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem w wybranych typach krajobrazu nizinnego*, Przegląd Geograficzny, 60, 3, s. 353–366.
- , 1990a, *Human skin temperature in different climatic zones*, [w:] *Proceedings Symposium of Human Biometeorology, Štrbske Pleso, High Tatras, Czechoslovakia, Nov. 8–10 1988*, Slovak Bioclimatological Society, Bratislava, s. 30–39.
- , 1990b, *Zróźnicowanie biotopoklimatyczne wybranych typów krajobrazu*, Conference Papers IGIPZ PAN, 4, Warszawa, s. 175–187.
- , 1991, *Heat balance of the human body in different weather conditions in North-East Poland (the problem of heat stress)*, Grana, 30, s. 277–280.

-
- , 1992a, *Bioklimatyczna analiza warunków pogodowych w Polsce*, Zeszyty IGiPZ PAN, 8, Warszawa.
 - , 1992b, *Wpływ urbanizacji terenu na lokalne warunki bioklimatyczne (na przykładzie woj. katowickiego)*, Zeszyty IGiPZ PAN, 6, Warszawa, s. 15–28.
 - , 1993, *Wymiana ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem w różnych warunkach środowiska geograficznego*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 159, Warszawa.
 - , 1994a, *Klimatologiczno-fizjologiczny model wymiany ciepła między człowiekiem i otoczeniem (MENEX)*, Przegląd Geograficzny, 66, 1–2, s. 33–55.
 - , 1994b, *New climatological- and -physiological model of the human heat balance outdoor (MENEX) and its applications in bioclimatological studies in different scales*, Zeszyty IGiPZ PAN, 28, Warszawa, s. 27–58.
 - , 1995, *Fizyczne znaczenie promieniowania słonecznego dla człowieka*, [w:] B. Krawczyk, K. Błażejczyk (red.), *Współczesne badania klimatologów polskich w kraju i za granicą*, Conference Papers IGiPZ PAN, 23, Warszawa, s. 61–68.
 - , 1996, *Assessment of solar radiation absorbed by man based on simple meteorological parameters*, [w:] Y. Shapiro, D.S. Moran, Y. Epstein (red.), *Environmental Ergonomics, Recent Progress and New Frontiers*, Freund Publication House, London-Tel Aviv, s. 190–193.
 - , 1997, *Dry heat exchange and skin temperature in subjects outdoors at fluctuated cloud cover*, [w:] B. Nielsen-Jahannsen, R. Nielsen (red.), *Thermal Physiology 1997, Proceedings of the International Symposium on Thermal Physiology, Copenhagen 8–12 July 1997*, August Krogh Institute, Copenhagen, s. 115–118.
 - , 1998a, *Promieniowanie słoneczne a gospodarka cieplna organizmu człowieka*, Zeszyty IGiPZ PAN, 51, Warszawa.
 - , 1998b, *Solar radiation and cold tolerance*, [w:] I. Holmér, K. Kuklane (red.), *“Problems with Cold Work”. Proceedings from an International Symposium Held in Stockholm, Sweden, Nov. 16–20 1997*, Arbete och Hälsa, 18, s. 111–113.
 - , 1999, *Influence of solar radiation on skin temperature in standing and walking subjects outdoors*, [w:] J.A. Hodgdon, J.H. Heaney, M.J. Buono (red.), *Environmental Ergonomics VIII. Selected Papers from the 8th International Conference on Environmental Ergonomics, San Diego, California, USA, 18–23 Oct. 1998*, International Series on Environmental Ergonomics, 1, Naval Health Research Center, San Diego State University, San Diego, s. 57–60.
 - , 2000a, *Influence of extremal heat waves on man*, Instytut Geografii UJ, Prace Geograficzne, 108, s. 101–108.
 - , 2000b, *Absorption of solar radiation by man*, [w:] J. Werner, M. Hexamer (red.), *Environmental Ergonomics IX. ICEE Ruhr 2000*, Ruhr-University Bochum, Shaker Verlag, Aachen, Germany, s. 43–46.
 - , 2001a, *Bilans cieplny człowieka jako narzędzie badań bioklimatycznych*, Przegląd Geograficzny, 73, 4, s. 535–554.

- , 2001b, *Assessment of recreational potential of bioclimate based on the human heat balance*, [w:] A. Matzarakis, C.R. de Freitas (red.), *Proceedings of the 1st International Workshop on Climate, Tourism and Recreation*, International Society of Biometeorology, Commission on Climate, Tourism and Recreation, WP11, www.unifreiburg.de/isb.
- , 2002a, *Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej*, Dokumentacja Geograficzna, 26.
- , 2002b, *Changes in skin temperature and circulatory response during prolonged mountain tourism activity*, [w:] *Environmental Ergonomics X. Papers from the 10th International Conference on Environmental Ergonomics, 23–27 September 2002*, Fukuoka, Japan, Kyushu University, s. 149–152.
- , 2003, *Bioklimatyczne cechy klimatu Polski*, Przegląd Geograficzny, 75, 4, s. 525–543.
- , 2004a, *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 192, Warszawa.
- , 2004b, *Radiation balance in man in various meteorological and geographical conditions*, Geographia Polonica, 77, 1, s. 63–76.
- , 2005a, *Weather recreation index for Europe*, [w:] *17th International Congress of Biometeorology ICB*, Annalen der Meteorologie, 41, 2, s. 604–607.
- , 2005b, *New indices to assess thermal risks outdoors*, [w:] I. Holmér, K. Kuklane, Ch. Gao (red.), *Environmental Ergonomics XI. Proceedings 11th International Conference, 22–26 May, 2005, Ystad, Sweden*, Lund University, Lund, s. 222–225.
- , 2007a, *Weather limitations for winter and summer tourism in Europe*, [w:] A. Matzarakis, C.R. de Freitas, D. Scott (red.), *Developments in Tourism Climatology*, Commission on Climate, Tourism and Recreation International Society of Biometeorology, Freiburg, s. 116–121.
- , 2007b, *L'analyse du temps comme méthode d'évaluation bioclimatique pour la récréation*, [w:] *Climat, tourisme et environnement. Actes du colloque de Carthage (Tunisie) CENAFFE, 3–8 Septembre 2007*, Association Internationale de Climatologie, Tunis, s. 117–121.
- , 2009, *Zmiany globalne klimatu i ich konsekwencje zdrowotne dla człowieka*, [w:] M. Gutry-Korycka, T. Markowski (red.), *Zrównoważone warunki życia w zmieniającym się systemie klimatycznym Ziemi*, Studia KPZK PAN, 124, Warszawa, s. 107–136.
- , 2011a, *Mapping of UTCI in local scale (the case of Warsaw)*, Prace i Studia Geograficzne WGiSR UW, 47, Warszawa, s. 275–283.
- , 2011b, *Assessment of regional bioclimatic contrasts in Poland*, Miscellanea Geographica, 15/2011, s. 79–91.
- Błażejczyk K., Baranowski J., Kunert A., Szmyd J., 2012, *Klimat i bioklimat Hali Gąsienicowej*, Monografie IGiPZ PAN, (w druku).
- Błażejczyk K., Baranowski J., Pisarczyk S., Szpot M., 2000, *Influence of the human heat balance on respiratory and circulatory diseases*, [w:]

- R.J. de Dear, J.D. Kalma, T.R. Oke, A. Auliciems (red.), "Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of Millennium". *Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99 (Sydney, 8-12 Nov. 1999)*, World Meteorological Organization, Geneva, s. 107-111.
- Błażejczyk K., Broede P., Fiala D., Havenith G., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., 2010, *UTCI – Nowy wskaźnik oceny obciążeń cieplnych człowieka*, Przegląd Geograficzny, 82, 1, s. 49-71.
- Błażejczyk K., Epstein Y., Jendritzky G., Staiger H., Tinz B., 2011, *Comparison of UTCI to selected thermal indices*, International Journal of Biometeorology, DOI 10.1007/s00484-011-0453-2.
- Błażejczyk K., Fiala D., Richards M., Rintamäki H., Ruuhela R., 2008, *Niektóre cechy bilansu cieplnego człowieka w warunkach zimowych klimatu polarnego, na przykładzie północnej Finlandii*, Problemy Klimatologii Polarnej, 18, s. 89-97.
- Błażejczyk K., Grzybowski J., 1994, *Znaczenie klimatotwórcze małych powierzchni wodnych oraz charakterystyka topoklimatów w krajobrazie pojeziernym Suwalskiego Parku Krajobrazowego*, Zeszyty Naukowe Komitetu „Człowiek i Środowisko”, 7, s. 103-118.
- Błażejczyk K., Holmér I., 2000, *Evaporative resistance of various clothing ensembles measured on standing and walking manikin*, Arbete och Hälsa, 8, *Ergonomics of Protective Clothing*, s. 192-195.
- Błażejczyk K., Holmér I., Nilsson H., 1998, *Absorption of solar radiation by an ellipsoid sensor simulated the human body*, Applied Human Sciences, 17(6), s. 267-273.
- Błażejczyk K., Kozłowska-Szczęsna T., 2008, *Klimat a zdrowie*, Kosmos, 57, 3-4, s. 269-280.
- Błażejczyk K., Krawczyk B., 1991, *The influence of climatic conditions on the heat balance of the human body*, International Journal of Biometeorology, 35, s. 103-106.
- Błażejczyk K., Kunert A., 2011, *Obciążenie cieplne organizmu człowieka podczas letnich i zimowych wędrówek po Tatrach*, [w:] A. Kotarba (red.), *Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem. Materiały IV Konferencji „Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a człowiek”, 14-16.10. 2010, Zakopane. T. III – Nauki o Ziemi*, TPN-PTPNoZ, Zakopane, s. 61-68.
- Błażejczyk K., Lipska A., 1980, *Warunki akustyczne na terenie Dźwirzyna*, Problemy Uzdrowiskowe, 9, s. 101-108.
- Błażejczyk K., Matzarakis A., 2007, *Assessment of bioclimatic differentiation of Poland based on the human heat balance*, Geographia Polonica, 80, 1, s. 63-82.
- Błażejczyk K., McGregor G., 2008, *Mortality in European cities and its relations to biothermal conditions*, [w:] K. Kłysik, J. Wibig, K. Fortuniak (red.), *Klimat i bioklimat miast*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 313-324.

- Błażejczyk K., Morita T., Kanikowska D., Tokura H., Wiktorowicz K., Ueno-Towarati T., Bąkowska M., 2005, *Regional differences in diurnal and seasonal cycles of lighting conditions and melatonin secretions*, [w:] *17th International Congress of Biometeorology ICB*, Annalen der Meteorologie, 41, 1, s. 301–304.
- Błażejczyk K., Morita T., Ueno-Towarati T., Adamczyk A.B., Kunert A., 2008, *Regional differences in melatonin secretion due to environmental factors*, ICB2008, [w:] *18th International Congress of Biometeorology*, "Harmony within Nature", Tokyo, CD, HUM2-001.
- Błażejczyk K., Nilsson H., Holmér I., 1993, *Solar heat load on man (review of different methods of estimation)*, International Journal of Biometeorology, 37, s. 125–132.
- Błażejczyk K., Szyguła Z., 2004, *Wpływ gorącego otoczenia na zdolność wysiłkową sportowca. Jak przygotować zawodnika do startu w Igrzyskach Olimpijskich w Atenach?*, Sport Wyczynowy, 42, 5/6, s. 45–63.
- Błażejczyk K., Tokura H., Bortkiewicz A., Kato M., Szymczak W., 1999, *Thermoregulatory and circulatory reactions in subjects exposed to the sun and wearing white and black clothing*, [w:] J.A. Hodgdon, J.H. Heaney, M.J. Buono (red.), *Environmental Ergonomics VIII*. International Series on Environmental Ergonomics, 1, *Selected Papers from the 8th International Conference on Environmental Ergonomics, San Diego, California, USA, 18–23 Oct. 1998*, Naval Health Research Center, San Diego State University, San Diego, s. 177–181.
- Błażejczyk K., Tokura H., Bortkiewicz A., Szymczak W., 2000, *Solar radiation and thermal physiology in man*, [w:] R.J. de Dear, J.D. Kalma, T.R. Oke, A. Auliciems (red.), "Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of Millennium", *Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99 (Sydney, 8–12 Nov. 1999)*, World Meteorological Organization, Geneva, s. 267–271.
- Błażejczyk K., Twardosz R., Kunert A., 2003, *Zmienność warunków biotermicznych w Krakowie w XX wieku na tle wahań cyrkulacji atmosferycznej*, [w:] K. Błażejczyk, B. Krawczyk, M. Kuchcik (red.), *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 188, Warszawa, s. 233–246.
- Bogucki J. (red.), 1999, *Biometeorologia turystyki i rekreacji*, AWF w Poznaniu, Poznań.
- Bokša V.G., Boguckij B.V., 1966, *Klimatoterapija (rukovodstvo dla vračej)*, Izdatelstvo Zdorove, Kiev.
- , 1980, *Medicinskaja klimatologija i klimatoterapia*, Izdatelstvo Zdorove, Kiev.
- Bono de A., Peduzzi P., Giuliani G., Kluser S., 2004, *Impacts of Summer 2003 Heat Wave in Europe*, United Nations Environment Programme, DEWA/GRID-Europe, www.grid.unep.ch.
- Bouchama A., Knochel J., 2002, *Heat stroke*, The New England Journal of Medicine, 346, 25, s. 1978–1988.

- Bradtke F, Liese W., 1958, *Pomiary klimatyczne wewnątrz i na zewnątrz budynków*, Arkady, Warszawa.
- Breckendridge J.R., Goldman R.F., 1971, *Solar heat load in man*, *Journal of Applied Physiology*, 31, s. 659–663.
- , 1977, *Effect of clothing on bodily resistance against meteorological stimuli*, [w:] S.W. Tromp (red.), *Progress in Human Biometeorology*, II, Swets & Zertlinger, Amsterdam, s. 194–208.
- Broede P., Fiala D., Błażejczyk K., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Tinz B., Havenith G., 2011, *Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI)*, *International Journal of Biometeorology*, DOI 10.1007/s00484-011-0454-1.
- Brown R.D., Gillespie T. J., 1986, *Estimating outdoor thermal comfort using a cylindrical radiation thermometer and an energy budget model*, *International Journal of Biometeorology*, 30, 1, s. 43–52.
- Brumštejn V.I., 1950, *Poteri wagi čelovekom w pokoje pri rozličnoj temperature vozducha*, *Gigiena i Sanitaria*, 15, 12, s. 12–18.
- Bucher K., 1991, *Die objektive Analyse des Wetters unter medizin-meteorologischen Gesichtspunkten als Grundlage für die Beratung und Forschung*, *Wetter und Leben*, 43, s. 251–268.
- Budyko M.I., 1959, *O teplovom balansie živych organizmov*, *Izvestija AN SSSR, Seria Geografia*, 2, s. 29–35.
- , 1975, *Klimat i życie*, PWN, Warszawa.
- Budyko M.I., Cicenko G.V., 1960, *Klimatičeskije faktory teploščuščenija čeloveka*, *Izvestija AN SSSR, Geografia*, 3, s. 3–11.
- Burt J.E., O'Rourke P.A., Terjung W.H., 1982a, *The relative influence of urban climates on outdoor human energy budgets and skin temperature. Modelling considerations*, *International Journal of Biometeorology*, 26, 1, s. 3–35.
- , 1982b, *The relative influence of urban climates on outdoor human energy budgets and skin temperature. Man in an urban environment*, *International Journal of Biometeorology*, 26, 1, s. 25–35.
- , 1982c, *The relative influence of selected cloud types and amounts on human energy budgets and skin temperature*, *International Journal of Biometeorology*, 26, 2, s. 99–114.
- Burton A.C., Edholm O.G., 1955, *Man in a Cold Environment*. E.Arnold, London.
- Cabanac M., 1980, *Physiological signals for thermal comfort*, [w:] K. Cena, J.A. Clark (red.), *Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort*, Wrocław Technical University Press-Elsevier, Wrocław-Amsterdam, s. 181–193.
- Casa D.J., 1999, *Exercise in the heat. II. Critical concepts in rehydration, exertional heat illnesses, and maximizing athletic performance*, *Journal of Athletic Training*, 34, s. 253–262.
- Cena K., 1974, *Radiative heat loss from animals and man*, [w:] L.E. Mount, J.L. Monteith (red.), *Heat Loss from Animals and Man*, Butterworths, London, s. 33–58.

- Cicenکو G.V., 1967, *Radiacionnyj balans poverchnosti tela čeloveka v različnyh klimatičeskich uslovijach na territorii SSSR*, Trudy GGO, 193, s. 122–129.
- Clark J.A., McArthur A.J., Monteith J.L., Wheldon A.E., 1980, *The physics of the microclimate*, [w:] K. Cena, J.A. Clark (red.), *Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort*, Wrocław Technical University Press-Elsevier, Wrocław-Amsterdam, s. 13–28.
- Clark R.P., Edholm O.G., 1985, *Man and his Thermal Environment*, E. Arnold, London.
- Clarke J.F., Bach W., 1971, *Comparison of the comfort conditions in different urban and suburban microenvironments*, *International Journal of Biometeorology*, 15, 1, s. 41–54.
- Consolazio C.F., Matoush le Roy O., Nelson R.A., Torres J.B., Isaac G.J., 1963, *Environmental temperature and energy expenditures*, *Journal of Applied Physiology*, 18, 1, s. 65–68.
- Coyle E.F., Montain S.J., 1992, *Benefits of fluid replacement with carbohydrate during exercise*, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, s. 324–330.
- Čubukov L.A., Nevraev G.A., 1960, *Klimatoterapevtičeskie značenie važnejšich klassov mestnoj pogody*, *Voprosy Kurortologii, Fizioterapii i Lečebnoj Fizičeskoj Kultury*, 3, s. 193–202.
- Daniłowa N.A., 1988, *Przyroda i nasze zdrowie*, Wiedza Powszechna, Warszawa.
- Downey J.A., Huckaba C.E., Darling R.C., 1971, *The effect of skin and central cooling on human thermoregulation*, *International Journal of Biometeorology*, 15, 2–4, s. 171–175.
- Elizondo R.S., Bullard R.W., 1971, *Local determination of sweating and the assessment of the "Set point"*, *International Journal of Biometeorology*, 15, 2–4, s. 273–280.
- Endler C., Matzarakis A., 2010, *Assessment of climate for tourism purposes in Germany*, [w:] A. Matzarakis, H. Mayer, F.M. Chmielewski (red.), *Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology*, *Berichte der Meteorologische Institute Universität Freiburg*, 20, s. 380–385.
- Epstein Y., Moran D.S., 2006, *Thermal comfort and heat stress indices*, *Industrial Health*, 44, s. 388–398.
- Fanger P.O., 1970, *Thermal comfort. Analysis and application in environment engineering*, Danish Technical Press, Copenhagen.
- , 1974, *Komfort cieplny*, Arkady, Warszawa.
- Fiala D., Laschewski G., Jendritzky G., 2005, *Comparison of human thermal and regulatory responses predicted by simple and multi-node complete heat budget models*, [w:] *Proceedings 17th International Congress on Biometeorology*, *Annalen der Meteorologie, DWD Offenbach*, 41, 1, s. 318–319.
- Fiala D., Lomas K.J., Stohrer M., 1999, *A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: The passive system*, *Journal of Applied Physiology*, 87, 5, s. 1957–1972.

- , 2001, *Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions*, *International Journal of Biometeorology*, 45, s. 143–159.
- , 2003, *First principles modelling of thermal sensation responses in steady-state and transient conditions*, *ASHRAE Transactions: Research*, 109, part I, s. 179–186.
- Flach E., 1981, *Human bioclimatology*, [w:] H.E. Landsberg (red.), *World Survey of Climatology. General Climatology*, 3, Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York, s. 2–187.
- Flemming G., 1983, *Klimat – środowisko – człowiek*, PWRiL, Warszawa.
- Fourt J., Hollies N.R.S., 1970, *Clothing. Comfort and Function*, M. Dekker Inc., New York.
- Freitas de C.R., 1985, *Assessment of human bioclimate based on thermal response*, *International Journal of Biometeorology*, 29, s. 97–119.
- , 2001, *Theory, concepts and methods in tourism climate research*, [w:] A. Matzarakis, C.R. de Freitas (red.), *Proceedings of the 1st International Workshop on Climate, Tourism and Recreation*, International Society of Biometeorology, Commission on Climate, Tourism and Recreation, WP1, www.uni-freiburg.de/isb.
- Freitas de C.R., Grigorieva E.A., 2009, *The Acclimatization Thermal Strain Index (ATSI): a preliminary study of the methodology applied to climatic conditions of the Russian Far East*, *International Journal of Biometeorology*, 53, s. 307–315.
- , 2010, *Prediction of acclimatization thermal loading for individuals travelling between climatic extremes*, [w:] A. Matzarakis, H. Mayer, F.M. Chmielewski (red.), *Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology*, *Berichte der Meteorologische Institute Universität Freiburg*, 20, s. 364–369.
- Freitas de C.R., Ryken M.G., 1989, *Climate and physiological heat strain during exercise*, *International Journal of Biometeorology*, 33, s. 157–164.
- Freitas de C.R., Scott D., McBoyle G., 2004, *A new generation climate index for tourism and recreation*, [w:] A. Matzarakis, C.R. de Freitas, D. Scott (red.), *Advances in Tourism Climatology*, *Berichte der Meteorologische Institute Universität Freiburg*, 12, s. 19–26.
- , 2008, *A second generation climate index for tourism (CIT): specification and verification*, *International Journal of Biometeorology*, 52, s. 399–407.
- Fuller F.H., Brouha L., 1966, *New engineering methods for evaluating the job environment*, *ASHRAE Journal*, 8, 1, s. 39–52.
- Gagge A.P., Fobelets A.P., Berglund P.E., 1986, *A standard predictive index of human response to the thermal environment*, *ASHRAE Transactions*, 92, s. 709–731.

- Gagge A.P., Stolwijk J., Nishi Y., 1971, *An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response*, ASHRAE Transactions, 77, 1, s. 247–262.
- Garden J.W., Wilson I.D., Rasch P.J., 1966, *Acclimatization of healthy young adult males to a hot-wet environment*, Journal of Applied Physiology, 21, 2, s. 665–669.
- Gavhed D., Holmér I., 1989a, *Protection against cold by winter clothing during moderate activity*, [w:] *Proceedings of 3rd Scandinavian Symposium on Protective Clothing Against Chemicals and Other Health Risks (NOKOBETEF III)*, Gausdal, Norge, s. 137–140.
- , 1989b, *Thermoregulatory responses of fireman to exercise in the heat*, European Journal of Applied Physiology, 59, s. 115–122.
- Givoni B., 1976, *Man, Climate and Architecture*, Applied Science Publications, London.
- Givoni B., Beldings H.S., 1965, *Effektivnost' ohlaždenija pri isparenii pota*, [w:] *Biometeorologija*, Gidrometeoizdat, Leningrad, s. 198–206.
- Givoni B., Goldman R.F., 1973, *Predicting effects of heat acclimatization on heart rate and rectal temperature*, Journal of Applied Physiology, 35, 6, s. 875–879.
- Global Solar UV Index: A Practical Guide*, 2002, World Health Organization, Geneva.
- Glossary of terms for thermal physiology*, 2001, Japanese Journal of Physiology, 51, 2, s. 245–280.
- Glossary of terms for thermal physiology*, 2003, Journal of Thermal Biology, 28, s. 75–106.
- Grączewski J., 1972, *Wpływ pogody na zdrowie człowieka*, PZWL, Warszawa.
- Gregorczyk M., 1966, *Ciepły wpływ promieniowania słonecznego na człowieka*, Przegląd Geofizyczny, 11, 2, s. 119–128.
- , 1976, *O wielkości ochładzania na obszarze Polski*, Czasopismo Geograficzne, 47, 3, s. 255–263.
- Hammel H.T., 1965, *Neurons and temperature regulation*, [w:] W.S. Yamamoto (red.), *Physiological Controls and Regulations*, W.B. Saunders Co., Philadelphia, s. 71–97.
- Hammer N., Koch E., Rudel E., 1988, *Die Beurteilung der thermisch-hygrischen Befindlichkeit des Menschen nach verschiedenen Methoden*, Archiv für Meteorologie, Geophysic und Bioklimatologie, B, 36, 3-4, s. 343–355.
- Hardy J.D., 1965, *The "set-point" concept in physiological temperature regulation*, [w:] W.S. Yamamoto (red.), *Physiological Controls and Regulations*, W.B. Saunders Co, Philadelphia, s. 98–116.
- Havenith G., 2001, *An individual model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response*, Journal of Applied Physiology, 90, s. 1943–1954.

- Heat-waves: risks and responses*, 2004, Health and Global Environmental Change, 2, WHO, Geneva.
- Hebert M., Dumont M., Paquet J., 1998, *Seasonal and diurnal patterns of human illumination under natural conditions*, Chronobiology International, 15, s. 59–70.
- Hensel H., 1981, *Thermoreception and Temperature Regulation*, Academic Press, London.
- Hey E.N., 1974, *Physiological control over body temperature*, [w:] L.E. Mount, J.L. Monteith (red.), *Heat Loss from Animals and Man*, Butterworths, London, s. 77–95.
- Hill L., Griffith O.W., Flack M., 1916, *The measurement of the rate of heat loss at body temperature by convection, radiation and evaporation*, Philosophy Transactions Royal Society (B), 207, s. 183–220.
- Holec M., Tymański P., 1973, *Podstawy meteorologii i nawigacji meteorologicznej*, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk.
- Holmér I., 1988, *Assessment of cold stress in terms of required clothing insulation – IREQ*, International Journal of Industrial Ergonomics, 3, s. 159–166.
- , 1989a, *Evaporative heat exchange in clothing*, [w:] H. Tokura (red.), *Clothing Comfort Studies*, Japanese Research Association, Textile, Osaka, s. 223–244.
- , 1989b, *Body cooling with ice for warm-water diving operations*, Undersea Biomedical Research, 16, 6, s. 471–479.
- , 1994, *Work in Cold Environments*, Undesköökkningsrapport, Solna, 31.
- , 2000, *Clothing physiology – Past, present and new perspectives*, [w:] J. Werner, M. Hexamer (red.), *Environmental Ergonomics IX. International Conference on Environmental Ergonomics, Ruhr 2000*, Shaker Verlag, Aachen, s. 291–297.
- Höppe P., 1982, *Physikalischen Prinzipien in der Biometeorologie*, Promet Meteorologische Fortbildung, 3/4, s. 4–9.
- , 1984, *Die Energiebilanz des Menschen*, Wissenschaftliche Mitteilungen Meteorologische Institut Universität München, 49.
- , 1999, *The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment*, International Journal of Biometeorology, 43, s. 71–75.
- Huizenga C., Zhang H., Arens E., 2001, *A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments*, Building and Environment, 36, s. 691–699.
- Iampietro P.F., Bas D.E., Buskirk E.R., 1958, *Heat exchange of nude men in the cold: effect of humidity, temperature and wind speed*, Journal of Applied Physiology, 12, 3, s. 351–356.
- Ingram D.L., Mount L.E., 1975, *Man and Animals in Hot Environments*, Springer-Verlag, Berlin.
- ISO/DIS 7933, 2004, *Hot Environments – Analytical Determination of Thermal Stress*, International Organization for Standardization, Geneva.

- ISO 8996, 2004, *Ergonomics – Determination of Metabolic Heat Production*, International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO/DIS 9920, 1995, *Ergonomics of the Thermal Environment – Estimation of the Thermal Insulation and Evaporative Resistance of Clothing Ensemble*, International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO/DC 11079, 1993, *Evaluation of Cold Environments. Determination of Required Clothing Insulation*, International Organization for Standardization, Geneva.
- Jankowiak J. (red.), 1976, *Biometeorologia człowieka*, PZWL, Warszawa.
- Jankowiak J., Parczewski W. (red.), 1978, *Bioklimat uzdrowisk polskich*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Jendritzky G., 1990, *Bioklimatische Bewertungsgrundlage der Räume am Beispiel von mesoskaligen Bioklimakarten*, [w:] H. Schirmer (red.), *Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen*, Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, 114, s. 7–69.
- Jendritzky G., Menz G., 1986, *Bioclimatic maps of heat exchange of the human being in different scales*, [w:] *Proceedings of the WMO, WHO, UNEO-Symposium on Climate and Human Health in Leningrad 1986*, WMO-WCP, Geneva, 2, s. 107–114.
- Jendritzky G., Nübler W., 1981, *A model analysing the urban thermal environment in physiologically significant terms*, *Archiv für Meteorologie, Geophysic und Bioklimatologie*, Ser. B, 29, 4, s. 313–326.
- Jendritzky G., Sievers U., 1986, *Numerical simulation of the thermal environment of the human being in street canyons*, [w:] *Proceedings of the WMO, WHO, UNEO-Symposium on Climate and Human Health in Leningrad 1986*, WMO-WCP, Geneva, 2, s. 172–179.
- Jethon Z., Grzybowski A., 2000, *Medycyna zapobiegawcza i środowiskowa*, PZWL, Warszawa.
- Jokl M., 1965, *Hodnoceni mikroklimatických podmínek na pracovištích*, *Pracovní Lékarství*, 17, 9, s. 408–423.
- , 1982, *Standard layers – a new criterion of the thermal insulation properties of clothing*, *International Journal of Biometeorology*, 26, 1, s. 37–48.
- Kaciuba-Uściłko M., 1990, *Termoregulacja*, [w:] A. Tkaczyk (red.), *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*, PZWL, Warszawa.
- Kaczorowska Z., 1977, *Pogoda i klimat*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa.
- Kaleta Z., 1971, *Regulacja temperatury ciała*, [w:] J. Walawski (red.), *Fizjologia człowieka*, PZWL, Warszawa, s. 821–829.
- Kalinowski M., 1969, *Cisza w uzdrowiskach jako czynnik leczniczy i rehabilitacyjny*, *Balneologia Polska*, 14, 3/4, s. 395–417.
- Karasek M., 1997, *Szyszynka i melatonina*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Łódź.

- Kenney W.L., 1985, *A review of comparative responses of men and women to heat stress*, Environmental Research, 37, 1, s. 1–11.
- Kieć-Świerczyńska M., Kręcisz B., 2008, *Fotoalergia*, [w:] C. Pałczyński, M. Kieć-Świerczyńska, J. Walusiak (red.), *Alergologia zawodowa*, Oficyna Wydawnicza Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Łódź, s. 51–161.
- Kiełczewski B., Bogucki J., 1972, *Zarys biometeorologii sportu*, Sport i Turystyka, Warszawa.
- Klonowicz S., Kozłowski S., 1970, *Człowiek a środowisko termiczne*, PZWL, Warszawa.
- Konarska A., Karolkiewicz J., Kasprzak Z., Pilaczyńska-Szcześniak Ł., 2006, *Changes in melatonin concentration after physical exercise of variable intensity*, Studies in Physical Culture and Tourism, 13, 2, s. 45–50.
- Kosowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K., Kopacz-Lembowicz M., 2000, *Meteorologia i klimatologia. Pomiary, obserwacje, opracowanie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Łódź.
- Kostrowicki A.S., 1970, *Zastosowanie metod geobotanicznych w ocenie przydatności terenu dla potrzeb rekreacji i wypoczynku*, Przegląd Geograficzny, 42, 4, s. 631–645.
- Kozłowska-Szczęśna T., 1973, *Promieniowanie pochłonięte na obszarze Polski*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 99, Warszawa.
- , 1987, *Typy bioklimatu Polski*, Problemy Uzdrawiskowe, 5/6, s. 37–47.
- , 1988, *Klimat Polski a zdrowie człowieka*, [w:] L. Starkel (red.), *Przemiany środowiska geograficznego Polski*, Wszechnica PAN, Warszawa, s. 185–202.
- , 1991, *Antropoklimat Polski (próba syntezy)*, Zeszyty IGiPZ PAN, 1, Warszawa.
- Kozłowska-Szczęśna T. (red.), 1985, *Metody badań bioklimatu człowieka*, Problemy Uzdrawiskowe, 1/2.
- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., 1998, *Promieniowanie słoneczne i jego wpływ na organizm człowieka*, Balneologia Polska, 40, 1–2, s. 130–141.
- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1996, *Środowisko fizycznogeograficzne – niektóre zagadnienia*, Atlas Warszawy, 4, IGiPZ PAN, Warszawa.
- , 1997, *Bioklimatologia człowieka. Metody ich zastosowania w badaniach bioklimatu Polski*, Monografie IGiPZ PAN, 1, Warszawa.
- , 2001, *Bioklimat Krasnobrodu*, Dokumentacja Geograficzna, 24.
- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., Limanówka D., 2002, *Bioklimat uzdrowisk polskich i możliwości jego wykorzystania w lecznictwie*, Monografie IGiPZ PAN, 3, Warszawa.
- Kozłowska-Szczęśna T., Krawczyk B., Błażejczyk K., 1995, *Warunki bioklimatyczne Supraśla*, Zeszyty IGiPZ PAN, 33, Warszawa.
- Kozłowska-Szczęśna T., Krawczyk B., Kuchcik M., 2004, *Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka*, Monografie IGiPZ PAN, 4, Warszawa.

- Kozłowska-Szczęsna T., Podogrocki J., 1995, *Antropogeniczne zmiany warunków radiacyjnych w Warszawie*, [w:] K. Kłysik (red.), *Klimat i bioklimat miast*, Wydawnictwo UŁ, Łódź.
- Kozłowski S., 1986, *Granice przystosowania*, Wiedza Powszechna, Warszawa.
- Kożuchowski K., 1998, *Atmosfera, klimat, ekoklimat*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kravčik B., Blažejčik K., Begov J., Ščerbak E. 1991, *Issledovanije teplovogo balansa tela čeloveka na pustynie Karakumy*, *Problemy Osvojenija Pustyn*, 5, s. 58–65.
- Krawczyk B., 1979, *Bilans cieplny ciała człowieka jako podstawa podziału bioklimatycznego obszaru Iwonicza*, *Prace Geograficzne, IGiPZ PAN*, 131, Warszawa.
- , 1983, *Topoclimatic investigations of health resorts*, *Geographia Polonica*, 45, s. 47–58.
- , 1984, *Struktura bilansu cieplnego ciała człowieka na wybrzeżu Bałtyku*, [w:] T. Kozłowska-Szczęsna (red.), *Problemy bioklimatologii uzdrowskiej cz. V*, *Dokumentacja Geograficzna*, 1/2, s. 103–115.
- , 1988, *Uciążliwość warunków biotermicznych w Polsce*, *Problemy Uzdrowskowe*, 9/10, s. 83–94.
- , 1991, *Próba typologii bioklimatycznej Polski na podstawie temperatur radiacyjno-efektywnych*, *Przegląd Geograficzny*, 63, 1–2, s. 43–55.
- , 1993, *Typologia i ocena bioklimatu Polski na podstawie bilansu cieplnego ciała człowieka*, *Prace Geograficzne, IGiPZ PAN*, 160, Warszawa.
- , 2000, *Izolacyjność ciepła odzieży jako wskaźnik oceny warunków biotermicznych*, *Balneologia Polska*, 42, 3-4, s. 105–111.
- , 2001, *Ryzyko wystąpienia stresu ciepła w wybranych uzdrowskach polskich*, *Balneologia Polska*, 43, 1-2, s. 88–93.
- Krawczyk B., Blažejczyk K., 1991, *Wstępne badania bilansu cieplnego ciała człowieka na pustyni Kara-kum*, *Przegląd Geograficzny*, 63, 1-2, s. 143–154.
- Kreider M.B., Buskirk E.R., Bass D.E., 1958, *Oxygen consumption and body temperature during the night*, *Journal of Applied Physiology*, 12, 3, s. 361–366.
- Krys S.A., Brown R.D., 1990, *Radiation absorbed by a vertical cylinder in complex outdoor environments under clear sky conditions*, *International Journal of Biometeorology*, 34, s. 69–75.
- Krzymowska-Kostrowicka A., 1997, *Geoekologia turystyki i wypoczynku*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kuchcik M., 2000, *Wpływ warunków arosanitarnych i biometeorologicznych na zgony mieszkańców Warszawy*, *Instytut Nauk Fizycznogeograficznych UW*, Warszawa, maszynopis.
- Kuczarski M., 1984, *Możliwości wykorzystania usłonecznienia do celów helioterapii w Polsce*, *Dokumentacja Geograficzna*, 1–2, s. 117–137.
- Kunert A., 2010, *Modelling of UTCI index in various types of landscape*, [w:] A. Matzarakis, H. Mayer, F.M. Chmielewski (red.), *Proceedings of the*

- 7th Conference on Biometeorology, Berichte der Meteorologische Institute Universität Freiburg, 20, s. 302–307.
- Laaidi M., Laaidi K., Besancenot J.P., 2006, *Temperature-related mortality in France, a comparison between regions with different climates from the perspective of global warming*, International Journal of Biometeorology, 51, s. 145–153.
- Landsberg H.E., 1972, *The Assessment of Human Bioclimate. A Limited Review of Physical Parameters*, WMO Technical Note, 123, Geneva.
- Lewy A.J., Wehr T.A., Goodwin F.K., Newsome D.A., Markey S.P., 1980, *Light suppresses melatonin secretion in humans*, Science, 210, s. 1267–1269.
- Lee D.H.K., 1980, *Seventy-five years of searching for a heat index*, Environmental Research, 22, s. 331–356.
- Li P.W., Chan S.T., 2000, *Application of a weather stress index for alerting the public to stressful weather in Hong Kong*, Meteorological Applications, 7, s. 369–375.
- Liopo T.N., Cicenko G.V., 1971, *Klimatičeskije uslovija i teplovoje sostojanije čeloveka*, Gidrometeoizdat, Leningrad.
- Lityńska Z., Łapeta B., Wolska H., 2001, *Index UV a człowiek*, IMGW, Warszawa.
- Lotens W.A., 1993, *Heat Transfer from Humans Wearing Clothing*, TNO-Institute for Perception, Soesterberg, The Netherlands.
- Lucas R., McMichael T., Smith W., Armstrong B., 2006, *Solar Ultraviolet Radiation, Global burden of disease from solar ultraviolet radiation*, Environmental Burden of Disease Series, 13, WHO, Public Health and the Environment, Geneva.
- Lobożewicz T., 1979, *Warunki rozwoju turystyki i sportu narciarskiego w Polsce w świetle badań śniegowych*, Instytut Turystyki, Warszawa.
- Maarouf A., Bitzos M., 2001, *Les indices de refroidissement éolien: état de la question, applications actuelles et orientations futures pour le Canada*, Climat et Santé, 22, s. 7–37.
- Malchaire J.B., 1991, *Predicted sweat rate in fluctuating thermal conditions*, European Journal of Applied Physiology, 63, s. 282–287.
- Marciniak K., 1979, *Temperatura frygorymetryczna jako wskaźnik warunków termicznych odczuwalnych*, Balneologia Polska, 24, 3/4, s. 611–625.
- Maroszek J., Morita T., Błażejczyk K., 2010, *Melatonin secretion in various climate zone*, [w:] A. Matzarakis, H. Mayer, F.M. Chmielewski (red.), *Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology*, Berichte der Meteorologische Institute Universität Freiburg, 20, s. 273–277.
- Mateeva Z., Filipov A., 2003, *Bioclimatic distance index in the Rila-and-Rhodopy area of Bulgaria*, [w:] K. Błażejczyk, B. Krawczyk, M. Kuchcik (red.), *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 188, Warszawa, s. 295–302.
- Matuszko D., 2006, *Chmury i pogoda*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.

- Matzarakis A., 2001, *Assessing climate for tourism purposes: Existing methods and tools for the thermal complex*, [w:] A. Matzarakis, C.R. de Freitas (red.), *Proceedings of the 1st International Workshop on Climate, Tourism and Recreation*, International Society of Biometeorology, Commission on Climate, Tourism and Recreation, WP08, www.unifreiburg.de/isb.
- , 2006, *Weather and climate related information for tourism*, *Tourism and Hospitality Planning & Development*, 3, s. 99–115.
- Matzarakis A., Rutz F., Mayer H., 2007, *Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model*, *International Journal of Biometeorology*, 51, s. 323–334.
- Matzarakis A., Schneevoigt T., Matuschek O., Endler C., 2010, *Transfer of climate information for tourism and recreation – the CTIS software*, [w:] A. Matzarakis, H. Mayer, F.M. Chmielewski (red.), *Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology*, *Berichte der Meteorologische Institute Universität Freiburg*, 20, s. 392–397.
- Matzarakis A., Zygmuntowski M., Koch E., Rudel E., 2004, *Mapping the thermal bioclimate of Austria for recreation tourism*, [w:] A. Matzarakis, C.R. de Freitas, D. Scott (red.), *Advances in Tourism Climatology*, *Berichte der Meteorologische Institute Universität Freiburg*, 12, s. 10–18.
- Mączyński B., 1978, *Lecznictwo klimatyczne*, PZWL, Warszawa.
- McLean J.A., 1974, *Loss of heat by evaporation*, [w:] J.L. Monteith, L.E. Mount (red.), *Heat Loss from Animals and Man*, Butterworths, London, s. 19–32.
- Menz G., 1990, *Mikroskalige bioklimatologische Geländeaufnahme mit Satellitendaten*, [w:] H. Schirmer (red.), *Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen*, Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, 114, s. 70–80.
- Michajlik A., Ramotowski W., 1996, *Anatomia i fizjologia człowieka*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa.
- Mieczkowski Z., 1985, *The tourism climatic index: a method of evaluating world climates for tourism*, *The Canadian Geographer/Le Géographe canadien*, 29, 3, s. 220–233.
- Missenard F.A., 1933, *Température effective d'une atmosphère Généralisation température résultante d'un milieu*, [w:] *Encyclopédie Industrielle et Commerciale, Etude physiologique et technique de la ventilation*, Librairie de l'Enseignement Technique, Paris, s. 131–185.
- Mitchell D., 1977, *Physical basis of thermoregulation*, [w:] D. Robertshaw (red.), *Environmental Physiology II*, *International Review of Physiology*, 15, University Park Press, Baltimore, s. 1–21.
- Monteith J.L., 1974, *Specification of the environment for thermal physiology*, [w:] J.L. Monteith, L.E. Mount (red.), *Heat Loss from Animals and Man*, Butterworths, London, s. 1–18.

- Morgan D.L., Baskett R.L., 1974, *Comfort of man in the city, An energy balance model of man-environment coupling*, International Journal of Biometeorology, 18, s. 184-198.
- Morita T., Tokura H., 1998, *The influence of different wavelengths of light on human biological rhythms*, Applied Human Science, 17 (3), s. 91-96.
- Nadel E.R., 1985, *Recent advances in temperature regulation during exercise in humans*, Federation Proceedings, 44, 7, s. 2286-2292.
- Narębski J., 1980, *Termoregulacja*, [w:] W. Traczyk, A. Trzębski (red.), *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii klinicznej*, PZWL, Warszawa, s. 282-294.
- Nevraev G.A., Čubukov L.A. (red.), 1964, *Metodika izučenija i schema opisaniija klimata kurortov*, Ministerstvo Zdarovja, Moskva.
- Niedźwiedz T. (red.), 2003, *Słownik meteorologiczny*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Polskie Towarzystwo Geofizyczne, Warszawa.
- Nielsen B., 1996, *Olympics in Atlanta: a fight against physics*, Medicine and Science in Sport and Exercise, 28, 6, s. 665-668.
- Nielsen B., Kassow K., Aschengreen F.E., 1988, *Heat balance during exercise in the sun*, European Journal of Applied Physiology, 58, s. 189-196.
- Nielsen B., Nielsen S.L., Petersen F.B., 1972, *Thermoregulation during positive and negative work at different environmental temperatures*, Acta Physiologica Scandinavica, 85, 2, s. 249-257.
- Nishi Y., 1980, *Measurements of thermal balance of man*, [w:] K. Cena, J.A. Clark (red.), *Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort*, Wrocław Technical University Press-Elsevier, Wrocław-Amsterdam, s. 271-284.
- Nishimura K., Isoda N., Kobayashi Y., 1978, *Physiological and psychological responses*, International Journal of Biometeorology, 22, s. 329-330.
- Nurkowska J., 1997, *Słoneczne złego początki*, Wiedza i Życie, 8, s. 12-17.
- Paltridge G.W., Platt C.M.R., 1976, *Radiative Processes in Meteorology and Climatology. Development in Atmospheric Sciences*, 5, Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York.
- Parsons K.C., 1993, *Human Thermal Environments*, Taylor & Francis Publ., London.
- , 2003, *Human Thermal Environments: the Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance*, Taylor & Francis Publ., London-New York.
- Pickup J., de Dear R., 2000, *An Outdoor Thermal Comfort Index (OUT_SET*) - Part I - The Model and its Assumptions*, [w:] R. de Dear, J. Kalma, T. Oke, A. Auliciems (red.), *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium. Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99, Sydney, 8-12 Nov. 1999*, WMO, Geneva, WCASP-50, s. 279-283.
- Popoczko P., 1990, *Ciepło a życie. Zarys termofizjologii zwierząt*, PWN, Warszawa.
- Povolockaja N.P., 1975, *Ispolzovanije metoda teplovogo balansa v dozimetrii solnečnych i vozdušnych vann*, [w:] A. Novikov (red.), *Voprosy medicinskoj*

- klimatologii i klimatoterapii bolnych na kurortach*, Institut Kurortologii, Piatigorsk, s. 64–78.
- Przybysz R., 1994, *Próba określenia wpływu stanów pogody na samopoczucie ludzi chorych psychicznie w Zakopanem*, Zeszyty IGiPZ PAN, 24, Warszawa, s. 31–48.
- Psikuta A., Fiala D., Laschewski G., Jendritzky G., Richards M., Błażejczyk K., Mekjavic I., Rintamaki H., de Dear R., Hevenith G., 2011, *Evaluation of the Fiala multi-node thermophysiological model for UTCI application*, International Journal of Biometeorology, DOI 10.1007/s00484-011-0450-5.
- Reiter R. J., 1995, *Functional pleiotropy of the neurohormone melatonin: antioxidant protection and neuroendocrine regulation*, Frontiers in Neuroendocrinology, 16, s. 383–415.
- Raynaud J., Martineaud J.P., Bhatnagar O.P., Vieillefond H.V., Durand J., 1976, *Body temperature during rest and exercise in residents and sojourners in hot climate*, International Journal of Biometeorology, 20, 4, s. 309–317.
- Report of the Scientific Committee on Food on composition and specification of food to meet the expenditure of intense muscular effort, especially for sportsmen*, 2001, European Commission Health & Consumer Protection Directorate-General. Final (corrected) 28 February 2001, Brussels.
- Rewerski W., Kozłowski S., Korolkiewicz Z., Wróblewski T.E., 1972, *Termoregulacja: fizjologia, Patologia i farmakologia*, PZWL, Warszawa.
- Rowell L.B., Brengelmann G., Murray J.A., Kroning K.K., Kusumi F., 1969, *Human metabolic responses to hyperthermia during mild to maximal exercise*, Journal of Applied Physiology, 26, 4, s. 395–402.
- Rusanov V., 1989, *Appraisal of meteorological conditions defining human respiration*, Bulletin of Russian Academy of Medical Sciences, 1, s. 57–60.
- Schofield W.N., 1985, *Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous works*, Human Nutrition: Clinical Nutrition, 39 C, suppl. 1, s. 5–41.
- Scholander P.F., Hammel H.T., Lange Andersen K., Loyning Y., 1958, *Metabolic acclimation to cold in man*, Journal of Applied Physiology, 12, 1, s. 1–8.
- Silbernagl S., Despopoulos A., 1994, *Kieszonkowy atlas fizjologii*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa.
- Siple P.A., Passel C.F., 1945, *Measurements of dry atmospheric cooling in sub-freezing temperatures*, Proceedings American Philosophy Society, 89, s. 177–199.
- Skrzypski J., 1974, *Usłonecznienie i możliwości helioterapii w Krynicy*, Problemy Uzdrowiskowe, 9/10, s. 83–107.
- , 1978, *Bioklimat Krynicy w świetle krótkotrwałych zmian ciśnienia atmosferycznego i zawartości tlenu w powietrzu*, Problemy Uzdrowiskowe, 6, s. 57–146.
- , 1981, *Bilans cieplny ciała człowieka podczas kąpeli słonecznych*, Problemy Uzdrowiskowe, 9/12, s. 95–106.

- , 1989, *Zastosowanie analizy bilansu cieplnego ciała człowieka zmodyfikowaną metodą Fanger’a do oceny bioklimatu i termicznych warunków klimatoterapii*, Problemy Uzdrawiskowe, 7/8.
- Smolander J., 1987, *Circulatory and thermal adjustments to dynamic exercise in different combinations of ambient temperature, air humidity and clothing*, Publication University of Kuopio, Medicine, Original Reports, 1.
- Sorbjan Z., 2001, *Meteorologia dla każdego*, Prószyński i S-ka, Warszawa.
- Staiger H., Matzarakis A., 2010, *Estimating down- and up-welling thermal radiation for use in mean radiant temperature*, [w:] A. Matzarakis, H. Mayer, F.M. Chmielewski (red.), *Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology*, Berichte der Meteorologische Institute Universität Freiburg, 20, s. 213–218.
- Steadman R.G., 1979, *The assessment of sultriness*, Journal of Applied Meteorology, 18, 7, s. 861–885.
- , 1984, *An universal scale of apparent temperature*, Journal of Applied Meteorology, 23, 12, s. 1674–1687.
- Stetson J.B. (red.), 1967, *Metabolism*, Little, Brown and Co., Boston.
- Stoker J.B., Kappagoda C.T., Thenabadu P.N, Linden R.J., 1973, *A simple method for measurement of oxygen consumption*, Journal of Applied Physiology, 35, 5, s. 748–750.
- Strydom N.B., Wyndham C.H., Williams C.G., Morrison J.F., Bredell G.A., Benade A.J., Rahden M. von, 1966, *Acclimatization to humid heat and role of physical conditioning*, Journal of Applied Physiology, 21, 2, s. 636–642.
- Sulman F.G., 1982, *Short and Long-term Changes in Climate I*, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Sylwanowicz W., Michajlik A., Ramotowski W., 1989, *Anatomia i fizjologia człowieka*, PZWL, Warszawa.
- Taesler R., 1987, *Climate characteristics and human health*, [w:] *Proceedings of the WMO, WHO, UNEO-Symposium on Climate and Human Health in Leningrad 1986*, WMO-WCP, Geneva, 2, s. 81–120.
- Tanabe S.I., Kobayashi K., Nakano J., Ozeki Y., Konishi M., 2002, *Evaluation of thermal comfort using combined multi-node thermoregulation (65MN) and radiation models and computational fluid dynamics (CFD)*, Energy and Buildings, 34, s. 637–646.
- Terjung W.H., 1966, *Physiological climates of the conterminous United States: A bioclimate classification based on man*, Annales Association of American Geographers, 56, 1, s. 141–179.
- , 1969, *The city-man system in urban energy balance climatology*, Proceedings Association of American Geographers, 1, s. 145–148.
- , 1970, *Urban energy balance climatology: A preliminary investigations of the city-man system in downtown Los Angeles*, Geographical Review, 60, s. 44–53.
- , 1974, *Energy balance between atmosphere and living organisms*, [w:] S.W. Tromp (red.), *Progress in Biometeorology*, 1, 1, Swets & Zeitlinger, Amsterdam, s. 55–58.

- Terjung W.H., Louie S.S.F., 1971, *Potential solar radiation climates of man*, *Annales Association of American Geographers*, 61, 3, s. 481–500.
- Terjung W.H., O'Rourke P.A., 1983, *Energy budget changes caused by varying solar angles, cloud scenarios, and air temperatures in contrasting landscapes*, *International Journal of Biometeorology*, 27, 1, s. 3–16.
- Thorsson S, Lindberg F, Eliasson I, Holmer B., 2007, *Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting*, *International Journal of Climatology*, 27, s. 1983–1993.
- Tikuisis P., 2004, *Finger cooling during cold air exposure*, *Bulletin American Meteorological Society*, 85, 5, s. 717–723.
- Tikuisis P., Osceviski R.J., 2002, *Dynamic model of facial cooling*, *Journal of Applied Meteorology*, 41, s. 1241–1246.
- Tuller S.E., 1975, *The energy budget of man: variations with aspect in a downtown urban environment*, *International Journal of Biometeorology*, 19, 1, s. 2–13.
- Tyczka S., 1969, *Zmiany jonizacji powietrza atmosferycznego w zależności od czynników kosmometeorologicznych i higienicznych*, Uniwersytet Łódzki, Łódź.
- , 1975, *Warunki bioklimatyczne i higieniczne w uzdrowiskach i regionach uzdrowiskowo-wypoczynkowych*, *Problemy Uzdrowiskowe*, 3, s. 109–132.
- , 1980, *Znaczenie czynników klimatycznych w profilaktyce zdrowotnej*, *Problemy Uzdrowiskowe*, 4, s. 49–46.
- Ueno-Towatari T., Norimatsu K., Błażejczyk K., Tokura H., Morita T., 2007, *Seasonal variations of melatonin secretion in young females under natural and artificial light conditions in Fukuoka, Japan*, *Journal of Physiological Anthropology*, 26, 2, s. 209–215.
- Underwood C.R., Ward E.J., 1966, *The solar radiation area of man*, *Ergonomics*, 9, 2, s. 155–168.
- VDI Guideline 3787, 2008, Part 2: *Environmental Meteorology: Methods for the Human Biometeorological Evaluation of Climate and air Quality for Urban and Regional Planning at Regional Level*. Part I: *Climate*, VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, 1 B, Umweltmeteorologie, Beuth Verlag, Berlin.
- VDI 3789, 1994, *Environmental Meteorology. Interactions between Atmosphere and Surfaces, Calculation of Short-wave and Long-wave Radiation*. Part 2. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- Vitte N.K., Petryn N.M., 1952, *Izmenenije teploprodukciji čeloveka v različnyh uslovijah temperatury vozduha v pokoje i pri vypolnenii fizičeskoj raboty*, *Vračebne Delo*, 10, s. 913–916.
- Webb P., 1971, *Metabolic heat balance data for 24-hour period*, *International Journal of Biometeorology*, 15, 2-4, s. 151–155.
- Wenneberg L.A., Ekstrom N.A., Adler F.O., Malm G.E., Mikiver M., Olsson G.E., 1973, *Energy balance and change in body weight and body water in*

- man during a 2-day cold exposure, *Journal of Applied Physiology*, 35, 4, s. 477–479.
- WMO No 892, 1999, *Weather, Climate and Health*, World Meteorological Organization, Geneva.
- Wojtach B., 2003, *Le milieu «oxygeno-thermique» comme l'instrument d'évaluation de variabilité du temps*, [w:] K. Błażejczyk, A.B. Adamczyk (red.), *Climat→Homme→Climat*, Dokumentacja Geograficzna, 29, s. 363–366.
- Wolska H., 2006, *Fototerapia (UV) w dermatologii*, Czelej, Lublin.
- Woś A., 1996, *Meteorologia dla geografów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- , 1999, *Klimat Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- , 2002/2003, *Występowanie w ciągu roku na Nizinie Szczecińskiej i Pojezierzu Suwalskim warunków pogodowych sprzyjających wybranym formom czynnej rekreacji*, *Rocznik Naukowy*, Poznań, 5, s. 29–41.
- Wójtowicz W., 1966, *Zagadnienia metodyczne w badaniach meteoropatologicznych*, *Wiadomości Uzdrawiskowe*, 1/2, s. 33–36.
- Wyndham C.H., Strydom N.B., Benade A.J.S., van Rensburg J.A., 1973, *Limiting rates of work for acclimatization at high wet bulb temperatures*, *Journal of Applied Physiology*, 35, 4, s. 454–458.
- Yaglou C.P., Minard D., 1957, *Control of heat casualties at military training centers*, *AMA Archive of Industrial Health*, 16, s. 302–316.
- Yoshimura H., Morimoto T., 1974, *Seasonal variations of basal metabolism and body fluid*, [w:] S.W. Tromp (red.), *Progress in Biometeorology*, 1, Swets & Zeitlinger, Amsterdam, s. 549–556.
- Young K.C., 1979, *The influence of environmental parameters on heat stress during exercise*, *Journal of Applied Meteorology*, 18, 7, s. 886–897.
- <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/history.html> – National Aeronautic and Space Administration, (19.08.2011)
- http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress/ – Australian Government, Bureau of Meteorology (22.09.2011)
- <http://www.bom.gov.au/info/wbgt/wbgtrecs.shtml> – Australian Government, Bureau of Meteorology (22.09.2011)
- <http://www.epa.gov/sunwise/uviscale.html> – US Environmental Protection Agency (22.09.2011)
- <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/> – Environment Canada (22.09.2011)
(<http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=En&n=5FBF816A-1#table1>,
- <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=En&n=86C0425B-1#h2>)

http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_iii_4.html – United States Department of Labour, Occupational Safety & Health Administration (22.09.2011)

<http://www.weatheronline.co.uk/cgi-app> -WeatherOnline Ltd. – Meteorological Services (22.09.2011)

<http://www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/BioKlima.htm> – Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN (22.09.2011)

http://www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/home_pl.htm – Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN (22.09.2011)

ZAŁĄCZNIKI

ANNEXES

A. Szczegółowe równania modelu wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem MENEX_2005

Detail equations of Man-ENvironment heat EXchange model MENEX_2005

1. Wprowadzenie

Model wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem (*Man-ENvironment heat EXchange model*) **MENEX_2005** może być stosowany w różnych aplikacjach bioklimatycznych (m.in. rekreacji, turystyce, klimatoterapii, profilaktyce zdrowia, klimatologii miejskiej), termofizjologicznych (np. warunki pracy, fizjologia sportu), a także planowaniu przestrzennym krajobrazu oraz obszarów mieszkalnych i rekreacyjnych.

Podstawy modelu MENEX powstały w 1994 r. (Błażejczyk 1994a, b). W roku 1998 wprowadzono do niego nowy model pochłoniętego promieniowania słonecznego (Błażejczyk 1998). W kolejnych latach zmodyfikowano sposób obliczania strumieni strat ciepła na parowanie i oddychanie oraz obliczanie średniej temperatury promieniowania (Błażejczyk 1999, 2004b, 2005, 2007). Jednocześnie w kolejnych wersjach modelu wprowadzano różne wyjściowe wskaźniki biotermiczne.

2. Podstawy modelu

Ogólne równanie wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem ma następującą postać:

$$M + Q + C + E + Res = S$$

[A.1]

gdzie:

- M – metaboliczna produkcja ciepła (łącznie BMR i metabolizm związany z aktywnością fizyczną),
- Q – bilans radiacyjny ciała człowieka,
- C – wymiana ciepła przez unoszenie (konwekcję),
- E – straty ciepła na parowanie (ewaporację),
- Res – straty ciepła na oddychanie (respirację),
- S – saldo wymiany ciepła (zmiany zawartości ciepła w organizmie)

Wszystkie strumienie ciepła są wyrażone w $W\ m^{-2}$. Model nie uwzględnia strat ciepła na przewodzenie (kondukcję) z uwagi na bardzo małe wartości tego strumienia ciepła obserwowane w przypadku człowieka stojącego.

3. Dane wejściowe

3.1. Meteorologiczne:

- temperatura powietrza (t , °C),
- prędkość wiatru (v , $m\cdot s^{-1}$),
- ciśnienie pary wodnej (vp , hPa),
- wilgotność względna powietrza (RH , %),
- ciśnienie atmosferyczne (ap , hPa),
- temperatura podłoża (Tg , °C),
- promieniowanie słoneczne: bezpośrednie ($Kdir$), rozproszone ($Kdif$) odbite od podłoża ($Kref$, $W\cdot m^{-2}$),
- zachmurzenie ogólne nieba (N , %),
- wysokość Słońca (h , °),
- widzialność pozioma (vis , m)
- średnia temperatura promieniowania (opcjonalnie) (Mrt , °C).

3.2. Fizjologiczne:

- średnia temperatura skóry (Tsk , °C),
- uwilgotnienie skóry (w , bez wymiaru),
- metaboliczna produkcja ciepła (M , $W\cdot m^{-2}$),
- izolacyjność termiczna odzieży (Icl , clo),
- albedo odzieży i powierzchni ciała (ac , %),
- prędkość poruszania się człowieka (v' , $m\cdot s^{-1}$).

Niektóre parametry fizjologiczne (Tsk , Icl , w) są obliczane za pomocą wzorów empirycznych, a dla niektórych w standardowych badaniach przyjmuje się wartości domyślne (M , ac , v').

4. Obliczenia

Model MENEX_2005 rozwiązuje równanie bilansu cieplnego człowieka w dwóch etapach. W pierwszym obliczane są podstawowe wartości składników bilansu cieplnego, kształtujące się bezpośrednio po zetknięciu się z nowymi warunkami otoczenia. Wtedy to sygnały z termoreceptorów skórnych uaktywniają fizjologiczne reakcje organizmu, mające prowadzić do zachowania homotermii (por. rozdział 5.6).

W drugim etapie obliczeń MENEX_2005 rozwiązuje równanie bilansu cieplnego biorąc pod uwagę konsekwencje procesów adaptacyjnych organizmu. Trwają one od 15 do 20 minut od momentu zetknięcia z danymi warunkami otoczenia. W warunkach gorąca, intensywne parowanie potu, dzięki któremu odprowadzany jest do otoczenia nadmiar ciepła z organizmu, doprowadza także do obniżenia temperatury skóry do nowego, wynikowego poziomu (T_{skr}). W takiej sytuacji sygnały informujące centrum termoregulacji w podwzgórze o nadal wysokiej temperaturze otoczenia pochodzą nie z termoreceptorów skórnych, lecz z termoreceptorów rozmieszczonych wzdłuż rdzenia kręgowego. Wyniki badań P.O. Fanger (1970) mówią, że ochładzanie skóry odbywa się w tempie $0,066^{\circ}\text{C}$ na każdy 1 J ciepła traconego z 1 m^{-2} powierzchni ciała. Natomiast w warunkach zimnych i termoneutralnych procesy adaptacyjne nie prowadzą do istotnych zmian temperatury skóry i jej wartość wynikowa (T_{skr}) jest taka sama jak wartość podstawowa (T_{sk}). Obliczając wynikowy poziom salda wymiany ciepła (S_r) po 20 minutach adaptacji uwzględnia się wartość T_{skr} , a jednocześnie natężenie bodźców termicznych otoczenia jest określone nie temperaturą powietrza, a wartością średniej temperatury skóry ukształtowanej w czasie adaptacji bezpośrednio w otoczeniu skóry ($iMrt$), pod warstwą odzieży.

4.1. Podstawowe wartości składników bilansu cieplnego

4.1.1. Metaboliczna produkcja ciepła (M , w $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)

może być określona indywidualnie (na podstawie wzorów Schefielda, tab. 5.1) lub zgodnie z normą ISO 8996 (tab. 5.2). Międzynarodowe Towarzystwo Biometeorologii (ISB) zaleca stosowanie wartości M równej $135\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, która odpowiada produkcji ciepła podczas marszu, w terenie płaskim, z prędkością 4 km na godzinę ($1,1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) (Błażejczyk, Broede i inni 2010).

4.1.2. Bilans radiacyjny (Q , w $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)

jest sumą pochłoniętego promieniowania słonecznego (krótkofalowego – R) oraz bilansu promieniowania w zakresie długofalowym (promieniowania cieplnego – L):

$$Q = R + L$$

[A.2]

4.1.2.1. Bilans promieniowania w zakresie długofalowym (L , w $W \cdot m^{-2}$)

jest saldem promieniowania emitowanego przez powierzchnię ciała (L_s) oraz promieniowania ciepłego emitowanego przez podłoże (L_g) i promieniowania zwrotnego atmosfery (L_a):

$$L = (0,5 \cdot L_g + 0,5 \cdot L_a - L_s) \cdot I_{rc} \quad [A.3]$$

gdzie:

$$L_g = 5,5 \cdot 10^{-8} \cdot (273 + T_g)^4, \quad [A.4]$$

$$L_a = 5,5 \cdot 10^{-8} \cdot (273 + t)^4 \cdot (0,82 - 0,25 \cdot 10^{(-0,094 \cdot vp)}), \quad [A.5]$$

$$L_s = 5,38 \cdot 10^{-8} \cdot (273 + T_{sk})^4, \quad [A.6]$$

W przypadku, gdy nie dysponujemy wynikami pomiarów temperatury powierzchni gruntu wartość T_g można oszacować następująco:

– (dla zachmurzenia $N \geq 80\%$)

$$T_g = t \quad [A.7]$$

– (dla $N < 80\%$ i $t \geq 0^\circ C$)

$$T_g = 1,25 \cdot t \quad [A.8]$$

– (dla $N < 80\%$ i $t < 0^\circ C$)

$$T_g = 0,9 \cdot t \quad [A.9]$$

Wartość T_{sk} można oszacować z błędem nie większym od 15% na podstawie danych meteorologicznych korzystając z poniższego wzoru:

$$T_{sk} = (26,4 + 0,0214 \cdot Mrt + 0,2095 \cdot t - 0,018 \cdot RH - 0,01 \cdot v) + 0,6 \cdot (Icl - 1) + 0,00128 \cdot M \quad [A.10]$$

gdzie:

$$Mrt = [(R / I_{rc} + 0,5 \cdot L_g + 0,5 \cdot L_a) / (s_h \cdot \sigma)]^{0,25} - 273 \quad [A.11]$$

$$I_{rc} = hc' / (hc' + hc + 21,55 \cdot 10^{-8} \cdot T^3) \quad [A.12]$$

$$hc = (0,013 \cdot p - 0,04 \cdot t - 0,503) \cdot (v + v')^{0,4} \quad [A.13]$$

$$hc' = (0,013 \cdot p - 0,04 \cdot t - 0,503) \cdot 0,53 / \{Icl \cdot [1 - 0,27 \cdot (v + v')^{0,4}]\} \quad [A.14]$$

$$Icl = 1,691 - 0,0436 \cdot t \quad [A.15]$$

(przy $t < -30^\circ C$ $Icl = 3,0$ clo, a przy $t > 25^\circ C$ $Icl = 0,6$ clo).

4.1.2.2. Pochłonięte promieniowanie słoneczne (R , w $W \cdot m^{-2}$)

zależnie od rodzaju danych wejściowych – może być obliczone za pomocą jednego z modeli: SolMrt, SolDir, SolGlob, SolAlt, SolVis.

Służby meteorologiczne niektórych państw (np. Niemiec) dostarczają informacji na temat tzw. średniej temperatury promieniowania (Mrt). Wielkość ta reprezentuje temperaturę cienkiej warstwy powietrza otaczającej powierzchnię ciała człowieka, kształtującą się pod wpływem temperatury powietrza i dopływającego promieniowania słonecznego. Mając informacje o wartości Mrt używamy modelu **SolMrt**:

$$R = [5,38 \cdot 10^{-8} \cdot (273 + Mrt)^4] - [5,38 \cdot 10^{-8} \cdot (273 + t)^4] \cdot Irc \quad [A.16]$$

Dysponując danymi na temat natężenia poszczególnych strumieni promieniowania słonecznego (bezpośredniego $Kdir$, rozproszonego $Kdif$ i odbitego od podłoża $Kref$) można zastosować model **SolDir** (Błażejczyk 1998a, 2004b). W zależności od wysokości Słońca nad horyzontem (h) używamy jednego z dwóch wzorów:

$$\begin{aligned} & - h \leq 5^\circ \\ & R = [1,4 \cdot Kdir \cdot e^{(-0,51 + 0,368 \cdot h)} + (Kdif + Kref) \cdot (0,0018 + 0,0462 \cdot \ln(h))] \cdot \\ & \quad \cdot (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Irc \end{aligned} \quad [A.17]$$

$$\begin{aligned} & - h > 5^\circ \\ & R = [Kdir \cdot (26,34/h - 0,329) + (Kdif + Kref) \cdot (0,0018 + 0,0462 \cdot \ln(h))] \cdot \\ & \quad \cdot (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Irc \end{aligned} \quad [A.18]$$

Najczęściej na stacjach meteorologicznych mierzy się natężenie całkowitego promieniowania słonecznego ($Kglob$). Dysponując informacjami o tym strumieniu promieniowania używamy modelu **SolGlob**. Wzory pozwalające na obliczenie wartości R mają różną postać, w zależności od wysokości Słońca i współczynnika zmian natężenia $Kglob$ (κ). Współczynnik κ jest stosunkiem aktualnej wartości $Kglob$ do teoretycznej wartości promieniowania całkowitego przy niebie bezchmurnym (Kt).

$$\begin{aligned} & - h \leq 12^\circ, \\ & R = (0,0014 \cdot Kglob^2 + 0,476 \cdot Kglob - 3,8) \cdot (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Irc \end{aligned} \quad [A.19]$$

$$\begin{aligned} & - h > 12^\circ \quad \text{i} \quad \kappa \leq 0,8 \\ & R = 0,2467 \cdot Kglob^{0,9763} \cdot (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Irc \end{aligned} \quad [A.20]$$

$$\begin{aligned} & - h > 12^\circ \quad \text{i} \quad \kappa = 0,8 - 1,05 \\ & R = 3,6922 \cdot Kglob^{0,5842} \cdot (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Irc \end{aligned} \quad [A.21]$$

$$\begin{aligned} & - h > 12^\circ \quad \text{i} \quad \kappa = 1,06 - 1,2 \\ & R = 43,426 \cdot Kglob^{0,2326} \cdot (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Irc \end{aligned} \quad [A.22]$$

$$- h > 12^\circ \text{ i } \kappa > 1,2$$

$$R = 8,9281 \cdot K_{glob}^{0,4861} \cdot (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Irc. \quad [A.23]$$

$$Kt = -0,0015 \cdot h^3 + 0,1796 \cdot h^2 + 9,6375 \cdot h - 11,9 \quad [A.24]$$

W sytuacji gdy nie dysponujemy żadnymi pomiarowymi danymi dotyczącymi natężenia promieniowania słonecznego, możemy oszacować wartość R (z błędem nie przekraczającym 20%) za pomocą modelu **SolAlt**. Szczegółowe wzory mają zróżnicowaną postać, zależnie od wysokości Słońca i wielkości zachmurzenia:

$$- h \leq 4^\circ$$

$$R = (1,642 + 0,254 \cdot h)^2 \cdot (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Irc \quad [A.25]$$

$$- h > 4^\circ \text{ oraz } N \leq 20\%$$

$$R = (103,573 \cdot \ln(h) - 140,6) \cdot (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Irc \quad [A.26]$$

$$- h > 4^\circ \text{ oraz } N = 21\% - 50\%$$

$$R = 1,4 \cdot e^{(5,383 - 16,072/h)} \cdot (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Irc \quad [A.27]$$

$$- h > 4^\circ \text{ oraz } N = 51\% - 80\%$$

$$R = 1,4 \cdot e^{(5,012 - 11,805/h)} \cdot (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Irc \quad [A.28]$$

$$- h > 4^\circ \text{ oraz } N > 80\% \text{ oraz dla } h > 4^\circ \text{ i miejsc zacięionych}$$

$$R = 0,9506 \cdot h^{1,039} \cdot (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Irc. \quad [A.29]$$

W niektórych bazach danych meteorologicznych warunki insolacyjne są scharakteryzowane za pomocą widzialności poziomej (vis). Na podstawie powyższych danych pochłonięte promieniowanie słoneczne może zostać oszacowane przez model **SolVis**.

$$- vis < 5 \text{ km}$$

$$R = (0,815 \cdot h + 16,504) \cdot (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Irc \quad [A.30]$$

$$- vis: 5-20 \text{ km}$$

$$R = (23,216 \cdot e^{(0,0268 \cdot h)}) \cdot (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Irc \quad [A.31]$$

$$- vis: 21-30 \text{ km}$$

$$R = (45,368 \cdot e^{(0,0144 \cdot h)}) \cdot (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Irc \quad [A.32]$$

$$- vis > 30 \text{ km}$$

$$R = (22,626 \cdot e^{(0,02674 \cdot h)}) \cdot (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Irc \quad [A.33]$$

4.1.3. Ewaporacyjne straty ciepła (E , w $W \cdot m^{-2}$)

zależą przede wszystkim od różnicy ciśnienia pary wodnej na powierzchni skóry oraz w otaczającym powietrzu. Uwzględniane są także inne parametry środowiskowe i fizjologiczne (stopień uwilgotnienia skóry, płeć, wzrost ewaporacji w wyniku aktywności fizycznej):

$$E = \{he \cdot (vp - vps) \cdot w \cdot Ie - [0,42 \cdot (M - 58) - 5,04]\} \cdot sex \quad [A.34]$$

gdzie:

$$vps = e^{(0,058 \cdot Tsk + 2,003)} \quad [A.35]$$

$$w = 1,031 / (37,5 - Tsk) - 0,065 \quad [A.36]$$

$$he = [t \cdot (0,00006 \cdot t - 0,00002 \cdot ap + 0,011) + 0,02 \cdot ap - 0,773] \cdot 0,53 / \{Icl \cdot [1 - 0,27 \cdot (v + v')^{0,4}]\} \quad [A.37]$$

$$Ie = hc' / (hc' + hc) \quad [A.38]$$

$sex = 1$ dla mężczyzn i $0,8$ dla kobiet

4.1.4. Konwekcyjna wymiana ciepła (C , w $W \cdot m^{-2}$)

zależy od różnicy temperatury pomiędzy skórą a powietrzem, od prędkości ruchu powietrza oraz od jego gęstości i pojemności cieplnej:

$$C = hc \cdot (t - Tsk) \cdot Irc \quad [A.38]$$

4.1.5. Respiracyjne straty ciepła (Res , w $W \cdot m^{-2}$)

związane są z oddawaniem ciepła do otoczenia poprzez oddychanie na drodze konwekcji i ewaporacji. Wartość Res zależy zatem od różnicy pomiędzy temperaturą atmosfery a temperatury powietrza wydychanego (przyjmowaną jako $35^\circ C$) oraz od różnicy pomiędzy ciśnieniem pary wodnej w atmosferze a ciśnieniem pary wodnej w powietrzu wydychanym (przyjmowanym jako $56,2$ hPa):

$$Res = 0,0014 \cdot M \cdot (t - 35) + 0,0173 \cdot M \cdot (0,1 \cdot vp - 5,624) \quad [A.39]$$

4.2. Wynikowe wartości składników bilansu cieplnego człowieka

Do obliczenia wynikowych wartości poszczególnych składników bilansu cieplnego człowieka przyjmuje się wartości M , R i Res wyznaczone w pierwszym etapie obliczeń. Pozostałe składniki liczone są następująco:

$$Sr = M + Qr + Er + Cr + Res \quad [A.40]$$

gdzie:

$$Tskr = Tsk + dTsk, \quad [A.41]$$

$$dTsk = (E + 50) \cdot 0,066 \quad (\text{dla } E < -50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad [A.42]$$

$$\text{lub } dTsk = 0 \quad (\text{dla } E \geq -50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad [A.43]$$

gdy $Tskr < 22^\circ \text{C}$, należy przyjąć $Tskr = 22^\circ \text{C}$

$$Cr = hc \cdot (iMrt - TskR) \cdot Irc \quad [A.44]$$

$$iMrt = \{ [R + (0,5 \cdot La + 0,5 \cdot Lg) \cdot Irc + 0,5 \cdot Ls] / (s_h \cdot \sigma) \}^{0,25} - 273 \quad [A.45]$$

$$Er = he \cdot \text{SQRT}(v + v') \cdot (iwp - vpsr) \cdot wr \cdot Ie - [0,42 \cdot (M - 58) - 5,04] \quad [A.46]$$

$$iwp = 6,12 \cdot 10^{[7,5 \cdot iMrt / (237,7 + iMrt)]} \cdot 0,01 \cdot RH \quad [A.47]$$

$$vpsr = e^{(0,058 \cdot Tskr + 2,003)} \quad [A.48]$$

$$wr = 1,031 / (37,5 - Tskr) - 0,065, \quad [A.49]$$

(przy $Tskr > 36,5^\circ \text{C}$ $wr = 1,0$, a przy $Tskr < 22^\circ \text{C}$ $wr = 0,001$)

$$Qr = R + Lr \quad [A.50]$$

$$Lr = (0,5 \cdot Lg + 0,5 \cdot La - Lsr) \cdot Irc \quad [A.51]$$

$$Lsr = s_h \cdot \sigma \cdot (273 + Tskr)^4 \quad [A.52]$$

4.3. Uproszczone formuły wyznaczania niektórych składników bilansu ciepłego i wskaźników biometeorologicznych

Konwekcyjne straty ciepła można oszacować z błędem około 10% za pomocą wzoru:

$$C^* = -138,04 + 0,051 \cdot N + 4,738 \cdot t - 18,265 \cdot v \quad [A.53]$$

Wymianę ciepła drogą promieniowania długofalowego można oszacować z błędem około 10% za pomocą wzoru:

$$L^* = -47,78 + 0,0465 \cdot N + 0,916 \cdot t + 0,6054 \cdot v \quad [A.54]$$

Ewaporacyjne straty ciepła można oszacować z błędem około 20% za pomocą wzoru:

$$E^* = 1/(-0,02742 + 0,000708 \cdot t) \quad [A.55]$$

Respiracyjne straty ciepła można oszacować z błędem około 10% za pomocą wzoru:

$$Res^* = -18,485 + 0,292 \cdot t \quad [A.56]$$

Wielkość stresu termofizjologicznego PhS^* można oszacować z błędem około 10% za pomocą wzoru:

$$PhS^* = (2,12513 - 0,058018 \cdot t)^2 \quad [A.57]$$

Wartość wskaźnika HSI^* można oszacować z błędem około 15% za pomocą wzoru:

$$HSI^* = 18,6058 - 24,7164 \cdot \ln(PhS^*) \quad [A.58]$$

B. Wskaźniki oceny pogody (WSI) dla różnych form aktywności człowieka

Weather Suitability Indices (WSI) for various forms of human's activity

Formy aktywności człowieka *Forms of activity in humans:*

SB – kąpiele słoneczne *sun baths,*

AB – kąpiele powietrzne *air baths,*

MR – łagodne formy aktywnej rekreacji, lekka praca fizyczna, spacer
mild recreation, light work, slow walking,

AR – intensywne formy aktywnej rekreacji, gry sportowe, intensywna praca
fizyczna *intensive recreation, sport, running, heavy work,*

ST – turystyka narciarska *ski tourism.*

WSI Ocena pogody *Weather assessment*

3 – korzystna *suitable,*

1 – korzystna z ograniczeniami *suitable with limitations,*

0 – niekorzystna *unsuitable.*

Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms				
typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST
-3	1C0	000	0	0	0	0	0	-2	1C0	000	0	0	1	3	0	-2	1T0	000	0	0	1	3	0
-3	1C0	001	0	0	0	0	0	-2	1C0	001	0	0	1	3	1	-2	1T0	001	0	0	1	3	3
-3	1C0	010	0	0	0	0	0	-2	1C0	010	0	0	0	1	0	-2	1T0	010	0	0	0	1	0
-3	1C0	011	0	0	0	0	0	-2	1C0	011	0	0	0	1	1	-2	1T0	011	0	0	0	1	1
-3	1C0	100	0	0	0	0	0	-2	1C0	100	0	0	1	3	0	-2	1T0	100	0	0	1	3	0
-3	1C0	101	0	0	0	0	0	-2	1C0	101	0	0	1	3	1	-2	1T0	101	0	0	1	3	3
-3	1C0	110	0	0	0	0	0	-2	1C0	110	0	0	1	1	0	-2	1T0	110	0	0	1	1	0
-3	1C0	111	0	0	0	0	0	-2	1C0	111	0	0	0	1	1	-2	1T0	111	0	0	0	1	1
-3	2C0	000	0	0	0	0	0	-2	2C0	000	0	0	1	3	0	-2	2T0	000	0	1	1	3	0
-3	2C0	001	0	0	0	0	0	-2	2C0	001	0	0	1	3	3	-2	2T0	001	0	1	1	3	3
-3	2C0	010	0	0	0	0	0	-2	2C0	010	0	0	1	1	0	-2	2T0	010	0	1	1	1	0
-3	2C0	011	0	0	0	0	0	-2	2C0	011	0	0	1	1	1	-2	2T0	011	0	1	1	1	1
-3	2C0	100	0	0	0	0	0	-2	2C0	100	0	0	1	3	0	-2	2T0	100	0	1	1	3	0
-3	2C0	101	0	0	0	0	0	-2	2C0	101	0	0	1	3	3	-2	2T0	101	0	1	1	3	3
-3	2C0	110	0	0	0	0	0	-2	2C0	110	0	0	1	1	0	-2	2T0	110	0	1	1	1	0
-3	2C0	111	0	0	0	0	0	-2	2C0	111	0	0	1	1	1	-2	2T0	111	0	1	1	1	1
-3	3C0	000	0	0	0	1	0	-2	3C0	000	0	0	1	3	0	-2	3T0	000	1	1	3	3	0
-3	3C0	001	0	0	0	1	1	-2	3C0	001	0	0	1	3	3	-2	3T0	001	1	1	3	3	3
-3	3C0	010	0	0	0	1	0	-2	3C0	010	0	0	1	1	0	-2	3T0	010	1	1	1	1	0
-3	3C0	011	0	0	0	1	1	-2	3C0	011	0	0	1	1	1	-2	3T0	011	1	1	1	1	1
-3	3C0	100	0	0	0	1	0	-2	3C0	100	0	0	1	3	0	-2	3T0	100	1	1	3	3	0
-3	3C0	101	0	0	0	1	1	-2	3C0	101	0	0	1	3	3	-2	3T0	101	1	1	3	3	3
-3	3C0	110	0	0	0	1	0	-2	3C0	110	0	0	1	1	0	-2	3T0	110	1	1	1	1	0
-3	3C0	111	0	0	0	1	1	-2	3C0	111	0	0	1	1	1	-2	3T0	111	1	1	1	1	1

Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms				
typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST
-1	1C0	000	0	0	1	3	0	-1	1H0	000	0	1	1	3	0	-1	1T0	000	0	3	3	3	0
-1	1C0	001	0	0	1	3	3	-1	1H0	001	0	1	1	3	3	-1	1T0	001	0	3	3	3	3
-1	1C0	010	0	0	1	1	0	-1	1H0	010	0	0	1	1	0	-1	1T0	010	0	1	1	1	0
-1	1C0	011	0	0	1	1	1	-1	1H0	011	0	0	1	1	1	-1	1T0	011	0	1	1	1	1
-1	1C0	100	0	0	1	3	0	-1	1H0	100	0	0	1	3	0	-1	1T0	100	0	1	3	3	0
-1	1C0	101	0	0	1	3	3	-1	1H0	101	0	0	1	3	3	-1	1T0	101	0	1	3	3	3
-1	1C0	110	0	0	1	1	0	-1	1H0	110	0	0	1	1	0	-1	1T0	110	0	0	1	1	0
-1	1C0	111	0	0	1	1	1	-1	1H0	111	0	0	1	1	1	-1	1T0	111	0	0	1	1	1
-1	2C0	000	0	1	3	3	0	-1	2H0	000	0	1	3	3	0	-1	2T0	000	0	3	3	3	0
-1	2C0	001	0	1	3	3	3	-1	2H0	001	0	1	3	3	3	-1	2T0	001	0	3	3	3	3
-1	2C0	010	0	0	1	1	0	-1	2H0	010	0	0	1	1	0	-1	2T0	010	0	1	1	1	0
-1	2C0	011	0	0	1	1	1	-1	2H0	011	0	0	1	1	1	-1	2T0	011	0	1	1	1	1
-1	2C0	100	0	1	3	3	0	-1	2H0	100	0	1	3	3	0	-1	2T0	100	0	1	3	3	0
-1	2C0	101	0	1	3	3	3	-1	2H0	101	0	1	3	3	3	-1	2T0	101	0	1	3	3	3
-1	2C0	110	0	1	1	1	0	-1	2H0	110	0	0	1	1	0	-1	2T0	110	0	0	1	1	0
-1	2C0	111	0	0	1	1	1	-1	2H0	111	0	0	1	1	1	-1	2T0	111	0	0	1	1	1
-1	3C0	000	0	1	3	3	0	-1	3H0	000	1	3	3	3	0	-1	3T0	000	1	3	3	3	0
-1	3C0	001	0	1	3	3	3	-1	3H0	001	1	3	3	3	3	-1	3T0	001	1	3	3	3	3
-1	3C0	010	0	1	1	1	0	-1	3H0	010	0	1	1	1	0	-1	3T0	010	0	1	1	1	0
-1	3C0	011	0	1	1	1	1	-1	3H0	011	0	1	1	1	1	-1	3T0	011	0	1	1	1	1
-1	3C0	100	0	1	3	3	0	-1	3H0	100	0	1	3	3	0	-1	3T0	100	0	1	3	3	0
-1	3C0	101	0	1	3	3	3	-1	3H0	101	0	1	3	3	3	-1	3T0	101	0	1	3	3	3
-1	3C0	110	0	1	1	1	0	-1	3H0	110	0	1	1	1	0	-1	3T0	110	0	1	1	1	0
-1	3C0	111	0	1	1	1	1	-1	3H0	111	0	1	1	1	1	-1	3T0	111	0	1	1	1	1

Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms				
typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST
-1	1C1	000	0	0	1	1	0	-1	1H1	000	0	0	1	1	0	-1	1T1	000	0	0	3	1	0
-1	1C1	001	0	0	1	1	1	-1	1H1	001	0	0	1	1	1	-1	1T1	001	0	0	3	1	1
-1	1C1	010	0	0	1	1	0	-1	1H1	010	0	0	1	1	0	-1	1T1	010	0	0	1	1	0
-1	1C1	011	0	0	1	1	1	-1	1H1	011	0	0	1	1	1	-1	1T1	011	0	0	1	1	1
-1	1C1	100	0	0	1	1	0	-1	1H1	100	0	0	1	1	0	-1	1T1	100	0	0	3	1	0
-1	1C1	101	0	0	1	1	1	-1	1H1	101	0	0	1	1	1	-1	1T1	101	0	0	3	1	1
-1	1C1	110	0	0	1	1	0	-1	1H1	110	0	0	1	1	0	-1	1T1	110	0	0	1	1	0
-1	1C1	111	0	0	1	1	1	-1	1H1	111	0	0	1	1	1	-1	1T1	111	0	0	1	1	1
-1	2C1	000	0	1	1	1	0	-1	2H1	000	0	1	1	1	0	-1	2T1	000	1	1	3	1	0
-1	2C1	001	0	1	1	1	1	-1	2H1	001	0	1	1	1	1	-1	2T1	001	1	1	3	1	1
-1	2C1	010	0	0	1	1	0	-1	2H1	010	0	0	1	1	0	-1	2T1	010	0	0	1	1	0
-1	2C1	011	0	0	1	1	1	-1	2H1	011	0	0	1	1	1	-1	2T1	011	0	0	1	1	1
-1	2C1	100	0	1	1	1	0	-1	2H1	100	0	1	1	1	0	-1	2T1	100	0	1	3	1	0
-1	2C1	101	0	1	1	1	1	-1	2H1	101	0	1	1	1	1	-1	2T1	101	0	1	3	1	1
-1	2C1	110	0	0	1	1	0	-1	2H1	110	0	0	1	1	0	-1	2T1	110	0	0	1	1	0
-1	2C1	111	0	0	1	1	1	-1	2H1	111	0	0	1	1	1	-1	2T1	111	0	0	1	1	1
-1	3C1	000	0	1	1	1	0	-1	3H1	000	1	1	1	1	0	-1	3T1	000	1	3	3	1	0
-1	3C1	001	0	1	1	1	1	-1	3H1	001	1	1	1	1	1	-1	3T1	001	1	3	3	1	1
-1	3C1	010	0	1	1	1	0	-1	3H1	010	0	1	1	1	0	-1	3T1	010	1	1	1	1	0
-1	3C1	011	0	1	1	1	1	-1	3H1	011	0	1	1	1	1	-1	3T1	011	1	1	1	1	1
-1	3C1	100	0	1	1	1	0	-1	3H1	100	0	1	1	1	0	-1	3T1	100	0	3	3	1	0
-1	3C1	101	0	1	1	1	1	-1	3H1	101	0	1	1	1	1	-1	3T1	101	0	3	3	1	1
-1	3C1	110	0	1	1	1	0	-1	3H1	110	0	1	1	1	0	-1	3T1	110	0	1	1	1	0
-1	3C1	111	0	1	1	1	1	-1	3H1	111	0	1	1	1	1	-1	3T1	111	0	1	1	1	1

Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms				
typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST
0	1C0	000	1	1	3	3	0	0	1H0	000	1	3	3	1	0	0	1T0	000	1	3	3	3	0
0	1C0	001	1	1	3	3	3	0	1H0	001	1	3	3	1	3	0	1T0	001	1	3	3	3	3
0	1C0	010	0	0	1	1	0	0	1H0	010	0	1	1	1	0	0	1T0	010	0	1	1	1	0
0	1C0	011	0	0	1	1	1	0	1H0	011	0	1	1	1	1	0	1T0	011	0	1	1	1	1
0	1C0	100	1	1	1	3	0	0	1H0	100	1	1	1	1	0	0	1T0	100	1	3	3	3	0
0	1C0	101	1	1	1	3	3	0	1H0	101	1	1	1	1	3	0	1T0	101	1	3	3	3	3
0	1C0	110	0	0	1	1	0	0	1H0	110	0	1	1	1	0	0	1T0	110	0	1	1	1	0
0	1C0	111	0	0	1	1	1	0	1H0	111	0	1	1	1	1	0	1T0	111	0	1	1	1	1
0	2C0	000	3	3	3	3	0	0	2H0	000	3	3	3	1	0	0	2T0	000	3	3	3	3	0
0	2C0	001	3	3	3	3	3	0	2H0	001	3	3	3	1	3	0	2T0	001	3	3	3	3	3
0	2C0	010	1	1	1	1	0	0	2H0	010	1	1	1	1	0	0	2T0	010	1	1	1	1	0
0	2C0	011	1	1	1	1	1	0	2H0	011	1	1	1	1	1	0	2T0	011	1	1	1	1	1
0	2C0	100	3	3	3	3	0	0	2H0	100	1	1	3	1	0	0	2T0	100	3	3	3	3	0
0	2C0	101	3	3	3	3	3	0	2H0	101	1	1	3	1	3	0	2T0	101	3	3	3	3	3
0	2C0	110	1	1	1	1	0	0	2H0	110	1	1	1	1	0	0	2T0	110	1	1	1	1	0
0	2C0	111	1	1	1	1	1	0	2H0	111	1	1	1	1	1	0	2T0	111	1	1	1	1	1
0	3C0	000	3	3	3	3	0	0	3H0	000	3	3	3	1	0	0	3T0	000	3	3	3	3	0
0	3C0	001	3	3	3	3	3	0	3H0	001	3	3	3	1	3	0	3T0	001	3	3	3	3	3
0	3C0	010	1	1	1	1	0	0	3H0	010	1	1	1	1	0	0	3T0	010	1	1	1	1	0
0	3C0	011	1	1	1	1	1	0	3H0	011	1	1	1	1	1	0	3T0	011	1	1	1	1	1
0	3C0	100	3	1	3	3	0	0	3H0	100	3	1	3	1	0	0	3T0	100	3	3	3	3	0
0	3C0	101	3	1	3	3	3	0	3H0	101	3	1	3	1	3	0	3T0	101	3	3	3	3	3
0	3C0	110	1	1	1	1	0	0	3H0	110	1	1	1	1	0	0	3T0	110	1	1	1	1	0
0	3C0	111	1	1	1	1	1	0	3H0	111	1	1	1	1	1	0	3T0	111	1	1	1	1	1

Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms				
typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST
0	1C1	000	1	1	1	1	0	0	1H1	000	1	3	1	1	0	0	1T1	000	1	3	3	3	0
0	1C1	001	1	1	1	1	1	0	1H1	001	1	3	1	1	1	0	1T1	001	1	3	3	3	1
0	1C1	010	1	1	1	0	0	0	1H1	010	1	1	1	0	0	0	1T1	010	1	1	1	1	0
0	1C1	011	1	1	1	0	1	0	1H1	011	1	1	1	0	1	0	1T1	011	1	1	1	1	1
0	1C1	100	1	1	1	1	0	0	1H1	100	1	3	1	1	0	0	1T1	100	1	3	3	3	0
0	1C1	101	1	1	1	1	1	0	1H1	101	1	3	1	1	1	0	1T1	101	1	3	3	3	1
0	1C1	110	1	1	1	1	0	0	1H1	110	1	1	1	1	0	0	1T1	110	1	1	1	1	0
0	1C1	111	1	1	1	0	1	0	1H1	111	1	1	1	0	1	0	1T1	111	1	1	1	1	1
0	2C1	000	1	1	1	1	0	0	2H1	000	3	3	1	1	0	0	2T1	000	3	3	3	3	0
0	2C1	001	1	1	1	1	1	0	2H1	001	3	3	1	1	1	0	2T1	001	3	3	3	3	1
0	2C1	010	1	1	1	0	0	0	2H1	010	1	1	1	0	0	0	2T1	010	1	1	1	1	0
0	2C1	011	1	1	1	0	1	0	2H1	011	1	1	1	0	1	0	2T1	011	1	1	1	1	1
0	2C1	100	1	1	1	1	0	0	2H1	100	3	3	1	1	0	0	2T1	100	3	3	3	3	0
0	2C1	101	1	1	1	1	1	0	2H1	101	3	3	1	1	1	0	2T1	101	3	3	3	3	1
0	2C1	110	1	1	1	1	0	0	2H1	110	1	1	1	1	0	0	2T1	110	1	1	1	1	0
0	2C1	111	1	1	1	0	1	0	2H1	111	1	1	1	0	1	0	2T1	111	1	1	1	1	1
0	3C1	000	1	1	1	1	0	0	3H1	000	3	3	1	1	0	0	3T1	000	3	3	3	1	0
0	3C1	001	1	1	1	1	1	0	3H1	001	3	3	1	1	1	0	3T1	001	3	3	3	1	1
0	3C1	010	1	1	1	0	0	0	3H1	010	1	1	1	0	0	0	3T1	010	1	1	1	1	0
0	3C1	011	1	1	1	0	1	0	3H1	011	1	1	1	0	1	0	3T1	011	1	1	1	1	1
0	3C1	100	1	1	1	1	0	0	3H1	100	3	3	1	1	0	0	3T1	100	3	3	3	1	0
0	3C1	101	1	1	1	1	1	0	3H1	101	3	3	1	1	1	0	3T1	101	3	3	3	1	1
0	3C1	110	1	1	1	1	0	0	3H1	110	1	1	1	1	0	0	3T1	110	1	1	1	1	0
0	3C1	111	1	1	1	0	1	0	3H1	111	1	1	1	0	1	0	3T1	111	1	1	1	1	1

Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms				
typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST
0	1C2	000	0	0	0	0	0	0	1H2	000	0	0	0	0	0	0	1T2	000	0	0	0	0	0
0	1C2	001	0	0	0	0	0	0	1H2	001	0	0	0	0	0	0	1T2	001	0	0	0	0	0
0	1C2	010	0	0	0	0	0	0	1H2	010	0	0	0	0	0	0	1T2	010	0	0	0	0	0
0	1C2	011	0	0	0	0	0	0	1H2	011	0	0	0	0	0	0	1T2	011	0	0	0	0	0
0	1C2	100	0	0	0	0	0	0	1H2	100	0	0	0	0	0	0	1T2	100	0	0	0	0	0
0	1C2	101	0	0	0	0	0	0	1H2	101	0	0	0	0	0	0	1T2	101	0	0	0	0	0
0	1C2	110	0	0	0	0	0	0	1H2	110	0	0	0	0	0	0	1T2	110	0	0	0	0	0
0	1C2	111	0	0	0	0	0	0	1H2	111	0	0	0	0	0	0	1T2	111	0	0	0	0	0
0	2C2	000	0	0	0	0	0	0	2H2	000	0	0	0	0	0	0	2T2	000	0	0	0	0	0
0	2C2	001	0	0	0	0	0	0	2H2	001	0	0	0	0	0	0	2T2	001	0	0	0	0	0
0	2C2	010	0	0	0	0	0	0	2H2	010	0	0	0	0	0	0	2T2	010	0	0	0	0	0
0	2C2	011	0	0	0	0	0	0	2H2	011	0	0	0	0	0	0	2T2	011	0	0	0	0	0
0	2C2	100	0	0	0	0	0	0	2H2	100	0	0	0	0	0	0	2T2	100	0	0	0	0	0
0	2C2	101	0	0	0	0	0	0	2H2	101	0	0	0	0	0	0	2T2	101	0	0	0	0	0
0	2C2	110	0	0	0	0	0	0	2H2	110	0	0	0	0	0	0	2T2	110	0	0	0	0	0
0	2C2	111	0	0	0	0	0	0	2H2	111	0	0	0	0	0	0	2T2	111	0	0	0	0	0
0	3C2	000	0	0	0	0	0	0	3H2	000	0	0	0	0	0	0	3T2	000	0	0	0	0	0
0	3C2	001	0	0	0	0	0	0	3H2	001	0	0	0	0	0	0	3T2	001	0	0	0	0	0
0	3C2	010	0	0	0	0	0	0	3H2	010	0	0	0	0	0	0	3T2	010	0	0	0	0	0
0	3C2	011	0	0	0	0	0	0	3H2	011	0	0	0	0	0	0	3T2	011	0	0	0	0	0
0	3C2	100	0	0	0	0	0	0	3H2	100	0	0	0	0	0	0	3T2	100	0	0	0	0	0
0	3C2	101	0	0	0	0	0	0	3H2	101	0	0	0	0	0	0	3T2	101	0	0	0	0	0
0	3C2	110	0	0	0	0	0	0	3H2	110	0	0	0	0	0	0	3T2	110	0	0	0	0	0
0	3C2	111	0	0	0	0	0	0	3H2	111	0	0	0	0	0	0	3T2	111	0	0	0	0	0

Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms				
typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST
1	1C0	000	1	3	3	3	0	1	1H0	000	1	3	3	1	0	1	1T0	000	1	3	3	3	0
1	1C0	001	1	3	3	3	3	1	1H0	001	1	3	3	1	3	1	1T0	001	1	3	3	3	3
1	1C0	010	1	1	1	1	0	1	1H0	010	1	1	1	1	0	1	1T0	010	1	1	1	1	0
1	1C0	011	1	1	1	1	1	1	1H0	011	1	1	1	1	1	1	1T0	011	1	1	1	1	1
1	1C0	100	1	3	3	3	0	1	1H0	100	1	3	3	1	0	1	1T0	100	1	3	3	3	0
1	1C0	101	1	3	3	3	3	1	1H0	101	1	3	3	1	3	1	1T0	101	1	3	3	3	3
1	1C0	110	1	1	1	1	0	1	1H0	110	1	1	1	1	0	1	1T0	110	1	1	1	1	0
1	1C0	111	1	1	1	1	1	1	1H0	111	1	1	1	1	1	1	1T0	111	1	1	1	1	1
1	2C0	000	3	3	3	1	0	1	2H0	000	3	3	3	1	0	1	2T0	000	3	3	3	3	0
1	2C0	001	3	3	3	1	3	1	2H0	001	3	3	3	1	3	1	2T0	001	3	3	3	3	3
1	2C0	010	1	1	1	1	0	1	2H0	010	1	1	1	1	0	1	2T0	010	1	1	1	1	0
1	2C0	011	1	1	1	1	1	1	2H0	011	1	1	1	1	1	1	2T0	011	1	1	1	1	1
1	2C0	100	3	3	3	1	0	1	2H0	100	3	3	3	1	0	1	2T0	100	3	3	3	3	0
1	2C0	101	3	3	3	1	3	1	2H0	101	3	3	3	1	3	1	2T0	101	3	3	3	3	3
1	2C0	110	1	1	1	1	0	1	2H0	110	1	1	1	1	0	1	2T0	110	1	1	1	1	0
1	2C0	111	1	1	1	1	1	1	2H0	111	1	1	1	1	1	1	2T0	111	1	1	1	1	1
1	3C0	000	3	3	3	1	0	1	3H0	000	3	3	1	1	0	1	3T0	000	3	3	3	3	0
1	3C0	001	3	3	3	1	1	1	3H0	001	3	3	1	1	1	1	3T0	001	3	3	3	3	1
1	3C0	010	1	1	1	1	0	1	3H0	010	1	1	1	1	0	1	3T0	010	1	1	1	1	0
1	3C0	011	1	1	1	1	1	1	3H0	011	1	1	1	1	1	1	3T0	011	1	1	1	1	1
1	3C0	100	3	3	3	1	0	1	3H0	100	3	3	1	1	0	1	3T0	100	3	3	3	3	0
1	3C0	101	3	3	3	1	1	1	3H0	101	3	3	1	1	1	1	3T0	101	3	3	3	3	1
1	3C0	110	1	1	1	1	0	1	3H0	110	1	1	1	1	0	1	3T0	110	1	1	1	1	0
1	3C0	111	1	1	1	1	1	1	3H0	111	1	1	1	1	1	1	3T0	111	1	1	1	1	1

Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms				
typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST
1	1C1	000	1	1	1	1	0	1	1H1	000	1	1	1	0	0	1	1T1	000	1	3	3	1	0
1	1C1	001	1	1	1	1	1	1	1H1	001	1	1	1	0	1	1	1T1	001	1	3	3	1	1
1	1C1	010	1	1	1	1	0	1	1H1	010	1	1	1	0	0	1	1T1	010	1	1	1	0	0
1	1C1	011	1	1	1	1	1	1	1H1	011	1	1	1	0	1	1	1T1	011	1	1	1	0	1
1	1C1	100	1	1	1	1	0	1	1H1	100	1	1	1	0	0	1	1T1	100	1	3	3	1	0
1	1C1	101	1	1	1	1	1	1	1H1	101	1	1	1	0	1	1	1T1	101	1	3	3	1	1
1	1C1	110	1	1	1	1	0	1	1H1	110	1	1	1	0	0	1	1T1	110	1	1	1	0	0
1	1C1	111	1	1	1	1	1	1	1H1	111	1	1	1	0	1	1	1T1	111	1	1	1	0	1
1	2C1	000	1	1	1	1	0	1	2H1	000	1	1	1	0	0	1	2T1	000	3	3	3	1	0
1	2C1	001	1	1	1	1	1	1	2H1	001	1	1	1	0	1	1	2T1	001	3	3	3	1	1
1	2C1	010	1	1	1	1	0	1	2H1	010	1	1	1	0	0	1	2T1	010	1	1	1	0	0
1	2C1	011	1	1	1	1	1	1	2H1	011	1	1	1	0	1	1	2T1	011	1	1	1	0	1
1	2C1	100	1	1	1	1	0	1	2H1	100	1	1	1	0	0	1	2T1	100	3	3	3	1	0
1	2C1	101	1	1	1	1	1	1	2H1	101	1	1	1	0	1	1	2T1	101	3	3	3	1	1
1	2C1	110	1	1	1	1	0	1	2H1	110	1	1	1	0	0	1	2T1	110	1	1	1	0	0
1	2C1	111	1	1	1	1	1	1	2H1	111	1	1	1	0	1	1	2T1	111	1	1	1	0	1
1	3C1	000	3	1	1	0	0	1	3H1	000	1	1	0	0	0	1	3T1	000	3	3	1	1	0
1	3C1	001	3	1	1	0	1	1	3H1	001	1	1	0	0	1	1	3T1	001	3	3	1	1	1
1	3C1	010	1	1	1	0	0	1	3H1	010	1	1	0	0	0	1	3T1	010	1	1	1	0	0
1	3C1	011	1	1	1	0	1	1	3H1	011	1	1	0	0	1	1	3T1	011	1	1	1	0	1
1	3C1	100	3	1	1	0	0	1	3H1	100	1	1	0	0	0	1	3T1	100	3	3	1	1	0
1	3C1	101	1	1	1	0	1	1	3H1	101	1	1	0	0	1	1	3T1	101	3	3	1	1	1
1	3C1	110	1	1	1	0	0	1	3H1	110	1	1	0	0	0	1	3T1	110	1	1	1	0	0
1	3C1	111	1	1	1	0	1	1	3H1	111	1	1	0	0	1	1	3T1	111	1	1	1	0	1

Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms				
typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST
1	1C2	000	0	0	0	0	0	1	1H2	000	0	0	0	0	0	1	1T2	000	0	0	0	0	0
1	1C2	001	0	0	0	0	0	1	1H2	001	0	0	0	0	0	1	1T2	001	0	0	0	0	0
1	1C2	010	0	0	0	0	0	1	1H2	010	0	0	0	0	0	1	1T2	010	0	0	0	0	0
1	1C2	011	0	0	0	0	0	1	1H2	011	0	0	0	0	0	1	1T2	011	0	0	0	0	0
1	1C2	100	0	0	0	0	0	1	1H2	100	0	0	0	0	0	1	1T2	100	0	0	0	0	0
1	1C2	101	0	0	0	0	0	1	1H2	101	0	0	0	0	0	1	1T2	101	0	0	0	0	0
1	1C2	110	0	0	0	0	0	1	1H2	110	0	0	0	0	0	1	1T2	110	0	0	0	0	0
1	1C2	111	0	0	0	0	0	1	1H2	111	0	0	0	0	0	1	1T2	111	0	0	0	0	0
1	2C2	000	0	0	0	0	0	1	2H2	000	0	0	0	0	0	1	2T2	000	0	0	0	0	0
1	2C2	001	0	0	0	0	0	1	2H2	001	0	0	0	0	0	1	2T2	001	0	0	0	0	0
1	2C2	010	0	0	0	0	0	1	2H2	010	0	0	0	0	0	1	2T2	010	0	0	0	0	0
1	2C2	011	0	0	0	0	0	1	2H2	011	0	0	0	0	0	1	2T2	011	0	0	0	0	0
1	2C2	100	0	0	0	0	0	1	2H2	100	0	0	0	0	0	1	2T2	100	0	0	0	0	0
1	2C2	101	0	0	0	0	0	1	2H2	101	0	0	0	0	0	1	2T2	101	0	0	0	0	0
1	2C2	110	0	0	0	0	0	1	2H2	110	0	0	0	0	0	1	2T2	110	0	0	0	0	0
1	2C2	111	0	0	0	0	0	1	2H2	111	0	0	0	0	0	1	2T2	111	0	0	0	0	0
1	3C2	000	0	0	0	0	0	1	3H2	000	0	0	0	0	0	1	3T2	000	0	0	0	0	0
1	3C2	001	0	0	0	0	0	1	3H2	001	0	0	0	0	0	1	3T2	001	0	0	0	0	0
1	3C2	010	0	0	0	0	0	1	3H2	010	0	0	0	0	0	1	3T2	010	0	0	0	0	0
1	3C2	011	0	0	0	0	0	1	3H2	011	0	0	0	0	0	1	3T2	011	0	0	0	0	0
1	3C2	100	0	0	0	0	0	1	3H2	100	0	0	0	0	0	1	3T2	100	0	0	0	0	0
1	3C2	101	0	0	0	0	0	1	3H2	101	0	0	0	0	0	1	3T2	101	0	0	0	0	0
1	3C2	110	0	0	0	0	0	1	3H2	110	0	0	0	0	0	1	3T2	110	0	0	0	0	0
1	3C2	111	0	0	0	0	0	1	3H2	111	0	0	0	0	0	1	3T2	111	0	0	0	0	0

Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms				
typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST
2	1C0	000	1	1	1	1	0	2	1H0	000	1	1	1	1	0	2	1T0	000	1	3	3	1	0
2	1C0	001	1	1	1	1	0	2	1H0	001	1	1	1	1	0	2	1T0	001	1	3	3	1	0
2	1C0	010	1	1	1	1	0	2	1H0	010	1	1	1	1	0	2	1T0	010	1	1	1	1	0
2	1C0	011	1	1	1	1	0	2	1H0	011	1	1	1	1	0	2	1T0	011	1	1	1	1	0
2	1C0	100	1	1	1	1	0	2	1H0	100	1	1	1	1	0	2	1T0	100	1	3	3	1	0
2	1C0	101	1	1	1	1	0	2	1H0	101	1	1	1	1	0	2	1T0	101	1	3	3	1	0
2	1C0	110	1	1	1	1	0	2	1H0	110	1	1	1	1	0	2	1T0	110	1	1	1	1	0
2	1C0	111	1	1	1	1	0	2	1H0	111	1	1	1	1	0	2	1T0	111	1	1	1	1	0
2	2C0	000	3	1	1	1	0	2	2H0	000	1	1	1	0	0	2	2T0	000	3	3	1	1	0
2	2C0	001	3	1	1	1	0	2	2H0	001	1	1	1	0	0	2	2T0	001	3	3	1	1	0
2	2C0	010	1	1	1	1	0	2	2H0	010	1	1	1	0	0	2	2T0	010	1	1	1	1	0
2	2C0	011	1	1	1	1	0	2	2H0	011	1	1	1	0	0	2	2T0	011	1	1	1	1	0
2	2C0	100	3	1	1	1	0	2	2H0	100	1	1	1	0	0	2	2T0	100	3	3	1	1	0
2	2C0	101	3	1	1	1	0	2	2H0	101	1	1	1	0	0	2	2T0	101	3	3	1	1	0
2	2C0	110	1	1	1	1	0	2	2H0	110	1	1	1	0	0	2	2T0	110	1	1	1	1	0
2	2C0	111	1	1	1	1	0	2	2H0	111	1	1	1	0	0	2	2T0	111	1	1	1	1	0
2	3C0	000	3	3	1	0	0	2	3H0	000	1	1	0	0	0	2	3T0	000	3	3	1	0	0
2	3C0	001	3	3	1	0	0	2	3H0	001	1	1	0	0	0	2	3T0	001	3	3	1	0	0
2	3C0	010	1	1	1	0	0	2	3H0	010	1	1	0	0	0	2	3T0	010	1	1	1	0	0
2	3C0	011	1	1	1	0	0	2	3H0	011	1	1	0	0	0	2	3T0	011	1	1	1	0	0
2	3C0	100	3	3	1	0	0	2	3H0	100	1	1	0	0	0	2	3T0	100	3	3	1	0	0
2	3C0	101	3	3	1	0	0	2	3H0	101	1	1	0	0	0	2	3T0	101	3	3	1	0	0
2	3C0	110	1	1	1	0	0	2	3H0	110	1	1	0	0	0	2	3T0	110	1	1	1	0	0
2	3C0	111	1	1	1	0	0	2	3H0	111	1	1	0	0	0	2	3T0	111	1	1	1	0	0

Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms				
typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub- type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST
2	1C1	000	1	1	1	1	0	2	1H1	000	1	1	1	0	0	2	1T1	000	1	1	1	1	0
2	1C1	001	1	1	1	1	0	2	1H1	001	1	1	1	0	0	2	1T1	001	1	1	1	1	0
2	1C1	010	1	1	1	1	0	2	1H1	010	1	1	1	0	0	2	1T1	010	1	1	1	1	0
2	1C1	011	1	1	1	1	0	2	1H1	011	1	1	1	0	0	2	1T1	011	1	1	1	1	0
2	1C1	100	1	1	1	1	0	2	1H1	100	1	1	1	0	0	2	1T1	100	1	1	1	1	0
2	1C1	101	1	1	1	1	0	2	1H1	101	1	1	1	0	0	2	1T1	101	1	1	1	1	0
2	1C1	110	1	1	1	1	0	2	1H1	110	1	1	1	0	0	2	1T1	110	1	1	1	1	0
2	1C1	111	1	1	1	1	0	2	1H1	111	1	1	1	0	0	2	1T1	111	1	1	1	1	0
2	2C1	000	1	1	1	0	0	2	2H1	000	1	1	0	0	0	2	2T1	000	1	1	1	0	0
2	2C1	001	1	1	1	0	0	2	2H1	001	1	1	0	0	0	2	2T1	001	1	1	1	0	0
2	2C1	010	1	1	1	0	0	2	2H1	010	1	1	0	0	0	2	2T1	010	1	1	1	0	0
2	2C1	011	1	1	1	0	0	2	2H1	011	1	1	0	0	0	2	2T1	011	1	1	1	0	0
2	2C1	100	1	1	1	0	0	2	2H1	100	1	1	0	0	0	2	2T1	100	1	1	1	0	0
2	2C1	101	1	1	1	0	0	2	2H1	101	1	1	0	0	0	2	2T1	101	1	1	1	0	0
2	2C1	110	1	1	1	0	0	2	2H1	110	1	1	0	0	0	2	2T1	110	1	1	1	0	0
2	2C1	111	1	1	1	0	0	2	2H1	111	1	1	0	0	0	2	2T1	111	1	1	1	0	0
2	3C1	000	1	1	1	0	0	2	3H1	000	1	1	0	0	0	2	3T1	000	1	1	1	0	0
2	3C1	001	1	1	1	0	0	2	3H1	001	1	1	0	0	0	2	3T1	001	1	1	1	0	0
2	3C1	010	1	1	1	0	0	2	3H1	010	1	1	0	0	0	2	3T1	010	1	1	1	0	0
2	3C1	011	1	1	1	0	0	2	3H1	011	1	1	0	0	0	2	3T1	011	1	1	1	0	0
2	3C1	100	1	1	1	0	0	2	3H1	100	1	1	0	0	0	2	3T1	100	1	1	1	0	0
2	3C1	101	1	1	1	0	0	2	3H1	101	1	1	0	0	0	2	3T1	101	1	1	1	0	0
2	3C1	110	1	1	1	0	0	2	3H1	110	1	1	0	0	0	2	3T1	110	1	1	1	0	0
2	3C1	111	1	1	1	0	0	2	3H1	111	1	1	0	0	0	2	3T1	111	1	1	1	0	0

Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms				
typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST
2	1C2	000	0	0	0	0	0	2	1H2	000	0	0	0	0	0	2	1T2	000	0	0	0	0	0
2	1C2	001	0	0	0	0	0	2	1H2	001	0	0	0	0	0	2	1T2	001	0	0	0	0	0
2	1C2	010	0	0	0	0	0	2	1H2	010	0	0	0	0	0	2	1T2	010	0	0	0	0	0
2	1C2	011	0	0	0	0	0	2	1H2	011	0	0	0	0	0	2	1T2	011	0	0	0	0	0
2	1C2	100	0	0	0	0	0	2	1H2	100	0	0	0	0	0	2	1T2	100	0	0	0	0	0
2	1C2	101	0	0	0	0	0	2	1H2	101	0	0	0	0	0	2	1T2	101	0	0	0	0	0
2	1C2	110	0	0	0	0	0	2	1H2	110	0	0	0	0	0	2	1T2	110	0	0	0	0	0
2	1C2	111	0	0	0	0	0	2	1H2	111	0	0	0	0	0	2	1T2	111	0	0	0	0	0
2	2C2	000	0	0	0	0	0	2	2H2	000	0	0	0	0	0	2	2T2	000	0	0	0	0	0
2	2C2	001	0	0	0	0	0	2	2H2	001	0	0	0	0	0	2	2T2	001	0	0	0	0	0
2	2C2	010	0	0	0	0	0	2	2H2	010	0	0	0	0	0	2	2T2	010	0	0	0	0	0
2	2C2	011	0	0	0	0	0	2	2H2	011	0	0	0	0	0	2	2T2	011	0	0	0	0	0
2	2C2	100	0	0	0	0	0	2	2H2	100	0	0	0	0	0	2	2T2	100	0	0	0	0	0
2	2C2	101	0	0	0	0	0	2	2H2	101	0	0	0	0	0	2	2T2	101	0	0	0	0	0
2	2C2	110	0	0	0	0	0	2	2H2	110	0	0	0	0	0	2	2T2	110	0	0	0	0	0
2	2C2	111	0	0	0	0	0	2	2H2	111	0	0	0	0	0	2	2T2	111	0	0	0	0	0
2	3C2	000	0	0	0	0	0	2	3H2	000	0	0	0	0	0	2	3T2	000	0	0	0	0	0
2	3C2	001	0	0	0	0	0	2	3H2	001	0	0	0	0	0	2	3T2	001	0	0	0	0	0
2	3C2	010	0	0	0	0	0	2	3H2	010	0	0	0	0	0	2	3T2	010	0	0	0	0	0
2	3C2	011	0	0	0	0	0	2	3H2	011	0	0	0	0	0	2	3T2	011	0	0	0	0	0
2	3C2	100	0	0	0	0	0	2	3H2	100	0	0	0	0	0	2	3T2	100	0	0	0	0	0
2	3C2	101	0	0	0	0	0	2	3H2	101	0	0	0	0	0	2	3T2	101	0	0	0	0	0
2	3C2	110	0	0	0	0	0	2	3H2	110	0	0	0	0	0	2	3T2	110	0	0	0	0	0
2	3C2	111	0	0	0	0	0	2	3H2	111	0	0	0	0	0	2	3T2	111	0	0	0	0	0

Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms				
typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST
3	1C0	000	1	1	0	0	0	3	1H0	000	1	1	0	0	0	3	1T0	000	1	1	0	0	0
3	1C0	001	1	1	0	0	0	3	1H0	001	1	1	0	0	0	3	1T0	001	1	1	0	0	0
3	1C0	010	1	1	0	0	0	3	1H0	010	1	1	0	0	0	3	1T0	010	1	1	0	0	0
3	1C0	011	1	1	0	0	0	3	1H0	011	1	1	0	0	0	3	1T0	011	1	1	0	0	0
3	1C0	100	1	1	0	0	0	3	1H0	100	1	1	0	0	0	3	1T0	100	1	1	0	0	0
3	1C0	101	1	1	0	0	0	3	1H0	101	1	1	0	0	0	3	1T0	101	1	1	0	0	0
3	1C0	110	1	1	0	0	0	3	1H0	110	1	1	0	0	0	3	1T0	110	1	1	0	0	0
3	1C0	111	1	1	0	0	0	3	1H0	111	1	1	0	0	0	3	1T0	111	1	1	0	0	0
3	2C0	000	1	1	0	0	0	3	2H0	000	0	1	0	0	0	3	2T0	000	1	1	0	0	0
3	2C0	001	1	1	0	0	0	3	2H0	001	0	1	0	0	0	3	2T0	001	1	1	0	0	0
3	2C0	010	1	1	0	0	0	3	2H0	010	0	1	0	0	0	3	2T0	010	1	1	0	0	0
3	2C0	011	1	1	0	0	0	3	2H0	011	0	1	0	0	0	3	2T0	011	1	1	0	0	0
3	2C0	100	1	1	0	0	0	3	2H0	100	0	1	0	0	0	3	2T0	100	1	1	0	0	0
3	2C0	101	1	1	0	0	0	3	2H0	101	0	1	0	0	0	3	2T0	101	1	1	0	0	0
3	2C0	110	1	1	0	0	0	3	2H0	110	0	1	0	0	0	3	2T0	110	1	1	0	0	0
3	2C0	111	1	1	0	0	0	3	2H0	111	0	1	0	0	0	3	2T0	111	1	1	0	0	0
3	3C0	000	1	0	0	0	0	3	3H0	000	0	0	0	0	0	3	3T0	000	1	1	0	0	0
3	3C0	001	1	0	0	0	0	3	3H0	001	0	0	0	0	0	3	3T0	001	1	1	0	0	0
3	3C0	010	1	0	0	0	0	3	3H0	010	0	0	0	0	0	3	3T0	010	1	1	0	0	0
3	3C0	011	1	0	0	0	0	3	3H0	011	0	0	0	0	0	3	3T0	011	1	1	0	0	0
3	3C0	100	1	0	0	0	0	3	3H0	100	0	0	0	0	0	3	3T0	100	1	1	0	0	0
3	3C0	101	1	0	0	0	0	3	3H0	101	0	0	0	0	0	3	3T0	101	1	1	0	0	0
3	3C0	110	1	0	0	0	0	3	3H0	110	0	0	0	0	0	3	3T0	110	1	1	0	0	0
3	3C0	111	1	0	0	0	0	3	3H0	111	0	0	0	0	0	3	3T0	111	1	1	0	0	0

Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms				
typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST
3	1C1	000	0	0	0	0	0	3	1H1	000	0	0	0	0	0	3	1T1	000	1	1	0	0	0
3	1C1	001	0	0	0	0	0	3	1H1	001	0	0	0	0	0	3	1T1	001	1	1	0	0	0
3	1C1	010	0	0	0	0	0	3	1H1	010	0	0	0	0	0	3	1T1	010	1	1	0	0	0
3	1C1	011	0	0	0	0	0	3	1H1	011	0	0	0	0	0	3	1T1	011	1	1	0	0	0
3	1C1	100	0	0	0	0	0	3	1H1	100	0	0	0	0	0	3	1T1	100	1	1	0	0	0
3	1C1	101	0	0	0	0	0	3	1H1	101	0	0	0	0	0	3	1T1	101	1	1	0	0	0
3	1C1	110	0	0	0	0	0	3	1H1	110	0	0	0	0	0	3	1T1	110	1	1	0	0	0
3	1C1	111	0	0	0	0	0	3	1H1	111	0	0	0	0	0	3	1T1	111	1	1	0	0	0
3	2C1	000	0	0	0	0	0	3	2H1	000	0	0	0	0	0	3	2T1	000	1	1	0	0	0
3	2C1	001	0	0	0	0	0	3	2H1	001	0	0	0	0	0	3	2T1	001	1	1	0	0	0
3	2C1	010	0	0	0	0	0	3	2H1	010	0	0	0	0	0	3	2T1	010	1	1	0	0	0
3	2C1	011	0	0	0	0	0	3	2H1	011	0	0	0	0	0	3	2T1	011	1	1	0	0	0
3	2C1	100	0	0	0	0	0	3	2H1	100	0	0	0	0	0	3	2T1	100	1	1	0	0	0
3	2C1	101	0	0	0	0	0	3	2H1	101	0	0	0	0	0	3	2T1	101	1	1	0	0	0
3	2C1	110	0	0	0	0	0	3	2H1	110	0	0	0	0	0	3	2T1	110	1	1	0	0	0
3	2C1	111	0	0	0	0	0	3	2H1	111	0	0	0	0	0	3	2T1	111	1	1	0	0	0
3	3C1	000	0	0	0	0	0	3	3H1	000	0	0	0	0	0	3	3T1	000	0	1	0	0	0
3	3C1	001	0	0	0	0	0	3	3H1	001	0	0	0	0	0	3	3T1	001	0	1	0	0	0
3	3C1	010	0	0	0	0	0	3	3H1	010	0	0	0	0	0	3	3T1	010	0	1	0	0	0
3	3C1	011	0	0	0	0	0	3	3H1	011	0	0	0	0	0	3	3T1	011	0	1	0	0	0
3	3C1	100	0	0	0	0	0	3	3H1	100	0	0	0	0	0	3	3T1	100	0	1	0	0	0
3	3C1	101	0	0	0	0	0	3	3H1	101	0	0	0	0	0	3	3T1	101	0	1	0	0	0
3	3C1	110	0	0	0	0	0	3	3H1	110	0	0	0	0	0	3	3T1	110	0	1	0	0	0
3	3C1	111	0	0	0	0	0	3	3H1	111	0	0	0	0	0	3	3T1	111	0	1	0	0	0

Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms					Pogoda Weather			WSI dla różnych form aktywności WSI for various activity forms				
typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST	typ type	podtyp sub-type	klasa class	SB	AB	MR	AR	ST
3	1C2	000	0	0	0	0	0	3	1H2	000	0	0	0	0	0	3	1T2	000	0	0	0	0	0
3	1C2	001	0	0	0	0	0	3	1H2	001	0	0	0	0	0	3	1T2	001	0	0	0	0	0
3	1C2	010	0	0	0	0	0	3	1H2	010	0	0	0	0	0	3	1T2	010	0	0	0	0	0
3	1C2	011	0	0	0	0	0	3	1H2	011	0	0	0	0	0	3	1T2	011	0	0	0	0	0
3	1C2	100	0	0	0	0	0	3	1H2	100	0	0	0	0	0	3	1T2	100	0	0	0	0	0
3	1C2	101	0	0	0	0	0	3	1H2	101	0	0	0	0	0	3	1T2	101	0	0	0	0	0
3	1C2	110	0	0	0	0	0	3	1H2	110	0	0	0	0	0	3	1T2	110	0	0	0	0	0
3	1C2	111	0	0	0	0	0	3	1H2	111	0	0	0	0	0	3	1T2	111	0	0	0	0	0
3	2C2	000	0	0	0	0	0	3	2H2	000	0	0	0	0	0	3	2T2	000	0	0	0	0	0
3	2C2	001	0	0	0	0	0	3	2H2	001	0	0	0	0	0	3	2T2	001	0	0	0	0	0
3	2C2	010	0	0	0	0	0	3	2H2	010	0	0	0	0	0	3	2T2	010	0	0	0	0	0
3	2C2	011	0	0	0	0	0	3	2H2	011	0	0	0	0	0	3	2T2	011	0	0	0	0	0
3	2C2	100	0	0	0	0	0	3	2H2	100	0	0	0	0	0	3	2T2	100	0	0	0	0	0
3	2C2	101	0	0	0	0	0	3	2H2	101	0	0	0	0	0	3	2T2	101	0	0	0	0	0
3	2C2	110	0	0	0	0	0	3	2H2	110	0	0	0	0	0	3	2T2	110	0	0	0	0	0
3	2C2	111	0	0	0	0	0	3	2H2	111	0	0	0	0	0	3	2T2	111	0	0	0	0	0
3	3C2	000	0	0	0	0	0	3	3H2	000	0	0	0	0	0	3	3T2	000	0	0	0	0	0
3	3C2	001	0	0	0	0	0	3	3H2	001	0	0	0	0	0	3	3T2	001	0	0	0	0	0
3	3C2	010	0	0	0	0	0	3	3H2	010	0	0	0	0	0	3	3T2	010	0	0	0	0	0
3	3C2	011	0	0	0	0	0	3	3H2	011	0	0	0	0	0	3	3T2	011	0	0	0	0	0
3	3C2	100	0	0	0	0	0	3	3H2	100	0	0	0	0	0	3	3T2	100	0	0	0	0	0
3	3C2	101	0	0	0	0	0	3	3H2	101	0	0	0	0	0	3	3T2	101	0	0	0	0	0
3	3C2	110	0	0	0	0	0	3	3H2	110	0	0	0	0	0	3	3T2	110	0	0	0	0	0
3	3C2	111	0	0	0	0	0	3	3H2	111	0	0	0	0	0	3	3T2	111	0	0	0	0	0

BIOCLIMATIC PRINCIPLES OF RECREATION AND TOURISM IN POLAND (summary)

Recreation and tourism are important elements of human life for both individuals and society. Tourism industry is significant branch of economy of several countries and regions and the number of tourists and recreants grow up every year.

As recreation we consider various forms of spending leisure time to bring us satisfaction as well as physical and mental relaxation. Tourism is understood as the practice of travelling outside the place of residence for at least one day and night. Bioclimatic conditions are defined as climate considered from the point of view of the human organism. Bioclimatic conditions are formed by global and regional radiation and air circulation factors

Satisfaction from recreation and tourism depends on different factors, e.g. accessibility, costs, infrastructure, logistic. Local climate and actual weather play a very important roles in outdoor tourism and recreation. Therefore, they should be considered as natural resources for recreation similarly to clean water, relief, plant cover etc. However, the understanding of the relationships between recreational and tourism activities and climate seems to be insufficient. Moreover, the tourism industry advertising offers little information about bioclimate, or shares mainly positive news whereas any bioclimatic limitations and threats are usually omitted. Thus, the aim of this book is provide the most recent and complex information regarding the influence of climate and weather on recreation and tourism. We also focus on meteorological and physiological principles of outdoor recreation, and on the research methods used to investigate the relationships between climate and recreation.

The book is the result of the authors' experiences in research on the influence of weather and climate on the human organism during various forms of outdoor activities (daily stay, work, climate therapy, recreation). The book is intended for wide audience: researchers, university teachers and students will find here detailed information about the methods which can be used for assessing bioclimatic conditions from the point of view of recreation and tourism. In particular, the methodology assumes direct relationship between the human organism and the atmosphere. Tourism organizers and their clients will be able to find here current information about the benefits and the limitations of the bioclimatic conditions which can influence their satisfaction from recreational activities.

The book has interdisciplinary character and provide essential information from meteorology, climatology and human physiology. In the introduction the readers will find information about the role of climate stimuli in human health and well being. In chapter 2 we pay special attention to physical stimuli, such as solar radiation, thermal, hygric, mechanical, electrical, acoustic and to physiological reactions of a person when outdoors. The essentials of chemical and biological stimuli are considered as well.

In the first part we discuss meteorological and climatic elements which influence recreation and tourism. Chapter 3 explains how to interpret the main characteristics of solar radiation, air temperature and humidity, wind speed and air pressure from the point of view of recreational needs. In chapter 4 reader will find the principles of various weather classifications which are used in climate-recreation research, i.e. Błażejczyk's (2007a) weather classification, climate-tourism information scheme (CTIS) of Matzarakis et al. (2010) as well as climate index for tourism (CIT) proposed by de Freitas et al. (2008). These are illustrated with the results of such studies carried out in Poland and abroad.

Second part presents physiological background of recreation and tourism. First we review the human heat balance models (simple and multi-nodes). We also discuss the principles of heat exchange between the human being and the atmosphere considering both heat gains and heat losses. We also take into account the principles of thermoregulation, acclimatisation and heat transfer inside the body (chapter 5). The attention is also paid to water and mineral balances in man, especially at hot environments (chapter 6).

Third part contains the review of complex biometeorological, bio-thermal and bioclimatic indices which can be used in climate-recreation research. We start our overview by discussing essential biometeorological indices (chapter 7). Through mathematical forms they show combine influence of different meteorological factors (air temperature and humidity, wind speed) on the human organism. Next, we remind such traditional indices like: Hill's cooling power (H), wind chill index (WCI), wet bulb globe temperature ($WBGT$) and effective temperature (TE) we present new generation of biometeorological indices, i.e. wind chill temperature (WCT), *Humidex*, still shade temperature (SST), insulation predicted ($Iclp$), heart rate (HR), apparent temperature (AT) and oxygen volume (Ov). Following, we discuss the most recent bio-thermal indices (chapter 8) which are derived from various human heat balance models both, simple and multi-node. We present the principles of simple MENEX_2005 model of Błażejczyk (1994, 2004a, 2007) and Fiala multi-node model (Fiala et al. 1999, 2001, 2003). Both models provide indices which illustrate various physiological reactions in man to ambient, meteorological stimuli. Such indices as: physiological strain (PhS), physiological subjective temperature (PST), water loss (SW), overheating and overcooling risks (OhR , OcR) are derived from the MENEX model. However, Fiala model provide newly developed universal thermal climate index ($UTCI$). We discuss the principles and the operational procedures for the calculations of $UTCI$. Simplified formulation of $UTCI^*$ is discuss as well. In chapter 9 we discuss bioclimatic indices which consider multiannual information using climate variables and biometeorological, bio-thermal or weather indices. We start from traditional tourism climatic

index (*TCI*) of Mieczkowski (1985). Next, the new complex bioclimatic indices such as weather suitability index (*WSI*, Błażejczyk 2004a), weather recreation index (*WRI*, Błażejczyk 2005a) and bioclimatic contrasts index (*BCI*) are presented.

In the fourth part we discuss how the main characteristics of bioclimatic conditions of Poland reflect on recreation and tourism of the country. We present spatial distribution and seasonal variability of simple meteorological parameters such as radiation, thermal, hygric and mechanical stimuli (chapter 10). We used *WSI*, *WRI* indices and *CTIS* scheme to illustrate spatial differentiation of weather conditions over the territory of Poland. We also discuss in details distribution and seasonal variability of particular weather features (chapter 11). Bio-thermal conditions of Poland are presented using the most advanced indices derived from human heat balance models (chapter 12), i.e. physiological subjective temperature (*PST*), physiological strain (*PhS*), heat stress index (*HSI*) and universal thermal climate index (*UTCI*). In conclusion, we may state that our analysis indicates that each of bioclimatic regions of Poland has specific bioclimatic resources which can be used for rational recreational use.

The book has also two annexes. Annexe A presents detail equations of the *MENEX_2005* human heat balance model. Annexe B contains the table with the values of Weather Suitability Indices (*WSI*) for each form of recreation and for every individual weather situation. To facilitate the use of indices presented, we also included the list of symbols and units.

Most of us try to understand our environment and to make the most rational decisions regarding our daily lives and our tourist and recreational expeditions. Since we work hard, we also need intensive and rational rest and recreation not just occasionally, one or two times a year, but on more regular basis. In such cases we should know all “secrets” of bioclimate in desired destinations. However, we also need daily and weekly recreation no matter the actual weather conditions. To stay safe, and to gain the most from our recreational activities we need to understand how particular weather conditions influence our bodies and how we can protect ourselves against extreme weather situations. We sincerely believe that our book will help all of us to optimise our daily and seasonal recreation.

The calculations of indices used in the studies were made with the use of *Bio-Klima*©2.6 software package. It can be downloaded free from the home page www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/bioklima.htm. Readers interested in daily use of bio-thermal information will find the Bio-thermal calculator on the same page as well.

SPIS TABEL LIST OF TABLES

Tabela 2.1. Właściwości lecznicze niektórych zbiorowisk roślinnych	20
Table 2.1. Therapy features of selected plant communities	
Tabela 3.1. Podział widma promieniowania słonecznego	26
Table 3.1. Spectrum of solar radiation	
Tabela 3.2. Miesięczne i roczne sumy całkowitego promieniowania słonecznego ($MJ \cdot m^{-2}$) w wybranych stacjach meteorologicznych w Europie, 1981–1990.....	28
Table 3.2. Monthly and annual sums of global solar radiation ($MJ \cdot m^{-2}$) at selected meteorological stations in Europe, 1981–1990	
Tabela 3.3. Średnie wartości albedo niektórych rodzajów powierzchni	29
Table 3.3. Mean values of albedo of selected surfaces	
Tabela 3.4. Okresy, w których tarcza słoneczna na poszczególnych szerokościach geograficznych półkuli północnej znajduje się na różnych wysokościach nad horyzontem	31
Table 3.4. Periods, in which Sun disk is over particular altitudes at different latitudes	
Tabela 3.5. Charakterystyka podstawowych typów skóry dla populacji europejskiej	31
Table 3.5. Characteristics of main types of skin at European population	
Tabela 3.6. Chmurowy współczynnik modyfikujący natężenie UV w zależności od wielkości zachmurzenia (N) oraz rodzaju chmur i opadów atmosferycznych	35
Table 3.6. Cloud coefficients reducing UV intensity depending on cloudiness (N) and precipitation type	
Tabela 3.7. Zalecany numer filtra słonecznego (SPF) dla różnych typów skóry przy różnych wartościach wskaźnika UV.....	35
Table 3.7. Recommended number of Sun protected factor (SPF) for various types of skin at different values of UV Index	

Tabela 3.8. Skala oceny <i>UVI</i> oraz rekomendacje dotyczące ochrony przed szkodliwym działaniem promieniowania nadfioletowego.....	36
Table 3.8. Evaluation scale of <i>UVI</i> and recommendations for protection against UV radiation	
Tabela 3.9. Wysokość występowania chmur (km) w różnych strefach geograficznych.....	50
Table 3.9. Altitudes (km) of different groups of clouds at various geographical zones	
Tabela 4.1. Obiektywna biosynoptyczna klasyfikacja pogody (wg Niemieckiej Służby Pogody) oraz towarzyszące oddziaływania psychofizyczne i przydatność dla rekreacji i turystyki	64
Table 4.1. Biosynoptic classification of weather (due to German Meteorological Service) accompanying psychophysical reaction in humans and usefulness for recreation and tourism	
Tabela 4.2. Ocena poszczególnych klas wskaźnika <i>CIT</i> oraz stopień akceptacji pogody przez turystów.....	67
Table 4.2. Evaluation of particular <i>CIT</i> classes and acceptance levels for tourists	
Tabela 4.3. Tabela do wyznaczania wskaźnika <i>CIT</i> (sposób użycia w tekście).....	68
Table 4.3. Components for calculating <i>CIT</i> index	
Tabela 4.4. Wybrane oznaki lokalnej pogody	69
Table 4.4. Selected features of local weather	
Tabela 4.5. Schemat zapisu cyfrowego biotermiczno-meteorologicznej klasyfikacji pogody	73
Table 4.5. Scheme of digital description of bio-thermal-and-meteorological weather classification	
Tabela 4.6. Podtypy pogody wyróżniane w obrębie każdego z siedmiu typów pogody i ich zapis cyfrowy.....	75
Table 4.6. Weather subtypes of each of weather type and their digital description	
Tabela 4.7. Klasy pogody występujące w każdym z podtypów pogody i ich cyfrowy zapis.....	76
Table 4.7. Weather classes in each of weather subtype and their digital description	
Tabela 4.8. Częstość występowania różnych rodzajów pogody w Głuchołazach, 1981–2000.....	78
Table 4.8. Frequency of various weather categories in Głuchołazy, 1981–2000	
Tabela 4.9. Prawdopodobieństwo (%) pojawienia się przez kolejne 3 dni pogody nieprzydatnej i przydatnej do poszczególnych form rekreacji i turystyki na Hali Gąsienicowej	79
Table 4.9. Probability (%) of occurrence during 3 consecutive days weather conditions unfavourable and favourable for particular forms of recreation and tourism on Hala Gasienicowa (Tatra Mts.)	

Tabela 4.10. Kalendarz warunków pogodowych dla Warszawy, 1994–2001	80
Table 4.10. Weather calendar for Warsaw, 1994-2001	
Tabela 5.1. Równania regresji do obliczania podstawowej metabolicznej produkcji ciepła ($BMR, W \cdot m^{-2}$)	85
Table 5.1. Regression equations for calculating basic metabolic rate ($BMR, W \cdot m^{-2}$)	
Tabela 5.2. Metaboliczna produkcja ciepła przy różnej aktywności fizycznej człowieka	86
Table 5.2. Metabolic heat production at various activities in man	
Tabela 5.3. Podstawowa izolacyjność termiczna zestawów odzieży (I_{cl}) przeznaczonych do przebywania na wolnym powietrzu	119
Table 5.3. Basic thermal insulation of clothing ensembles (I_{cl}) to be used outdoor	
Tabela 6.1. Funkcje organów wewnętrznych człowieka w warunkach odwadniania organizmu	121
Table 6.1. Functions of particular body organs during dehydration risk	
Tabela 7.1. Częstość (%) występowania różnych odczuć cieplnych człowieka w wybranych miejscowościach, określonych na podstawie wartości wskaźnika WCI , 1971–1990	129
Table 7.1. Frequency (%) of various thermal sensations in man based on WCI in selected sites, 1971–1990	
Tabela 7.2. Charakterystyka warunków biometeorologicznych na podstawie wskaźnika WCT	131
Table 7.2. Characteristic of biometeorological conditions based on WCT index	
Tabela 7.3. Skala oceny wskaźnika <i>Humidex</i>	133
Table 7.3. Assessment scale of <i>Humidex</i>	
Tabela 8.1. Czas (min), po którym pojawia się ryzyko przegrzania lub wychłodzenia (Oh_W, Oc_W) oraz następuje przegrzanie lub wychłodzenie organizmu (Oh_H, Oc_H) w wybranych dniach w Warszawie, podczas spacerów z prędkością 4 km na godzinę	163
Table 8.1. Time (min) after which can occur overheating or overcooling warning (Oh_W, Oc_W) and time of overheating/overcooling hazard (Oh_H, Oc_H) in selected days in Warsaw during walking with the speed 4 km per hour	
Tabela 8.2. Parametry fizjologiczne uwzględnione przy tworzeniu wskaźnika $UTCI$	165
Table 8.2. Physiological parameters applied in $UTCI$	
Tabela 8.3. Współczynniki równania regresji do wyznaczenia wskaźnika $UTCI$ ($UTCI = t + \text{Offset}$)	167
Table 8.3. Coefficients of regression equation for calculating $UTCI$	
Tabela 8.4. Skala oceny obciążeń cieplnych organizmu według wskaźnika $UTCI$	170
Table 8.4. Assessment scale of $UTCI$	

Tabela 8.5. Krytyczne poziomy reakcji fizjologicznych organizmu obserwowane przy różnych wartościach <i>UTCI</i>	171
Table 8.5. Critical levels of physiological reactions observed at various <i>UTCI</i> values	
Tabela 8.6. Wskaźnik ryzyka odmrożenia (<i>FR</i>) odsłoniętych części ciała: policzka i palców dłoni, wg modelu © DRDC Toronto	176
Table 8.6. Index of frostbite risk of cheek and fingers	
Tabela 9.1. Miesięczne wartości wskaźnika kontrastowości warunków bioklimatycznych (<i>BCI</i>) pomiędzy Krakowem a wybranymi miastami, 1981–1990	183
Table 9.1. Mean monthly values of Bioclimatic Contrasts Index (<i>BCI</i>) between Kraków (Poland) and selected cities, 1981–1990	
Tabela 9.2. Średnie miesięczne wartości składników wskaźnika kontrastowości warunków bioklimatycznych (<i>dUTCI</i> , <i>dSW</i> , <i>dIcIp</i> , <i>dPST</i>) pomiędzy Krakowem a wybranymi miastami, 1981–1990	184
Table 9.2. Mean monthly values of the components (<i>dUTCI</i> , <i>dSW</i> , <i>dIcIp</i> , <i>dPST</i>) of bioclimatic contrasts index between Kraków (Poland) and selected cities, 1981–1990	
Tabela 9.3. Usrednione dla kolejnych dni stycznia i lipca wartości wskaźników <i>WSI_SB</i> , <i>WSI_AB</i> , <i>WSI_MR</i> , <i>WSI_AR</i> dla Krakowa, 1991–2000 – przykład kalendarza przydatności warunków pogodowych	187
Table 9.3. Averaged values of <i>WSI_SB</i> , <i>WSI_AB</i> , <i>WSI_MR</i> , <i>WSI_AR</i> indices for consecutive days of January and July in Kraków (Poland), 1991–2000	
Tabela 10.1. Podstawowe charakterystyki klimatu w regionach bioklimatycznych Polski	193
Table 10.1. Principal characteristics of bioclimatic region of Poland	
Tabela 10.2. Średnie miesięczne i roczne usłonecznienie rzeczywiste (godz.), 1971–1990	195
Table 10.2. Mean monthly and annual sunshine duration (hours), 1971–1990	
Tabela 10.3. Średnie miesięczne i roczne zachmurzenie (%) o godzinie 12:00 UTC, 1971–1990	200
Table 10.3. Mean monthly and annual cloudiness (%) at 12:00 UTC, 1971–1990	
Tabela 10.4. Temperatura powietrza (°C) o godz. 12:00 UTC, 1971–1990 ...	202
Table 10.4. Air temperature (°C) at 12:00 UTC, 1971–1990	
Tabela 10.5. Liczba dni gorących, 1971–1990	204
Table 10.5. Number of hot days, 1971–1990	
Tabela 10.6. Liczba dni bardzo mroźnych, 1971–1990	205
Table 10.6. Number of very frosty days, 1971–1990	
Tabela 10.7. Wilgotność względna powietrza (%) o godz. 12:00 UTC, 1971–1990	206
Table 10.7. Relative humidity of air (%) at 12:00 UTC, 1971–1990	
Tabela 10.8. Częstość (%) stanów parności o różnym natężeniu o godz. 12:00 UTC, 1971–1990	208

Table 10.8. Frequency (%) of sultriness categories at 12:00 UTC, 1971–1990	
Tabela 10.9. Średnia prędkość wiatru ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) o godzinie 12:00 UTC, 1971–1990	209
Table 10.9. Mean wind speed ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) at 12:00 UTC, 1971–1990	
Tabela 10.10. Liczba dni z wiatrem o prędkości $>8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ o godz. 12:00 UTC, 1971–1990	210
Table 10.10. Number of days with wind $>8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ o godz. 12:00 UTC, 1971–1990	
Tabela 10.11. Częstość (%) międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego (dp) o różnych wartościach, 1966–1992	212
Table 10.11. Frequency (%) of categories of day-to-day changes in atmospheric pressure (dp), 1966–1992	
Tabela 10.12. Suma opadów atmosferycznych (mm), 1971–1990	214
Table 10.12. Precipitation totals (mm), 1971–1990	
Tabela 10.13. Liczba dni z opadem $\geq 0,1 \text{ mm}$, 1971–1990	217
Table 10.13. Number of days with precipitation $\geq 0,1 \text{ mm}$, 1971–1990	
Tabela 10.14. Liczba dni z mgłą, 1971–1990	218
Table 10.14. Number of days with fog, 1971–1990	
Tabela 10.15. Liczba dni z burzą, 1971–1990	221
Table 10.15. Number of days with storm, 1971–1990	
Tabela 11.1. Częstość występowania (%) biotermicznych typów pogody w różnych regionach bioklimatycznych, 1971–1990	224
Table 11.1. Frequency (%) of bio-thermal types of weather at various bioclimatic regions, 1971–1990	
Tabela 11.2. Częstość występowania (%) biotermicznych podtypów pogody w różnych regionach bioklimatycznych, 1971–1990	229
Table 11.2. Frequency (%) of bio-thermal weather subtypes in various bioclimatic regions, 1971–1990	
Tabela 11.3. Częstość występowania (%) klas pogody w różnych regionach bioklimatycznych, 1971–1990	238
Table 11.3. Frequency (%) of weather classes in various bioclimatic regions, 1971–1990	
Tabela 11.4. Średnie miesięczne wartości kompleksowego wskaźnika oceny pogody dla rekreacji (WRI), 1971–1990	249
Table 11.4. Mean monthly values of weather recreation index (WRI), 1971–1990	
Tabela 12.1. Średnie wartości temperatury odczuwanej fizjologicznie PST ($^{\circ}\text{C}$) o godz. 12:00 UTC, 1971–1990	254
Table 12.1. Mean values of PST index ($^{\circ}\text{C}$) at 12:00 UTC, 1971–1990	
Tabela 12.2. Częstość (%) występowania różnych odczuć cieplnych człowieka, określonych na podstawie wartości PST , 1971–1990	258
Table 12.2. Frequency (%) of various thermal sensations in man due to PST index, 1971–1990	

Tabela 12.3. Średnie wartości wskaźnika stresu termofizjologicznego (<i>PhS</i>), 1971–1990	264
Table 12.3. Mean values of physiological strain index (<i>PhS</i>), 1971–1990	
Tabela 12.4. Średnie miesięczne wartości wskaźnika obciążenia cieplnego (<i>UTCI</i>), 1971–1990	269
Table 12.4. Mean monthly values of <i>UTCI</i> , 1971–1990	

SPIS RYCIN I FOTOGRAFII

LIST OF FIGURES AND PHOTOS

Ryc. 2.1. Człowiek i środowisko atmosferyczne.....	14
Fig. 2.1. Man in the atmospheric environment	
Ryc. 2.2. Cykliczne zmiany temperatury skóry człowieka (T_{sk}) podczas wysokiej temperatury powietrza i ekspozycji na działanie promieniowania słonecznego, 14 lipca 1996 r., Borowa Góra	17
Fig. 2.2. Periodic changes in skin temperature (T_{sk}) during high air temperature and intensive insolation, 14 July 1996, Borowa Góra	
Ryc. 3.1. Podział widma fal elektromagnetycznych	25
Fig. 3.1. Spectrum of electromagnetic waves	
Ryc. 3.2. Przenikanie promieniowania słonecznego przez atmosferę	26
Fig. 3.2. Transfer of solar radiation through the atmosphere	
Ryc. 3.3. Udział promieniowania bezpośredniego (K_{dir}) i rozproszonego (K_{dif}) w całkowitym promieniowaniu słonecznym w różnych miastach Europy, 1981–1990.....	29
Fig. 3.3. Ratio of direct (K_{dir}) and diffuse (K_{dif}) radiation in global solar radiation in selected European cities, 1981–1990	
Ryc. 3.4. Wysokość Słońca na różnych szerokościach geograficznych w Europie w wybranych dniach roku: A – równonoc wiosenna i jesienna, B – przesilenie letnie, C – przesilenie zimowe	32
Fig. 3.4. Sun altitude at various latitudes in Europe in selected days of the year: A – spring/autumn equinox, B – summer solstice, C – winter solstice	
Ryc. 3.5. Maksymalny czas bezpiecznego przebywania na słońcu ($MTSE$, w min) osób z różnymi typami skóry (por. tabela 3.5) w zależności od wartości wskaźnika UV	34
Fig. 3.5. Maximal time of solar exposition ($MTSE$, in min) at subjects with various type of skin (see table 3.5) in relation to UV index	
Ryc. 3.6. Przykład rozkładu wskaźnika UV w Europie i Afryce w dniu 6 września 2010 r.	36
Fig. 3.6. Example of UVI distribution in Europe and Africa at 6 September 2010	

- Ryc. 3.7. Ogólna zawartość ozonu stratosferycznego nad Antarktyką w okresie 1955–2009; pomiary naziemne (Obserwatorium w Zatoce Halleya) oraz dane z urządzeń zainstalowanych na satelitach: TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) i OMI (Ozone Monitoring Instrument) 37
- Fig. 3.7. Stratospheric ozone volume over Antarctica, 1955–2009; ground measurements (Halley Bay Observatory), satellite data from the Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) and Ozone Monitoring Instrument (OMI)
- Ryc. 3.8. Średnie sezonowe wartości promieniowania fotosyntetycznie aktywnego (PAR) w różnych przedziałach doby w Polsce, południowej Japonii i północnym Wietnamie 39
- Fig. 3.8. Mean seasonal values of photosynthetically active radiation (PAR) in various hour intervals in Poland, south Japan and north Vietnam
- Ryc. 3.9. Rytm dobowy koncentracji melatoniny w organizmie człowieka w różnych porach roku i regionach: południowej Japonii, północnym Wietnamie i środkowej Polsce 40
- Fig. 3.9. Daily rhythm of melatonin concentration in humans in various seasons and regions: south Japan, north Vietnam and central Poland
- Ryc. 3.10. Schemat powstawania tęczy głównej i tęczy wtórnej. Tęcza główna (linia gruba) powstaje w wyniku jednego odbicia wewnątrz kropli wody; jest bardzo jasna i wyraźna. Tęcza wtórna (linia cienka) powstaje w wyniku podwójnego odbicia promienia wewnątrz kropli; w związku z tym jest przyćmiona i mało wyraźna. Zewnętrzny skraj tęczy głównej jest czerwony, a wewnętrzny fioletowy. W tęczy wtórnej układ barw jest odwrotny. 41
- Fig. 3.10. Scheme of main and duplicate rainbow
- Ryc. 3.11. Związek pomiędzy zmierzoną ilością pochłoniętego promieniowania słonecznego (R) a temperaturą skóry obserwatorów (T_{sk}) 43
- Fig. 3.11. Relationships between absorbed solar radiation (R) and skin temperature in man (T_{sk})
- Ryc. 3.12. Różne sposoby wyrażania współczynnika β służącego do obliczenia pochłoniętego promieniowania słonecznego: 1 – funkcja trygonometryczna (np. Budyko, Cyncenko 1960; Błażejczyk 1994; Krys, Brown 1990), 2 – funkcja wielkości cienia rzucanego przez człowieka na podłoże (Terjung, Louie 1971), 3 – funkcja powierzchni ciała, na którą padają promienie słoneczne (Breckenridge, Goldman 1971), 4 – funkcja zarysu sylwetki człowieka na powierzchni prostopadłej do promieni słonecznych (Underwood, Ward 1966) 45
- Fig. 3.12. Various ways to assess β coefficient of absorption of solar radiation: 1 – trigonometrical function, 2 – shaded area factor, 3 – body area received solar rays, 4 – projected area factor
- Ryc. 3.13. Natężenie promieniowania słonecznego pochłoniętego przez odkryty elipsoidalny model ciała człowieka (R_e) przy różnym kącie padania promieni lampy słonecznej ($^\circ$) i różnej barwie podłoża 46

- Fig. 3.13. Intensity of solar radiation absorbed by an ellipsoid model of man (Re) at various inclination of solar rays ($^\circ$) emitted by iodide lamp and at different colour of floor
- Ryc. 3.14. Roczne sumy usłonecznienia rzeczywistego w wybranych stacjach meteorologicznych w Europie, 1981–1990 48
- Fig. 3.14. Annual sums of sunshine duration at selected meteorological stations in Europe, 1981–1990
- Ryc. 3.15. Sumy dzienne usłonecznienia rzeczywistego (godz.) w Polsce, 1951–1975 49
- Fig. 3.15. Daily sums of sunshine duration (hours) in Poland, 1951–1975
- Ryc. 3.16. Maksymalne wartości ciśnienia pary wodnej (VP) w różnej temperaturze powietrza (t): linią przerywaną zaznaczono ciśnienie pary wodnej nasyconej w temperaturze ciała człowieka 53
- Fig. 3.16. Saturated vapour pressure (VP) at various air temperature (t): dotted line indicate saturated vapour pressure at human's body temperature
- Ryc. 3.17. Przebieg dzienny wilgotności względnej powietrza (RH) i ciśnienia pary wodnej (vp) podczas pogodnego dnia letniego, Krasnobród, 11 lipca 2000..... 54
- Fig. 3.17. Daily course of relative humidity (RH) and actual vapour pressure (vp) during sunny, summer day, Krasnobród, 11 July 2000
- Ryc. 3.18. Niedosyt fizjologiczny (Df) oraz wilgotność fizjologiczna (Ff) podczas pogodnego dnia letniego, Krasnobród, 11 lipca 2000 r. 55
- Fig. 3.18. Daily course of physiological vapour deficit (Df) and physiological humidity (Ff) during sunny, summer day, Krasnobród, 11 July 2000
- Ryc. 3.19. Zmiany ciśnienia atmosferycznego (ap) wraz z wysokością 58
- Fig. 3.19. Changes of air pressure (ap) due to altitude
- Ryc. 3.20. Zmiany ciśnienia cząsteczkowego tlenu w powietrzu i w pęcherzykach płucnych wraz ze wzrostem wysokości nad poziom morza PiO_2 – ciśnienie cząsteczkowe tlenu wewnątrz dróg oddechowych (powietrze wilgotne), PaO_2 – ciśnienie cząsteczkowe tlenu w pęcherzykach płucnych 59
- Fig. 3.20. Changes in partial pressure of oxygen in the air and in the lungs due to increase of altitude: PiO_2 – oxygen pressure in respiratory tracts, PaO_2 – oxygen pressure in the lungs
- Ryc. 4.1. Diagram informacji klimatyczno-turystycznej ($CTIS$) dla Helsinek, 1991–2000..... 66
- Fig. 4.1. Climate-Tourism-Information-Scheme ($CTIS$) for Helsinki, 1991–2000
- Ryc. 5.1. Człowiek i jego środowisko termiczne: elementy meteorologiczne: t – temperatura powietrza, vp – ciśnienie pary wodnej, v – prędkość wiatru; promieniowanie słoneczne: $Kdir$ – bezpośrednie, $Kdif$ – rozproszone, $Kref$ – odbite; promieniowanie ciepłne: La – promieniowanie ciepłne otoczenia, Lg – emisja ciepłna podłóża; strumienie ciepłna:

<i>M</i> – metabolizm, <i>E</i> – ewaporacja, <i>C</i> – konwekcja, <i>Kd</i> – kondukcja, <i>L</i> – radiacja, <i>Res</i> – respiracja	83
Fig. 5.1. Man and his thermal environment: meteorological elements: <i>t</i> – air temperature, <i>vp</i> – vapour pressure, <i>v</i> – wind speed; solar radiation: <i>Kdir</i> – direct, <i>Kdif</i> – diffuse, <i>Kref</i> – reflected; thermal radiation: <i>La</i> – thermal radiation of surroundings, <i>Lg</i> – ground radiation; heat fluxes: <i>M</i> – metabolism, <i>E</i> – evaporation, <i>C</i> – convection, <i>Kd</i> – conduction, <i>L</i> – radiation, <i>Res</i> – respiration	
Ryc. 5.2. Odchylenia produkcji ciepła i sumy jego strat od wartości średniej dobowej	85
Fig. 5.2. Deviations of heat production and heat losses from mean daily values	
Ryc. 5.3. Całkowite promieniowanie słoneczne (<i>Kglob</i>) oraz promieniowanie pochłonięte przez manekina (<i>Rm</i>) przy różnej wysokości Słońca (<i>h</i>), przy zachmurzeniu nie większym od 20%	88
Fig. 5.3. Global solar radiation (<i>Kglob</i>) and absorbed solar radiation (<i>Rm</i>) at various Sun altitude (<i>h</i>) at cloudiness $\leq 20\%$	
Ryc. 5.4. Całkowite promieniowanie słoneczne (<i>Kglob</i>) oraz promieniowanie pochłonięte przez manekina (<i>Rm</i>) przy różnej wysokości Słońca, przy zachmurzeniu 21–50%	89
Fig. 5.4. Global solar radiation (<i>Kglob</i>) and absorbed solar radiation (<i>Rm</i>) at various Sun altitude (<i>h</i>) and at cloudiness of 21–50%	
Ryc. 5.5. Temperatura powierzchni manekina (<i>Tm</i>) i pochłonięte przez manekina promieniowanie słoneczne (<i>Rm</i>) jako funkcja temperatury powietrza (<i>t</i>) i całkowitego promieniowania słonecznego (<i>Kglob</i>) obserwowane w części eksponowanej i nieeksponowanej ku tarczy słonecznej	90
Fig. 5.5. Temperature of a mannequin „skin” (<i>Tm</i>) and absorbed solar radiation (<i>Rm</i>) as a function of air temperature (<i>t</i>) and global solar radiation (<i>Kglob</i>) observed on exposed to the sun and shaded parts of a mannequin	
Ryc. 5.6. Różnice temperatury pomiędzy nasłonecznioną i zacienioną częścią manekina (<i>dTm</i>) jako funkcja udziału promieniowania bezpośredniego w całkowitym promieniowaniu słonecznym (<i>Kdir/Kglob</i>) ..	91
Fig. 5.6. Temperature differences (<i>dTm</i>) between sunny and shaded parts of a mannequin as a function of direct solar radiation fraction (<i>Kdir/Kglob</i>)	
Ryc. 5.7. Temperatura skóry (<i>Tsk</i>) i promieniowanie pochłonięte (<i>R</i>) przez osobę stojącą w miejscu nasłonecznionym i zacienionym jako funkcja całkowitego promieniowania słonecznego (<i>Kglob</i>)	92
Fig. 5.7. Skin temperature (<i>Tsk</i>) and absorbed solar radiation (<i>R</i>) in subjects at sunny place and shaded place as a function of global solar radiation (<i>Kglob</i>)	
Ryc. 5.8. Związek pomiędzy współczynnikiem pochłaniania (β) różnych strumieni promieniowania słonecznego a wysokością słońca (<i>h</i>)	93
Fig. 5.8. Relationships between absorption coefficient (β) of various fluxes of solar radiation and Sun altitude (<i>h</i>)	

- Ryc. 5.9. Natężenie strumienia ciepła (R_m), którego źródłem jest pochłonięte promieniowanie słoneczne, obserwowane na powierzchni manekina nieubranego oraz pod warstwą odzieży o termoizolacyjności 1 clo (przy albedo odzieży 30%), jako funkcja całkowitego promieniowania słonecznego (K_{glob}) 93
- Fig. 5.9. Solar radiation absorbed by a mannequin (R_m): clothed (1 clo, albedo 30%) and nude as a function of global solar radiation (K_{glob})
- Ryc. 5.10. Promieniowanie pochłonięte przez manekina (R_m) i człowieka (R) oraz temperatura powierzchni manekina (T_m) i temperatura skóry człowieka (T_{sk}) ubranych w odzież czarną i białą o termoizolacyjności 0,6 clo przy różnym natężeniu całkowitego promieniowania słonecznego (K_{glob}) 94
- Fig. 5.10. Solar radiation absorbed by a mannequin (R_m) and man (R) as well as temperature of a mannequin (T_m) and skin temperature (T_{sk}) in subjects used black and white clothing (0.6 clo insulation) as the functions of global solar radiation (K_{glob})
- Ryc. 5.11. Ilość ciepła docierająca do powierzchni ciała (R) w przypadku osób stojących tyłem i przodem do tarczy słonecznej w zależności od natężenia całkowitego promieniowania słonecznego (K_{glob}) 95
- Fig. 5.11. Absorbed solar radiation (R) at subjects stood backing and facing to the sun as a function of global solar radiation (K_{glob})
- Ryc. 5.12. Wpływ temperatury powietrza (t) na straty ciepła na parowanie (E) według różnych autorów 98
- Fig. 5.12. Evaporation heat loss (E) at various air temperature (t) due to different authors
- Ryc. 5.13. Zmiany temperatury skóry podczas intensywnego marszu w górach: T_{sk} – średnia ważona temperatury skóry, T_{pr} – temperatura skóry przedramienia, T_p – temperatura skóry piersi, T_u – temperatura skóry uda; poziomy aktywności: a – spoczynek, b – marsz w górę, c – marsz w dół 98
- Fig. 5.13. Changes in skin temperature during intensive mountains tourism: T_{sk} – mean skin temperature, T_{pr} – forearm temperature, T_p – torso temperature, T_u – thigh temperature; activity levels: a – rest, b – walking uphill, c – walking downhill
- Ryc. 5.14. Wpływ temperatury (t) i wilgotności względnej powietrza (RH) na respiracyjne straty ciepła (Res) 100
- Fig. 5.14. Respiratory heat loss (Res) at various air temperature (t) and relative humidity (RH)
- Ryc. 5.15. Strefy przepływu powietrza wokół człowieka w warunkach słabego i umiarkowanego wiatru (do 4 m s^{-1}) 100
- Fig. 5.15. Zones of air flow over the human body (at wind speed $< 4 \text{ m s}^{-1}$)
- Ryc. 5.16. Profile zmian temperatury (t) i prędkości ruchu (v) powietrza w strefie przepływu laminarnego i turbulencyjnego 101

- Fig. 5.16. Profiles of air temperature (t) and air motion (v) at the zones of laminar and turbulent flow
- Ryc. 5.17. Wymiana ciepła poprzez unoszenie (C) przy różnej temperaturze powietrza (t) i prędkości wiatru (v); uśrednione wyniki pomiarów przeprowadzonych w Polsce północno-wschodniej w lipcu 1989 r. na grupie osób ubranych w odzież o izolacyjności termicznej 1 clo..... 102
- Fig. 5.17. Convective heat exchange (C) at various air temperature (t) and wind speed (v); averaged results of research carried out in north-eastern Poland in July 1989 with subjects wearing 1 clo garments
- Ryc. 5.18. Wymiana ciepła poprzez promieniowanie długofalowe (L) przy różnej temperaturze powietrza (t) i w odzieży o różnej izolacyjności termicznej (I_{cl}) 104
- Fig. 5.18. Heat exchange by long-wave radiation (L) at various air temperature (t) and clothing insulation (I_{cl})
- Ryc. 5.19. Wpływ temperatury otoczenia na produkcję ciepła (M) i jego straty (E – ewaporacyjne, C – konwekcyjne, L – radiacyjne, Kd – kondukcyjne) oraz na temperaturę wewnętrzną (t_c) i temperaturę skóry człowieka (T_{sk}); 1 – strefa wychładzania organizmu, 2 – temperatura, w której metabolizm jest największy i rozpoczyna się wychładzanie, 3 – strefa narastającego stresu zimna, 4 – temperatura krytyczna, 5 – strefa najmniejszego obciążenia układu termoregulacyjnego, 6 – temperatura, w której wzrastają straty ciepła na parowanie, 7 – strefa narastającego stresu gorąca, 8 – temperatura, w której zaczyna się przegrzewanie organizmu, 9 – strefa przegrzewania organizmu; układ termoregulacyjny jest w pełni sprawny w strefach od 3 do 7 106
- Fig. 5.19. Influence of ambient temperature on heat production (M), heat losses (E – by evaporation, C – by convection, L – by long-wave radiation, Kd – by conduction) as well as on core temperature (t_c) and skin temperature (T_{sk}) in man; 1 – organism overcooling, 2 – temperature of the highest metabolism, 3 – increasing cold stress, 4 – critical temperature, 5 – the lowest load of thermoregulation system, 6 – temperature of sweat secretion, 7 – increasing hot stress, 8 – maximal tolerated hot stress, 9 – organism overheating; thermoregulation system is efficient within range of 3–7
- Ryc. 5.20. Sprawność układu termoregulacyjnego w różnej temperaturze wewnętrznej; w pojedynczych przypadkach dolny poziom przeżycia obserwowano nawet przy temperaturze wewnętrznej równej 18°C.... 107
- Fig. 5.20. Efficiency of thermoregulatory system at various core temperature
- Ryc. 5.21. Powiązania różnych mechanizmów termoregulacji (wg) 109
- Fig. 5.21. Thermoregulatory mechanisms in man
- Ryc. 5.22. Rozkład temperatury powierzchni ciała w różnej temperaturze otoczenia (t) 110
- Fig. 5.22. Distribution of skin temperature at various ambient temperature (t)

- Ryc. 5.23. Przebieg temperatury: powietrza (t), klatki piersiowej (T_b) i policzka (T_c) oraz strumieni ciepła: parowania (E), unoszenia (C), promieniowania długofalowego (L), salda wymiany ciepła (S) oraz drżenia mięśniowego ($Shiv$) podczas ekspozycji w różnych miejscach pobytu: 1 – pomieszczenie, 2 – marsz 4 km na godz., 3 – stojąc twarzą do wiatru, 4 – stojąc plecami do wiatru, 5 – zjazd sankami. Saariselka (Finlandia), 9 lutego 2008 r. 112
- Fig. 5.23. Changes in: temperature of air (t), torso (T_b) and cheek (T_c); heat fluxes by evaporation (E), convection (C), long-wave radiation (L), net heat storage (S) and shivering ($Shiv$) during long lasting exposure in various locations (1 – indoor, 2 – walking 4 km·h⁻¹, 3 – standing face to wind, 4 – standing back to wind, 5 – sledge downhill). Saariselka (Finland), 9 February 2008
- Ryc. 5.24. Rozkład temperatury na powierzchni twarzy przed ekspozycją terenową oraz po 20 minutach ekspozycji twarzą do wiatru o prędkości 12 m s⁻¹ w temperaturze -10°C, Saariselka (Finlandia), 7 lutego 2008. 113
- Fig. 5.24. Distribution of face temperature along cross section before outdoor exposure (upper panel) and after 20 min of exposure facing to wind of 12 ms⁻¹ at air temperature of -10°C, Saariselka (Finland), 7 February 2008
- Ryc. 5.25. Zmiany temperatury skóry (T_{sk}) oraz ilości wydzielanego potu (SR) i ogólnych strat wody z organizmu (WL) podczas ekspozycji w warunkach wysokiej temperatury powietrza (t) na Pustyni Negev; metabolizm badanych zmieniał się od 70 do 95 W·m⁻² 115
- Fig. 5.25. Changes in skin temperature (T_{sk}), sweat rate (SR) and total water loss (WL) from the body during exposure to high air temperature (t) at Negev Desert; metabolism in subjects varied from 70 to 95 W·m⁻²
- Ryc. 5.26. Budowa skóry człowieka 116
- Fig. 5.26. Skin in man
- Ryc. 5.27. Obraz termalny (wykonany kamerą termowizyjną ThermaCAM PM695, Flir Systems, Szwecja) osób eksponowanych na niską temperaturę powietrza (-12°C) oraz silny wiatr (12 m·s⁻¹); 3 osoby ubrane w odzież zimową o termoizolacyjności około 2 clo, osoba z prawej strony bez ocieplającej warstwy pod spodniami 117
- Fig. 5.27. Infrared view (by ThermaCAM PM695, Flir System, Sweden) of subjects exposed to low air temperature (-12°C) and strong wind (12 m·s⁻¹); 3 subjects have used winter clothing with insulation of about 2 clo, subject on the right without warm under wearing on legs
- Ryc. 7.1. Przebieg dobowy temperatury powietrza (t) i prędkości wiatru (v) w wybranym dniu upalnym (1. 07.2001) i mroźnym (3.01. 2002), Warszawa 127
- Fig. 7.1. Daily courses of air temperature (t) and wind speed (v) in hot day (1. 07.2001) and frosty day (3.01. 2002), Warsaw

- Ryc. 7.2. Przebieg dobowy wskaźnika ochładzania wiatrem (*WCI*) i temperatury powietrza (*t*) w dniu bardzo mroźnym (3 stycznia 2002, Warszawa) 130
- Fig. 7.2. Daily course of wind chill index (*WCI*) and air temperature (*t*) during frosty day (3 Jan. 2002, Warsaw)
- Ryc. 7.3. Przebieg dobowy temperatury ochładzania wiatrem (*WCT*) i temperatury powietrza (*t*) w dniu bardzo mroźnym (3 stycznia 2002, Warszawa) 132
- Fig. 7.3. Daily course of wind chill temperature (*WCT*) and air temperature (*t*) during frosty day (3 Jan. 2002, Warsaw)
- Ryc. 7.4. Przebieg dobowy wartości wskaźnika *Humidex* i temperatury powietrza (*t*) w dniu upalnym (1 lipca 2001, Warszawa)..... 133
- Fig. 7.4. Daily course of *Humidex* and air temperature (*t*) during hot day (1 July 2001, Warsaw)
- Ryc. 7.5. Diagram do wyznaczania temperatury efektywnej (skala podstawowa, dla człowieka stojącego, rozebranego) 135
- Fig. 7.5. Diagram of effective temperature (basic scale – standing, nude man)
- Ryc. 7.6. Diagram do wyznaczania temperatury efektywnej (skala normalna, dla człowieka wykonującego lekką pracę, ubranego w zwykłą odzież letnią) 136
- Fig. 7.6. Diagram of effective temperature (normal scale – man walking in summer clothing)
- Ryc. 7.7. Skala odczuć cieplnych określonych na podstawie temperatury efektywnej, obszar Polski temperaturze średniej rocznej temperaturze powietrza 7–8°C 137
- Fig. 7.7. Scale of thermal sensations in man at various values of effective temperature
- Ryc. 7.8. Przebieg dobowy temperatury efektywnej (*TE*), temperatury promieniowo-efektywnej (*TRE*) i temperatury powietrza (*t*) w dniu upalnym (1 lipca 2001, Warszawa)..... 138
- Fig. 7.8. Daily course of effective temperature (*TE*), radiation-and-effective temperature (*TRE*) and air temperature (*t*) during hot day (1 July 2001, Warsaw)
- Ryc. 7.9. Przebieg dobowy ekwiwalentu temperatury standardowej (*SST*) i temperatury powietrza (*t*) w dniu upalnym (1 lipca 2001, Warszawa) 140
- Fig. 7.9. Daily course of still-shade temperature (*SST*) and air temperature (*t*) during hot day (1 July 2001, Warsaw)
- Ryc. 7.10. Przebieg dobowy częstotliwości tętna (*HR*) i temperatury powietrza (*t*) w dniu upalnym (1 lipca 2001, Warszawa) 141
- Fig. 7.10. Daily course of heart rate (*HR*) and air temperature (*t*) during hot day (1 July 2001, Warsaw)

Ryc. 7.11. Dopuszczalny poziom aktywności fizycznej (<i>MHR</i>) przy różnej temperaturze powietrza (<i>t</i>) w dniu upalnym (1 lipca 2001, Warszawa)	141
Fig. 7.11. Maximal level of activity (<i>MHR</i>) at various air temperature (<i>t</i>) during hot day (1 July 2001, Warsaw)	
Ryc. 7.12. Przebieg dobowy wartości wskaźnika <i>Iclp</i> w dniu zimowym i letnim.....	143
Fig. 7.12. Daily course of <i>Iclp</i> index in winter and summer days	
Ryc. 7.13. Przebieg dobowy zawartości tlenu w powietrzu (<i>Ov</i>) oraz temperatury powietrza (<i>t</i>) w dniu letnim	144
Fig. 7.13. Daily courses of oxygen volume (<i>Ov</i>) and air temperature (<i>t</i>) during summer day	
Ryc. 7.14. Przebieg dobowy temperatury powietrza (<i>t</i>) i wskaźnika <i>WBGT</i> w dniu letnim	145
Fig. 7.14. Daily course of air temperature (<i>t</i>) and <i>WBGT</i> index in summer day	
Ryc. 7.15. Przebieg dobowy wartości temperatury pozornej (<i>AT</i>) w dniu zimowym i letnim oraz temperatury powietrza (<i>t</i>) w dniu letnim	146
Fig. 7.15. Daily course of Apparent Temperature (<i>AT</i>) in winter and summer days as well as air temperature (<i>t</i>) in summer day	
Ryc. 8.1. Zmiany strat ciepła na parowanie z powierzchni skóry (<i>Esk</i>) jako odpowiedź dostosowawcza organizmu na zmianę temperatury otoczenia (<i>t</i>); strzałkami oznaczono momenty zmiany środowiska termicznego	148
Fig. 8.1. Changes in evaporative heat loss from the skin (<i>Esk</i>) as adaptive response of an organism to varying ambient temperature (<i>t</i>); arrows indicate changes of ambient conditions	
Ryc. 8.2. Ogólny schemat modelu wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem – <i>MENEX_2005</i>	151
Fig. 8.2. General scheme of man-environment heat exchange model <i>MENEX_2005</i>	
Ryc. 8.3. Podsystem pasywny modelu Fiala; 1–19 – numery węzłów wymiany ciepła w obrębie uda	153
Fig. 8.3. Passive sub-system of Fiala model; 1–19 – numbers of nodes at thigh cross section	
Ryc. 8.4. Podsystem aktywny modelu bilansu cieplnego człowieka Fiala	155
Fig. 8.4. Active sub-system of Fiala model	
Ryc. 8.5. Intensywność reakcji fizjologicznych organizmu: temperatury skóry (<i>Tsk</i>), ilości wydzielonego potu (<i>SW</i>) i częstotliwości tętna (<i>HR</i>) przy różnych wartościach wskaźnika stresu termofizjologicznego (<i>PhS</i>).....	158
Fig. 8.5. Intensity of physiological reactions of an organism: skin temperature (<i>Tsk</i>), sweat secretion (<i>SW</i>) and heart rate (<i>HR</i>) at various values of physiological strain index (<i>PhS</i>)	

Ryc. 8.6. Wartości wskaźnika stresu termofizjologicznego (<i>PhS</i>) w wybranych dniach w Warszawie podczas spacerów z prędkością 4 km na godzinę	159
Fig. 8.6. Physiological strain (<i>PhS</i>) in Warsaw when walking with the speed of 4 km per hour	
Ryc. 8.7. Wartości temperatury odczuwanej fizjologicznie (<i>PST</i>) w wybranych dniach w Warszawie podczas spacerów z prędkością 4 km na godzinę	160
Fig. 8.7. Physiological subjective temperature (<i>PST</i>) in Warsaw when walking with the speed of 4 km per hour	
Ryc. 8. 8. Straty wody z organizmu (<i>SW</i>) w wybranych dniach w Warszawie podczas spacerów z prędkością 4 km na godzinę	162
Fig. 8. 8. Water loss (<i>SW</i>) in Warsaw when walking with the speed of 4 km per hour	
Ryc. 8.9. Wynikowa izolacyjność termiczna odzieży (<i>Icl, r</i>) według różnych badań oraz według przyjętego modelu jako funkcja temperatury otoczenia (<i>Ta</i>) i prędkości wiatru (<i>va</i>)	165
Fig. 8.9. Resultant thermal insulation of clothing (<i>Icl, r</i>) due to different authors and new developed clothing model as a function of ambient temperature (<i>Ta</i>) and wind speed (<i>va</i>)	
Ryc. 8. 10. Koncepcja przejścia od wielowymiarowego pola informacji meteorologiczno-fizjologicznej do jednowymiarowego wskaźnika <i>UTCI</i> ; <i>Ta</i> – temperatura powietrza, <i>Tmrt</i> – średnia temperatura promieniowania, <i>vp</i> – ciśnienie pary wodnej, <i>va</i> – prędkość wiatru.....	166
Fig. 8. 10. Concept of transient from multi-dimensional meteorological and physiological information to one-dimensional <i>UTCI</i> ; <i>Ta</i> – air temperature, <i>Tmrt</i> – mean radiant temperature, <i>vp</i> – vapour pressure, <i>va</i> – wind speed	
Ryc. 8. 11. Wartości obciążeń cieplnych człowieka (<i>UTCI</i>) w wybranych dniach w Warszawie podczas spacerów z prędkością 4 km na godzinę	172
Fig. 8. 11. Universal Thermal Climate Index (<i>UTCI</i>) in Warsaw when walking with the speed of 4 km per hour	
Ryc. 8. 12. Związek pomiędzy wartościami uniwersalnego wskaźnika obciążeń cieplnych człowieka obliczonymi metodą pełną (<i>UTCI</i>) i uproszczoną (<i>UTCI*</i>)	173
Fig. 8. 12. Relationships between the values of Universal Thermal Climate Index calculated by full (<i>UTCI</i>) and simplified (<i>UTCI*</i>) formulas	
Ryc. 8. 13. Wartości wskaźnika stresu cieplnego (<i>HSI</i>) w wybranych dniach w Warszawie podczas spacerów z prędkością 4 km na godzinę.....	175
Fig. 8. 13. Heat stress index (<i>HSI</i>) in Warsaw when walking with the speed of 4 km per hour	
Ryc. 9.1. Diagram do wyznaczania wartości wskaźników <i>Cla</i> i <i>Cld</i>	178
Fig. 9.1. Diagrams used for assessing <i>Cla</i> and <i>Cld</i> coefficients of tourism-climate index (<i>TCI</i>)	

Ryc. 9.2. Przebieg roczny wartości wskaźnika <i>TCI</i> w wybranych miastach europejskich.....	179
Fig. 9.2. Annual course of Tourism Climate Index (<i>TCI</i>) in selected European cities	
Ryc. 9.3. Właściwości ogólnego modelu oceny [9.10]; <i>y</i> – wartość oceny, <i>x</i> – cechy jakościowe oceny, <i>z</i> – cechy ilościowe oceny	188
Fig. 9.3. Specificity of general evaluation model [9.10]; <i>y</i> – evaluation quantity, <i>x</i> – quantity features of evaluation, <i>z</i> – quality features of evaluation	
Ryc. 9.4. Średnie sezonowe wartości wskaźnika <i>WRI</i> w wybranych miastach europejskich, 1991–2000	189
Fig. 9.4. Mean seasonal values of <i>WRI</i> index in selected European cities, 1991–2000	
Ryc. 10.1. Regiony bioklimatyczne Polski: I – Nadmorski, II – Pojezierny, III – Północno-wschodni, IV – Centralny, V – Południowo-wschodni, VI – Świętokrzysko-małopolski, VII – Sudecki, VIII – Karpacki. Podstawowe charakterystyki warunków klimatycznych w sezonie letnim i zimowym zawiera tabela 10.1.....	192
Fig. 10.1. Bioclimatic regions of Poland: I – Seashore, II – Lakeland, III – North-eastern, IV – Central, V – South-eastern, VI – Upland, VII – Sudetic, VIII – Carpathian. For essential climate characteristics see table 10.1	
Ryc. 10.2. Średnie sumy dzienne usłonecznienia rzeczywistego w regionach bioklimatycznych (I–VIII, patrz Ryc. 10.1)	194
Fig. 10.2. Mean daily sunshine duration in bioclimatic regions (I–VIII, see Fig. 10.1)	
Ryc. 10.3. Średnie wartości zachmurzenia o godz. 12:00 UTC w różnych regionach bioklimatycznych (I–VIII, patrz Ryc. 10.1)	197
Fig. 10.3. Mean cloudiness at 12:00 UTC in bioclimatic regions (I–VIII, see Fig. 10.1)	
Ryc. 10.4. Przebieg roczny składników bilansu radiacyjnego człowieka: <i>L</i> – straty ciepła poprzez promieniowanie długofalowe, <i>R</i> – pochłonięte promieniowanie słoneczne, <i>Q</i> – bilans radiacyjny	199
Fig. 10.4. Annual course of the components of radiation balance in man: <i>L</i> – heat loss by long-wave radiation, <i>R</i> – absorbed solar radiation, <i>Q</i> – net radiation	
Ryc. 10.5. Średnie wartości temperatury powietrza o godzinie 12:00 UTC w różnych regionach bioklimatycznych (I–VIII, patrz Ryc. 10.1).....	201
Fig. 10.5. Mean values of air temperature at 12:00 UTC in bioclimatic regions (I–VIII, see Fig. 10.1)	
Ryc. 10.6. Średnia liczba dni bardzo mroźnych w sezonie zimowym i dni gorących w sezonie letnim w różnych regionach bioklimatycznych (I–VIII, patrz Ryc. 10.1)	203
Fig. 10.6. Mean number of very frosty days in winter season and hot days in summer season in bioclimatic regions (I–VIII, see Fig. 10.1)	
Ryc. 10.7. Sezonowe sumy opadów atmosferycznych w różnych regionach bioklimatycznych (I–VIII, patrz Ryc. 10.1)	214

- Fig. 10.7. Seasonal totals of precipitations in bioclimatic regions (I–VIII, see Fig. 10.1)
- Ryc. 10.8. Średnia liczba dni z opadem atmosferycznym $\geq 0,1$ mm w różnych regionach bioklimatycznych (I–VIII, patrz Ryc. 10.1) 216
- Fig. 10.8. Mean number of the days with precipitations ≥ 0.1 mm in bioclimatic regions (I–VIII, see Fig. 10.1)
- Ryc. 10.9. Średnia liczba dni z mgłą w różnych regionach bioklimatycznych (I–VIII, patrz Ryc. 10.1) 219
- Fig. 10.9. Mean number of foggy days in bioclimatic regions (I–VIII, see Fig. 10.1.)
- Ryc. 10.10. Średnia liczba dni z burzą w różnych regionach bioklimatycznych (I–VIII, patrz Ryc. 10.1) 220
- Fig. 10.10. Mean number of thunderstorm days in bioclimatic regions (I–VIII, see Fig. 10.1)
- Ryc. 11.1. Częstość (%) typów pogody w poszczególnych porach roku w różnych regionach bioklimatycznych Polski: I – Nadmorskim (Łeba), II – Pojeziernym (Połczyn), III – Północno-wschodnim (Gołdap), IV – Centralnym (a – Ciechocinek, b – Warszawa), V – Południowo-wschodnim (Nałęczów), VI – Świętokrzysko-małopolskim (Szaniec), VII – Sudeckim (a – Łądek, b – Głuchołazy), VIII – Karpackim (a – Rabka, b – Hala Gąsienicowa) 227
- Fig. 11.1. Frequency (%) of weather types at particular seasons in bioclimatic regions of Poland: I – Seashore (Łeba), II – Lakeland (Połczyn), III – North-eastern (Gołdap), IV – Central (a – Ciechocinek, b – Warsaw), V – South-eastern (Nałęczów), VI – Upland (Szaniec), VII – Sudetic (a – Łądek, b – Głuchołazy), VIII – Carpathian (a – Rabka, b – Hala Gąsienicowa, Tatra Mts.)
- Ryc. 11.2. Częstość (%) występowania dni o różnym natężeniu bodźców radiacyjnych w poszczególnych porach roku i regionach bioklimatycznych (I–VIIIb) (objaśnienia jak na Ryc. 11.1) 234
- Fig. 11.2. Frequency (%) of days with various intensity of radiation stimuli in particular seasons and bioclimatic regions (I–VIIIb) (for explanations see Fig. 11.1)
- Ryc. 11.3. Częstość (%) występowania dni o różnym rodzaju stresu termofizjologicznego w poszczególnych porach roku i regionach bioklimatycznych (I–VIIIb) (objaśnienia jak na Ryc. 11.1) 235
- Fig. 11.3. Frequency (%) of days with various physiological strain type in particular seasons and bioclimatic regions (I–VIIIb) (for explanations see Fig. 11.1)
- Ryc. 11.4. Częstość (%) występowania dni o różnym natężeniu uczucia parności w poszczególnych porach roku i regionach bioklimatycznych (I–VIIIb) (objaśnienia jak na Ryc. 11.1) 237
- Fig. 11.4. Frequency (%) of days with various intensity of sultriness in particular seasons and bioclimatic regions (I–VIIIb) (for explanations see Fig. 11.1)

- Ryc. 11.5. Częstość (%) występowania dni o różnym natężeniu dobowych kontrastów termicznych w poszczególnych porach roku i regionach bioklimatycznych (I–VIII**b**); (objaśnienia jak na Ryc. 11.1) 242
- Fig. 11.5. Frequency (%) of days with various intensity of daily temperature contrasts in particular seasons and bioclimatic regions (I–VIII**b**) (for explanations see Fig. 11.1)
- Ryc. 11.6. Częstość (%) występowania dni bez opadu i dni z opadem w poszczególnych porach roku i regionach bioklimatycznych (I–VIII**b**) (objaśnienia jak na Ryc. 11.1) 243
- Fig. 11.6. Frequency (%) of non rainy and rainy days in particular seasons and bioclimatic regions (I–VIII**b**) (for explanations see Fig. 11.1)
- Ryc. 11.7. Częstość (%) występowania dni bez i z pokrywą śnieżną w poszczególnych porach roku i regionach bioklimatycznych (I–VIII**b**) (objaśnienia jak na Ryc. 11.1) 245
- Fig. 11.7. Frequency (%) of days without snow cover and days with snow cover in particular seasons and bioclimatic regions (I–VIII**b**) (for explanations see Fig. 11.1)
- Ryc. 11.8. Wartości pentadowe wskaźników oceny pogody (*WSIavg*) dla różnych form rekreacji w wybranych regionach bioklimatycznych Polski: kąpeli słonecznych (SB), kąpeli powietrznych (AB), łagodnej rekreacji ruchowej (MR), intensywnej rekreacji ruchowej (AR) i turystyki narciarskiej (ST) 246
- Fig. 11.8. 5-days averages of weather suitability indices (*WSIavg*) for various forms of recreation in selected bioclimatic regions of Poland: sun baths (SB), air baths (AB), mild recreation (MR), active recreation (AR), ski tourism (ST)
- Ryc. 11.9. Średnie wartości kompleksowego wskaźnika oceny pogody dla rekreacji (*WRI*) w regionach bioklimatycznych Polski, 1971–1990 ... 248
- Fig. 11.9. Mean values of weather recreation index (*WRI*) in bioclimatic regions of Poland, 1971–1990
- Ryc. 11. 10. Miesięczne wartości kompleksowego wskaźnika oceny pogody dla rekreacji (*WRI*), 1971–1990 w czterech grupach regionów 248
- Fig. 11. 10. Monthly values of weather recreation index (*WRI*), 1971–1990, at four groups of regions
- Ryc. 11. 11. Diagramy informacji turystycznej (*CTIS*) dla poszczególnych stacji meteorologicznych w kolejnych dekadach roku, 1971–1990 251
- Fig. 11. 11. Climate-Tourism-Information-Scheme (*CTIS*) for individual meteorological stations in consecutive decades of the year, 1971–1990
- Ryc. 12.1. Średnie wartości temperatury odczuwanej fizjologicznie (*PST*) o godz. 12:00 UTC w regionach bioklimatycznych Polski, 1971–1990 255
- Fig. 12.1. Mean values of physiological subjective temperature (*PST*) at 12:00 UTC in bioclimatic regions of Poland, 1971–1990
- Ryc. 12.2. Najwyższe i najniższe wartości temperatury odczuwanej fizjologicznie (*PST*) obserwowane w poszczególnych regionach bioklimatycznych Polski, 1971–1990 255

- Fig. 12.2. The highest and the lowest values of physiological subjective temperature (*PST*) in bioclimatic regions of Poland, 1971–1990
- Ryc. 12.3. Maksymalne i minimalne dekadowe wartości temperatury odczuwanej fizjologicznie (*PST*) w Świnoujściu, Ciechocinku i Łądku-Zdroju, 1970–1990 oraz odczucia ciepłne 256
- Fig. 12.3. The highest and the lowest values of physiological subjective temperature (*PST*) in Świnoujście, Ciechocinek and Łądek-Zdrój, 1971–1990 and thermal sensations
- Ryc. 12.4. Częstość (%) różnych odczuć ciepłych w wybranych stacjach meteorologicznych, 1971–1990 260
- Fig. 12.4. Frequency (%) of various thermal sensations in man at selected meteorological stations, 1971–1990
- Ryc. 12.5. Średnie wartości wskaźnika stresu ciepłego (*HSI*) o godz. 12:00 UTC w regionach bioklimatycznych Polski, 1971–1990 261
- Fig. 12.5. Mean values of heat stress index (*HSI*) at 12:00 UTC in bioclimatic regions of Poland, 1971–1990
- Ryc. 12.6. Maksymalne dekadowe wartości wskaźnika stresu ciepłego (*HSI*) w Świnoujściu, Ciechocinku i Łądku-Zdroju, 1970–1990 262
- Fig. 12.6. The highest values of heat stress index (*HSI*) in Świnoujście, Ciechocinek and Łądek-Zdrój, 1971–1990
- Ryc. 12.7. Częstość (%) występowania stresu ciepłego o różnym natężeniu w lipcu w wybranych stacjach meteorologicznych w okresie 1971–1990 262
- Fig. 12.7. Frequency (%) of occurrence of heat stress category in July, at selected meteorological stations, 1971–1990
- Ryc. 12.8. Średnie wartości wskaźnika stresu termofizjologicznego (*PhS*) o godz. 12:00 UTC w regionach bioklimatycznych Polski, 1971–1990 263
- Fig. 12.8. Mean values of physiological strain index (*PhS*) at 12:00 UTC in bioclimatic regions of Poland, 1971–1990
- Ryc. 12.9. Najwyższe i najniższe wartości wskaźnika stresu termofizjologicznego (*PhS*) w regionach bioklimatycznych Polski, 1971–1990 265
- Fig. 12.9. The highest and the lowest values of physiological strain (*PhS*) in bioclimatic regions of Poland, 1971–1990
- Ryc. 12.10. Maksymalne dekadowe wartości wskaźnika stresu termofizjologicznego (*PhS*) w Świnoujściu, Ciechocinku i Łądku-Zdroju, 1970–1990 266
- Fig. 12.10. Decadal values of physiological strain index (*PhS*) in Świnoujście, Ciechocinek and Łądek-Zdrój, 1971–1990
- Ryc. 12.11. Częstość (%) występowania różnych rodzajów stresu termofizjologicznego (*PhS*), w wybranych stacjach meteorologicznych, 1971–1990 267

Fig. 12.11. Frequency (%) of various classes of physiological strain (<i>PhS</i>) at selected metrological stations	
Ryc. 12.12. Średnie wartości wskaźnika obciążeń cieplnych organizmu (<i>UTCI</i>) o godz. 12:00 UTC w regionach bioklimatycznych Polski, 1971–1990	268
Fig. 12.12. Mean values of universal thermal climate index (<i>UTCI</i>) at 12:00 UTC in bioclimatic regions of Poland, 1971–1990	
Ryc. 12.13. Najwyższe i najniższe wartości wskaźnika obciążeń cieplnych organizmu (<i>UTCI</i>) w regionach bioklimatycznych Polski, 1971–1990	268
Fig. 12.13. The highest (max) and the lowest (min) values of universal thermal climate index (<i>UTCI</i>) in bioclimatic regions of Poland, 1971–1990	
Ryc. 12.14. Minimalne dekadowe wartości obciążeń cieplnych (<i>UTCI</i>) w Świnoujściu, Ciechocinku i Łądku-Zdroju, 1970–1990; skala obciążeń..	270
Fig. 12.14. The lowest decadal values of universal thermal climate index (<i>UTCI</i>) in Świnoujście, Ciechocinek and Łądek-Zdrój, 1971–1990	
Ryc. 12.15. Częstość (%) występowania różnych rodzajów obciążeń cieplnych (<i>UTCI</i>) w styczniu i lipcu, 1971–1990	271
Fig. 12.15. Frequency (%) of various thermal stress categories (<i>UTCI</i>) in January and July, 1971–1990	
Fot. 1. Zorza polarna nad polską stacją polarną w Hornsundzie na Spitsbergenie.....	42
Photo 1. Aurora borealis over Polish polar station in Hornsund at Spitsbergen	
Fot. 2. Pomiar właściwości pokrywy śnieżnej na Hali Gąsienicowej w Tatrach	61
Photo 2. Measurements of snow cover features at Hala Gąsienicowa in the Tatra Mts.	

WYKAZ SYMBOLI

LIST OF SYMBOLS

Symbol	Wielkość <i>Variable</i>	Wymiar <i>Unit</i>
A	miara walorów estetycznych pogody (dla CIT) <i>measure of aesthetic features of weather (for CIT)</i>	bw. ¹
ac	albedo skóry i odzieży (przyjmowane najczęściej jako równe 30%) <i>albedo of skin and clothing (usually used at 30%)</i>	%
ag	albedo podłoża <i>albedo of ground surface</i>	%
ap	ciśnienie powietrza <i>air pressure</i>	hPa
At	współczynnik charakteryzujący dobową amplitudę temperatury powietrza <i>coefficient of daily amplitude of temperature</i>	bw.
AT	temperatura pozorna <i>Apparent Temperature</i>	°C
ATSI	wskaźnik aklimatyzacyjnych obciążeń cieplnych <i>Acclimatization Thermal Strain Index</i>	bw.
BCI	wskaźnik kontrastowości warunków bioklimatycznych <i>Bioclimatic Contrasts Index</i>	bw.
BD	wskaźnik odległości bioklimatycznej <i>Bioclimatic Distance</i>	bw.
BHC	zawartość ciepła w organizmie <i>Body Heat Content</i>	J
BMR	podstawowa, metaboliczna produkcja ciepła <i>Basal Metabolic Rate</i>	W·m ⁻²
C	wymiana ciepła przez unoszenie (przed adaptacją) <i>convective heat exchange, before adaptation</i>	W·m ⁻²
C*	wymiana ciepła przez unoszenie – wartość przybliżona <i>convective heat exchange, approximated value</i>	W·m ⁻²
CET	ekwiwalentna temperatura ochładzania <i>Cooling Equivalent Temperature</i>	W·m ⁻²
CIT	klimatyczny wskaźnik dla turystyki <i>Climate Index for Tourism</i>	bw.
Cl	współczynnik określający izolacyjność termiczną odzieży <i>clothing insulation coefficient</i>	°C
Cl _a	wskaźnik oceny komfortu cieplnego doby <i>index of thermal comfort of day-and-night hours</i>	bw.
Cl _d	wskaźnik oceny komfortu cieplnego dla godzin dziennych <i>index of thermal comfort of day time hours</i>	bw.
CMF	chmurowy współczynnik modyfikujący natężenie UV <i>cloud coefficient modifying UV intensity</i>	bw.
Cr	wymiana ciepła przez unoszenie (po adaptacji) <i>convective heat exchange, after adaptation</i>	bw. W·m ⁻²

¹ bez wymiaru *dimensionless*.

Symbol	Wielkość Variable	Wymiar Unit
CTIS	diagram informacji klimatyczno-turystycznej <i>Climate-Tourism Information Scheme</i>	bw.
Df	niedosyt fizjologiczny <i>physiological vapour deficit</i>	hPa
dH	różnica wysokości pomiędzy poziomami, dla których są określone UVI i UVI ₀ <i>difference of altitudes for UVI and UVI₀</i>	km
DhR	ryzyko odwodnienia <i>Dehydration Risk</i>	bw.
dp	międzydobowa różnica ciśnienia atmosferycznego <i>day-to-day differences in air pressure</i>	hPa
dt	dobowa amplituda temperatury powietrza <i>daily amplitude of temperature</i>	°C
dt*	różnica temperatury powietrza między kolejnymi terminami obserwacyjnymi <i>temperature differences between consecutive observations</i>	°C
dts	różnica średniej dobowej temperatury powietrza w kolejnych dniach <i>differences of mean daily temperature at consecutive days</i>	°C
E	straty ciepła na parowanie (przed adaptacją) <i>evaporative heat loss, before adaptation</i>	W·m ⁻²
Er	straty ciepła na parowanie (po adaptacji) <i>evaporative heat loss, after adaptation</i>	W·m ⁻²
E*	straty ciepła na parowanie – wartość przybliżona <i>evaporative heat loss, approximated value</i>	W·m ⁻²
ECl	efektywna izolacyjność odzieży <i>Effective Clothing Insulation</i>	clo
ECl _d	efektywna izolacyjność odzieży w miejscu przeznaczenia <i>Effective Clothing Insulation at destination site</i>	clo
ECl _h	efektywna izolacyjność odzieży w miejscu zamieszkania <i>Effective Clothing Insulation at home location</i>	clo
Ef	model sprawności układu <i>system efficiency</i>	bw.
Emax	straty ciepła na parowanie maksymalne w danych warunkach meteorologicznych <i>maximum evaporative heat loss at actual conditions</i>	W·m ⁻²
Epot	potencjalna wartość strat ciepła na parowanie <i>potential evaporative heat loss at actual conditions</i>	W·m ⁻²
Ereq	straty ciepła na parowanie niezbędne do zachowania równowagi cieplnej organizmu <i>evaporative heat loss required to keep heat equilibrium</i>	W·m ⁻²
F	współczynnik charakteryzujący wilgotność powietrza <i>coefficient of air humidity</i>	bw.
Ff	wilgotność fizjologiczna <i>physiological humidity</i>	%
FR	ryzyko odmrożenia <i>Frostbite Risk</i>	bw.
h	wysokość Słońca <i>Sun disk altitude</i>	°
H	wielkość ochładzająca powietrza <i>Hill cooling power</i>	W·m ⁻²
hc	współczynnik konwekcyjnego przenoszenia ciepła <i>coefficient of heat transfer by convection</i>	W·m ⁻² ·K ⁻¹
hc'	współczynnik kondukcyjnego przenoszenia ciepła przez odzież <i>coefficient of heat transfer by conduction withing clothing</i>	W·m ⁻² ·K ⁻¹
he	współczynnik ewaporacyjnego przenoszenia ciepła <i>coefficient of heat transfer by evaporation</i>	W·m ⁻² ·hPa ⁻¹
HR	częstotliwość tętna <i>Heart Rate</i>	uderzeń ·min ⁻¹ beats·min ⁻¹

Symbol	Wielkość Variable	Wymiar Unit
<i>Hs</i>	wysokość stacji npm. <i>station altitude above sea level</i>	km
<i>HSI</i>	wskaźnik stresu cieplnego <i>Heat Stress Index</i>	%
<i>HSI*</i>	wskaźnik stresu cieplnego – wartość przybliżona <i>Heat Stress Index, approximated value</i>	%
<i>ht</i>	wzrost <i>height</i>	m
<i>Humidex</i>	wskaźnik Humidex <i>Humidex index</i>	°C
<i>I</i>	natężenie dowolnego strumienia promieniowania słonecznego <i>intensity of any flux of solar radiation</i>	W·m ⁻²
<i>Ia</i>	izolacyjność termiczna przyskórnej warstwy powietrza <i>thermal insulation of near skin air layer</i>	clo
<i>Icl</i>	izolacyjność termiczna odzieży <i>thermal insulation of clothing</i>	clo
<i>Iclp</i>	przewidywana izolacyjność odzieży <i>insulation predicted</i>	clo
<i>Iclp d</i>	przewidywana izolacyjność odzieży w miejscu przeznaczenia <i>insulation predicted at destination site</i>	clo
<i>Iclp h</i>	przewidywana izolacyjność odzieży w miejscu stałego pobytu <i>insulation predicted at home location</i>	clo
<i>Ie</i>	współczynnik osłabienia przepływu ciepła przez odzież (dla ewaporacji) <i>coefficient reducing heat transfer through clothing (for evaporation)</i>	bw.
<i>Ief</i>	termoizolacyjność efektywna <i>effective thermal insulation</i>	clo
<i>iMrt</i>	średnia temperatura promieniowania pod odzieżą <i>mean radiant temperature under clothing</i>	°C
<i>Irc</i>	współczynnik osłabienia przepływu ciepła przez odzież (dla konwekcji i radiacji) <i>coefficient reducing heat transfer through clothing (for convection and radiation)</i>	bw.
<i>It</i>	termoizolacyjność całkowita odzieży <i>total clothing insulation</i>	clo
<i>ip</i>	ciśnienie pary wodnej pod odzieżą <i>air vapour pressure under clothing</i>	hPa
<i>K</i>	bilans promieniowania słonecznego <i>net solar radiation</i>	W·m ⁻²
<i>k</i>	współczynnik ewaporacji maksymalnej <i>coefficient of maximum evaporation</i>	bw.
<i>Kd</i>	wymiana ciepła poprzez przewodzenie <i>heat exchange by conduction</i>	W·m ⁻²
<i>Kdif</i>	rozproszone promieniowanie słoneczne <i>diffuse solar radiation</i>	W·m ⁻²
<i>Kdir</i>	bezpośrednie promieniowanie słoneczne <i>direct solar radiation</i>	W·m ⁻²
<i>Kglob</i>	całkowite promieniowanie słoneczne <i>global solar radiation</i>	W·m ⁻²
<i>Kref</i>	promieniowanie słoneczne odbite od podłoża <i>reflected solar radiation</i>	W·m ⁻²
<i>Kt</i>	potencjalny dopływ promieniowania słonecznego przy bezchmurnym niebie <i>potential solar irradiation at clear sky</i>	W·m ⁻²
<i>L</i>	wymiana ciepła poprzez promieniowanie długofalowe (przed adaptacją) <i>long-wave heat exchange, before adaptation</i>	W·m ⁻²
<i>Lr</i>	wymiana ciepła poprzez promieniowanie długofalowe (po adaptacji) <i>long-wave heat exchange, after adaptation</i>	W·m ⁻²
<i>L*</i>	wymiana ciepła poprzez promieniowanie długofalowe, wartość przybliżona <i>long-wave heat exchange, approximated value</i>	W·m ⁻²
<i>La</i>	promieniowanie zwrotne atmosfery <i>sky (back) radiation</i>	W·m ⁻²
<i>Lg</i>	promieniowanie cieplne podłoża <i>ground radiation</i>	W·m ⁻²
<i>Ls</i>	promieniowanie emitowane przez powierzchnię ciała (przed adaptacją) <i>human body radiation, before adaptation</i>	W·m ⁻²

Symbol	Wielkość <i>Variable</i>	Wymiar <i>Unit</i>
<i>Lsr</i>	promieniowanie emitowane przez powierzchnię ciała (po adaptacji) <i>human body radiation, after adaptation</i>	$W \cdot m^{-2}$
<i>m</i>	masa ciała <i>body mass</i>	kg
<i>M</i>	metaboliczna produkcja ciepła <i>metabolic heat production</i>	$W \cdot m^{-2}$
<i>MED</i>	minimalna dawka rumieniowa <i>Minimal Erythemat Dose</i>	$J \cdot m^{-2}$
<i>MHR</i>	dopuszczalny poziom aktywności fizycznej <i>accepted metabolic rate</i>	$W \cdot m^{-2}$
<i>Mskdot</i>	wydzielanie potu <i>sweat secretion</i>	$g \cdot min^{-1}$
<i>Mrt</i>	średnia temperatura promieniowania na powierzchni odzieży <i>mean radiant temperature</i>	$^{\circ}C$
<i>MTSE</i>	maksymalny czas bezpiecznego przebywania na słońcu <i>Maximum Time of Sun Exposure</i>	min
<i>N</i>	zachmurzenie <i>cloudiness</i>	%
<i>NET</i>	normalna temperatura efektywna <i>Normal Effective Temperature</i>	$^{\circ}C$
<i>O</i>	opór składników układu <i>resistance of system components</i>	bw.
<i>Oc_W</i>	ryzyko wychłodzenia organizmu – poziom ostrzegawczy <i>Overcooling Warning</i>	min
<i>Oc_H</i>	ryzyko wychłodzenia organizmu – poziom niebezpieczny <i>Overcooling Hazard</i>	min
<i>Oh_W</i>	ryzyko przegrzania organizmu – poziom ostrzegawczy <i>Overwarming Warning</i>	min
<i>Oh_H</i>	ryzyko przegrzania organizmu – poziom niebezpieczny <i>Overwarming Hazard</i>	min
<i>Ov</i>	zawartość tlenu w powietrzu <i>oxygen volume</i>	$g \cdot m^{-3}$
<i>P</i>	potencjał składników układu <i>potential of system components</i>	bw.
<i>P_p</i>	miara ograniczeń pogodowych (dla CIT) <i>measure of weather limitations (for CIT)</i>	bw.
<i>Pa</i>	ciśnienie pary wodnej <i>vapour pressure</i>	kPa
<i>PET</i>	ekwiwalentna temperatura fizjologiczna <i>Physiological Equivalent Temperature</i>	$^{\circ}C$
<i>PhS</i>	wskaźnik stresu termofizjologicznego <i>Physiological Strain index</i>	bw.
<i>PhS*</i>	wskaźnik stresu termofizjologicznego – wartość przybliżona <i>Physiological Strain index, approximated value</i>	bw.
<i>Pi_{O₂}</i>	ciśnienie cząsteczkowe tlenu wewnątrz dróg oddechowych <i>partial oxygen pressure at respiratory tracts</i>	hPa
<i>Pa_{O₂}</i>	ciśnienie cząsteczkowe tlenu w pęcherzykach płucnych <i>partial oxygen pressure at lungs</i>	hPa
<i>PMV</i>	przewidywana średnia ocena <i>Predicted Mean Vote</i>	bw.
<i>PST</i>	temperatura odczuwana fizjologicznie <i>Physiological Subjective Temperature</i>	$^{\circ}C$
<i>PST_d</i>	temperatura odczuwana fizjologicznie w miejscu przeznaczenia <i>Physiological Subjective Temperature at destination site</i>	$^{\circ}C$
<i>PST_h</i>	temperatura odczuwana fizjologicznie w miejscu stałego pobytu <i>Physiological Subjective Temperature at home location</i>	$^{\circ}C$
<i>PT</i>	temperatura odczuwalna <i>Perceived Temperature</i>	$^{\circ}C$
<i>Q</i>	bilans radiacyjny człowieka (przed adaptacją) <i>net radiation in man, before adaptation</i>	$W \cdot m^{-2}$
<i>Q_r</i>	bilans radiacyjny człowieka (po adaptacji) <i>net radiation in man, after adaptation</i>	$W \cdot m^{-2}$

Symbol	Wielkość Variable	Wymiar Unit
R	pochłonięte promieniowanie słoneczne <i>absorbed solar radiation</i>	$W \cdot m^{-2}$
R'	promieniowanie pochłonięte przez człowieka nieubranego <i>absorbed solar radiation by nude man</i>	$W \cdot m^{-2}$
Rad	częstość dni z umiarkowanymi bodźcami radiacyjnymi (dla WRI) <i>frequency of days with moderate radiation stimuli (for WRI)</i>	%
Res	straty ciepła w wyniku oddychania (respiracja) <i>respiratory heat loss</i>	$W \cdot m^{-2}$
Res*	straty ciepła w wyniku oddychania – wartość przybliżona <i>respiratory heat loss, approximated value</i>	$W \cdot m^{-2}$
Res _d	straty ciepła w wyniku oddychania w miejscu przeznaczenia <i>respiratory heat loss at destination site</i>	$W \cdot m^{-2}$
Res _h	straty ciepła w wyniku oddychania w miejscu stałego pobytu <i>respiratory heat loss at home location</i>	$W \cdot m^{-2}$
RH	wilgotność względna powietrza <i>relative humidity of air</i>	%
Rm	promieniowanie pochłonięte przez manekin <i>solar radiation absorbed by mannequin</i>	$W \cdot m^{-2}$
RR'	wskaźnik oceny opadów atmosferycznych <i>precipitation evaluation index</i>	bw.
RR*	częstość dni z opadem atmosferycznym (dla WRI) <i>frequency of days with precipitation (for WRI)</i>	%
s	współczynnik emisyjności <i>emissivity coefficient</i>	bw.
s _h	współczynnik emisyjności dla człowieka <i>emissivity coefficient for humans</i>	bw.
S	saldo wymiany ciepła (przed adaptacją) <i>net heat storage, before adaptation</i>	$W \cdot m^{-2}$
Sr	wartość wynikowa salda wymiany ciepła (po adaptacji) <i>net heat storage, after adaptation</i>	$W \cdot m^{-2}$
SC	grubość pokrywy śnieżnej <i>snow cover depth</i>	cm
SD	wskaźnik oceny usłonecznienia <i>sunshine duration evaluation index</i>	bw.
SET	standardowa temperatura efektywna <i>Standard Effective Temperature</i>	°C
SET*	standardowa temperatura efektywna (w warunkach otwartych) <i>Standard Effective Temperature outdoors</i>	°C
Shiv	ciepło wytworzone w termogenezie drżeniowej <i>shivering thermogenesis</i>	W
SST	ekwiwalent temperatury standardowej <i>Still Shade Temperature</i>	°C
STI	temperatura odczuwalna <i>Subjective Temperature Index</i>	°C
STI _{cx}	częstość dni z ekstremalnymi sytuacjami biotermicznymi (dla WRI) <i>frequency of days with extreme bio-thermal conditions (for WRI)</i>	%
SW	straty wody z organizmu <i>water loss from the body</i>	$g \cdot h^{-1}$
SW _d	straty wody z organizmu w miejscu przeznaczenia <i>water loss from the body, at destination site</i>	$g \cdot h^{-1}$
SW _h	straty wody z organizmu w miejscu stałego pobytu <i>water loss from the body, at home location</i>	$g \cdot h^{-1}$
T	temperatura powietrza <i>air temperature</i>	K
t	temperatura powietrza <i>air temperature</i>	°C
T _n	częstość dni z warunkami termoneutralnymi (dla WRI) <i>frequency of days with thermoneutral conditions (for WRI)</i>	%
T _p	miara odczuć cieplnych człowieka (dla CIT) <i>measure of thermal sensations in man (for CIT)</i>	bw.

Symbol	Wielkość Variable	Wymiar Unit
T_c	temperatura odczuwalna (wskazywana przez miernik odczuć cieplnych) <i>felt temperature of thermal sensation device</i>	°C
TCI	wskaźnik turystyczno-klimatyczny <i>Tourism Climatic Index</i>	bw.
t_d	temperatura punktu rosy <i>dew point temperature</i>	°C
TE	temperatura efektywna <i>effective temperature</i>	°C
T_g	temperatura powierzchni gruntu <i>ground temperature</i>	°C
tm	różnica między średnią temperaturą promieniowania i temperaturą powietrza ($Mrt - t$) <i>difference between mean radiant and air temperature</i>	°C
T_m	temperatura powierzchni manekina <i>temperature of mannequin surface</i>	°C
t_{max}	temperatura maksymalna powietrza <i>maximum air temperature</i>	°C
t_{min}	temperatura minimalna powietrza <i>minimum air temperature</i>	°C
T_{re}	temperatura rektalna <i>rectal temperature</i>	°C
TRE	temperatura radiacyjno-efektywna <i>radiative-and-effective temperature</i>	°C
TRI	wzrost temperatury spowodowany przez promieniowanie słoneczne <i>temperature increase due to solar radiation</i>	°C
T_{sk}	średnia temperatura skóry <i>mean skin temperature</i>	°C
T_{skfc}	temperatura skóry twarzy <i>face skin temperature</i>	°C
T_{skm}	średnia (modelowana) temperatura skóry <i>mean skin temperature, modelled</i>	°C
T_{skr}	wynikowa wartość temperatury skóry <i>resultant skin temperature</i>	°C
TWD	obniżenie temperatury przez ruch powietrza <i>temperature reduction due to wind</i>	°C
$UTCI$	wskaźnik obciążenia cieplnego <i>Universal Thermal Climate Index</i>	°C
$UTCI^*$	wskaźnik obciążenia cieplnego – wartość przybliżona <i>Universal Thermal Climate Index, approximated value</i>	°C
$UTCI_d$	wskaźnik obciążenia cieplnego w miejscu przeznaczenia <i>Universal Thermal Climate Index at destination site</i>	°C
$UTCI_h$	wskaźnik obciążenia cieplnego w miejscu stałego pobytu <i>Universal Thermal Climate Index at home location</i>	°C
UVI	wskaźnik UV <i>UV Index</i>	bw.
UVI_0	wskaźnik UV dla nieba bezchmurnego <i>UV Index for clear sky</i>	bw.
v	prędkość wiatru na wysokości 1,2 m nad gruntem <i>wind speed at 1.2 m above ground</i>	$m \cdot s^{-1}$
v_{10}	prędkość wiatru na wysokości 10 m nad gruntem <i>wind speed at 10 m above ground</i>	$m \cdot s^{-1}$
v'	prędkość ruchu człowieka <i>subject movement</i>	$m \cdot s^{-1}$
$VblSk$	skórny przepływ krwi <i>skin blood flow</i>	% wartości podstawowej % basic value
vis	widzialność pozioma <i>visibility</i>	m
VP	maksymalne ciśnienie pary wodnej <i>saturated vapour pressure</i>	hPa
vp	aktualne ciśnienie pary wodnej <i>actual air vapour pressure</i>	hPa
ups	ciśnienie pary wodnej na powierzchni skóry (przed adaptacją) <i>vapour pressure at skin surface, before adaptation</i>	hPa

Symbol	Wielkość <i>Variable</i>	Wymiar <i>Unit</i>
<i>vpsr</i>	ciśnienie pary wodnej na powierzchni skóry (po adaptacji) <i>vapour pressure at skin surface, after adaptation</i>	hPa
<i>w</i>	współczynnik uwilgotnienia skóry (przed adaptacją) <i>skin wettedness coefficient, before adaptation</i>	bw.
WBGT	temperatura wilgotnego termometru kulistego <i>Wet Bulb Globe Temperature</i>	°C
WCI	wskaźnik ochładzania wiatrem <i>Wind Chill Index</i>	W·m ⁻²
WCT	temperatura ochładzania wiatrem <i>Wind Chill Temperature</i>	°C
WettA	uwilgotnienie skóry <i>skin wettedness</i>	% pow. ciała % <i>body area</i>
WL	produkcja ciepła związana z pracą mięśni <i>Work Load</i>	W·m ⁻²
<i>wr</i>	współczynnik uwilgotnienia skóry (po adaptacji) <i>skin wettedness coefficient, after adaptation</i>	bw.
WRI	wskaźnik oceny pogody dla rekreacji <i>Weather Recreation Index</i>	bw.
WSI_SB	wskaźnik oceny pogody dla kąpiei słonecznych <i>weather suitability index, for Sun baths</i>	bw.
WSI_AB	wskaźnik oceny pogody dla kąpiei powietrznych <i>weather suitability index, for air baths</i>	bw.
WSI_MR	wskaźnik oceny pogody dla łagodnej rekreacji ruchowej <i>weather suitability index, for mild recreation</i>	bw.
WSI_AR	wskaźnik oceny pogody dla intensywnej rekreacji ruchowej <i>weather suitability index, for active recreation</i>	bw.
WSI_ST	wskaźnik oceny pogody dla turystyki narciarskiej <i>weather suitability index, for ski tourism</i>	bw.
WSI _{avg}	średni wskaźnik oceny pogody <i>average weather suitability index</i>	bw.
WSI _{tot}	summaryczny wskaźnik oceny pogody <i>total weather suitability index</i>	bw.
<i>wt</i>	ciężar ciała <i>body weight</i>	kg
<i>Wv</i>	wskaźnik oceny prędkości wiatru <i>wind speed evaluation index</i>	bw.
<i>a</i>	współczynnik odbicia promieniowania słonecznego przez odzież <i>coefficient of clothing reflectivity</i>	bw.
<i>β</i>	współczynnik pochłaniania promieniowania słonecznego <i>coefficient of solar radiation absorbance</i>	bw.
<i>σ</i>	stała Stefana-Boltzmana (= 5,67 10 ⁻⁸) <i>Stefan-Boltzman constant</i>	W·m ⁻² ·K ⁻⁴

WYKAZ WZORÓW

LIST OF EQUATIONS

Wzór Equation	Numer Number	Strona Page
$K = K_{dir} + K_{dif} + K_{ref}$	3.1	27
$UVI = UVI_0 \cdot CMF \cdot (1 + 0,08 \cdot H_s)$	3.2	33
$MTSE$ (typ I skóry) = 119,99 · UVI ^{-0.923}	3.3	33
$MTSE$ (typ II skóry) = 170,84 · UVI ^{-1.0121}	3.4	33
$MTSE$ (typ III skóry) = 229,02 · UVI ^{-0.9774}	3.5	33
$MTSE$ (typ IV skóry) = 292,95 · UVI ^{-0.976}	3.6	33
$Mrt = [(R + L) / (sh \cdot s)]^{0.25} - 273$	3.7	43
$R = \sum (\beta \cdot I) \cdot \alpha \cdot Cl$	3.8	44
$Lr = s \cdot \sigma \cdot T^4$	3.9	47
$RH = vp / VP \cdot 100$	3.10	53
$Ff = 100 \cdot vp / 60,9$	3.11	55
$Df = 60,9 - vp$	3.12	55
$v_z = v_w \cdot (h_z / h_w)^{0.2}$	3.13	57
$CIT = f[(T_p, A) \cdot P_p]$	4.1	67
$BMR + WL + Q + E + C + Res + Kd = S$	5.1	82
$BHC = 3470 \cdot m \cdot (0,65 \cdot Tre - 0,35 \cdot Tsk)$	5.2	104
$Ia = 1 / (0,61 + 1,9 \cdot v^{0.5})$	5.3	118
$I_{ef} = I_{cl} \cdot [1 - 0,27 \cdot (v + v')^{0.4}]$	5.4	118
$H = 41,868 \cdot [(36,5 - t) \cdot (0,20 + 0,40 \cdot v^{0.5})]$ gdy $v \leq 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	7.1	124
$H = 41,868 \cdot [(36,4 - t) \cdot (0,13 + 0,47 \cdot v^{0.5})]$ gdy $v > 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	7.2	124
$WCI = 1,162 \cdot [(10,45 - v + 10 \cdot v^{0.5}) \cdot (33 - t)]$	7.3	129
$WCT = 13,12 + 0,6215 \cdot t - 11,37 \cdot v_{10}^{0.16} + 0,3965 \cdot t v_{10}^{0.16}$	7.4	130
$Humidex = t + 0,5555 \cdot (vp - 10)$	7.5	132
$vp = 6,112 \cdot 10^{[7,5 \cdot t / (237,7 + t)]} \cdot 0,01 \cdot RH$	7.6	132
$vp = 6,112 \cdot e^{[5417,753 \cdot (1 / 273,16 - 1 / (273,16 + t))]}$	7.7	132
$TE = t - 0,4 \cdot (t - 10,0) \cdot (1 - 0,01 \cdot RH)$	7.8	134

$TE = 37,0 - \frac{37,0 - t}{0,68 - 0,0014 \cdot RH + 1/(1,76 + 1,40 \cdot v^{0,75})} - 0,29 \cdot t \cdot (1 - 0,01 \cdot RH)$	7.9	134
$TRE = TE + (1 - 0,01 \cdot ac) \cdot Kglob \cdot [(0,0155 - 0,00025 \cdot TE) - (0,004 - 0,0001 \cdot TE)]$	7.10	138
$SST = t + TRI - TWD$	7.11	139
$TRI = 0,42 \cdot (1 - 0,009 \cdot N) \cdot (100 - ac) \cdot 1 / (0,61 + 1,9 \cdot v^{0,5})$	7.12	139
$TWD = 0,15673 \cdot M \cdot [1 - 1 / (0,61 + 1,9 \cdot v^{0,5})]$	7.13	139
$HR = 22,4 + 0,18 \cdot M + 0,25 \cdot (5 \cdot t + 2,66 \cdot vp)$	7.14	140
$MHR = [90 - 22,4 - 0,25 \cdot (5 \cdot t + 2,66 \cdot vp)] / 0,18$	7.15	141
$IcIp = [0,082 \cdot [91,4 - (1,8 \cdot t + 32)] / (0,01724 \cdot M)] - [1 / (0,61 + 1,9 \cdot v^{0,5})]$	7.16	142
$Ov = [80,51 \cdot ap / (t + 273)] \cdot (1 - vp / ap)$	7.17	143
$WBGt = 0,567 \cdot t + 1,548 \cdot vp$	7.18	144
$AT = t + 0,33 \cdot vp - 0,7 \cdot v_{10} - 4,0$	7.19	146
$AT = t + 0,348 \cdot vp - 0,7 \cdot v_{10} + 0,7 \cdot R / (v_{10} + 10) - 4,25$	7.20	146
$M + Q + E + C + Res = S$	8.1	152
$PhS = C / E$	8.2	156
$PST \text{ (dla } Sr < 0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}) = iMrt - \{[|Sr|^{0,75} / (0,95 \cdot 5,667 \cdot 10^{-8}) + 273^4]^{0,25} - 273\}$	8.3	159
$PST \text{ (dla } Sr \geq 0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}) = iMrt + \{[|Sr|^{0,75} / (0,95 \cdot 5,667 \cdot 10^{-8}) + 273^4]^{0,25} - 273\}$	8.4	159
$SW = -2,6 \cdot Epot$	8.5	161
$Epot = he \cdot [6,112 \cdot 10^{[7,5 \cdot t / (237,7 + t)]} \cdot 0,05 - vpsk] \cdot w \cdot Ie - [0,42 \cdot (M - 58) - 5,04]$	8.6	161
$Oc_W = [(1 \ 800 \ 000 - 1920 \cdot |S|) / (1,6 \cdot |Sr|)] / 60$	8.7	162
$Oc_H = 2 \cdot [(1 \ 800 \ 000 - 1920 \cdot |S|) / (1,6 \cdot |Sr|)] / 60$	8.8	162
$Oh_W = [(900 \ 000 - 1920 \cdot |S|) / (1,6 \cdot |Sr|)] / 60$	8.9	164
$Oh_H = 2 \cdot [(900 \ 000 - 1920 \cdot |S|) / (1,6 \cdot |Sr|)] / 60$	8.10	164
$UTCI = f(t, vp, v_{10}, dMrt)$	8.11	166
$UTCI^* = 3,21 + 0,872 \cdot t + 0,2459 \cdot Mrt - 2,5078 \cdot v_{10} - 0,0176 \cdot RH$	8.12	172
$HSI = Ereq / Emax \cdot 100$	8.13	174
$Ereq = M + Q + C + Res$	8.14	174
$Emax = k \cdot v^{0,6} \cdot (vp - 56)$	8.15	174
$TCI = 2 \cdot (4 \cdot Cld + Cla + 2 \cdot RR' + 2 \cdot SD + Wv)$	9.1	177
$BD = [(ECI_h - ECI_d) / 13] \cdot 100$	9.2	180
$ATSI = (Res_h - Res_d) / Res_h \cdot 100$	9.3	181
$BCI = (dUTCI + dSW + dIcIp + dPST) / 4$	9.4	181
$dUTCI = [(UTCI_h - UTCI_d) / 170] \cdot 100$	9.5	181
$dSW = [(SW_h - SW_d) / 1000] \cdot 100$	9.6	181
$dIcIp = [(IcIp_d - IcIp_h) / 7] \cdot 100$	9.7	182
$dPST = [(PST_h - PST_d) / 110] \cdot 100$	9.8	182
$WSI_{tot} = WSI_{avg} (SB) + WSI_{avg} (AB) + WSI_{avg} (MR) + WSI_{avg} (AR) + WSI_{avg} (ST)$	9.9	186
$y = x^z$	9.10	186
$Ef = P / O$	9.11	188
$WRI = (Px/Ox)^{(Oz/Pz)}$	9.12	188
$WRI = \left[0,5 \cdot \frac{(100 + T_n)}{(100 + STI_{ex})} \right] \left[\frac{(100 + RR)^*}{(100 + Rad)} \right]$	9.13	189

SKOROWIDZ RZECZOWY

THEMATIC INDEX

Adaptacja 152

Aeroterapia (patrz klimatoterapia)

Aerozol 18, 19, 25, 30

Aklimatyzacja 15, 28, 52, **58–59**

Albedo 27

– podłoża 23, 29, **87**

– skóry i odzieży 44, **91–94**, 154

Bilans cieplny człowieka 152, 156, 164

– modele proste 147

– MENEX_2005 **150–152**, 156, 174, 180, **297–305**

– modele wielowęzłowe 147, 152

– model Fiali 153–155

– podstawy termofizjologiczne 81, 121

Bioklimat 12

Bodźcowość klimatu 15, 52

Bodźce klimatyczne 13

– akustyczne 18

– biologiczne 19–21

– chemiczne 18–19

– elektryczne 17

– mechaniczne **17**, 207

– radiacyjne **15–16**, 74, **193**, 223, 228

– termiczno-wilgotnościowe 16, 198

Ciśnienie atmosferyczne 12, **57**, 63, **298**

Ciśnienie pary wodnej **52–55**, 66, 83, 132, 140, 154, 164

Dane meteorologiczne 66, 77, 123, 127, **298**

Dawka rumieniowa 31

Diagram informacji klimatyczno-turystycznej (CTIS) **65–66**, 250–253

Dni charakterystyczne

- bardzo mroźne 52, 203, 205
- gorące 52, 203, 204
- z mgłą 61, 66, 216, 218
- z opadem 188, **213, 216, 217**, 236, 243
- parne 66, 252
- upalne 52
- z wiatrem silnym 56, 207, 210

Dopuszczalny czas bezpiecznej ekspozycji (MTSE) 33–34

Dwutlenek węgla 18, 24, 47

Gospodarka cieplna 81

Gospodarka wodna organizmu 117

Hałas 18

Helioterapia (patrz klimatoterapia)

Jonizacja powietrza 13

Kąpiele powietrzne (aeroterapia) 79, 306

Klimatoterapia (leczenie klimatyczne)

- aeroterapia (kąpiele powietrzne) 79, 306
- helioterapia (kąpiele słoneczne) 28, 79, 306

Klimatyczny wskaźnik dla turystyki (CIT) 66–68

Komfort termiczny 23, 56, 65, **134**, 150

Melatonina 38–40

Metaboliczna produkcja ciepła **82–84**, 86, 106, 115, 142, 152, 154

Metody oceny bioklimatu 123

Niedosyt fizjologiczny 55

Ochładzanie powietrza 124

Odczuwalność ciepła człowieka 134

Oddawanie ciepła do otoczenia 96

- oddychanie 96, **99**, 180
- parowanie 92, **96–98**, 263
- przewodzenie 103
- unoszenie 96, **99–102**
- wypromieniowanie 96, 103, 198

Odzież 87, 90, 97, **116–118**, 128, 134, 139, 143, 170, 181

Pogoda 11, 62

- klasyfikacje biometeorologiczne 63
- klasyfikacje biosynoptyczne 63
- klasyfikacja biotermiczno-meteorologiczna 68

- typy pogody 72, 222
- podtypy pogody 74, 223
- klasy pogody 75, 236
- lokalne oznaki 68
- Pokrywa śnieżna 23, **60-61**, 73, 76, 183, 240, 244, 247
- Pole elektryczne atmosfery 1-7
- Promieniowanie słoneczne 24, 26, 83-95, 137, 139, 146, 160
 - nadfioletowe (UV) 15, 19, 24, **28-37**, 272
 - podczerwone 38, 42
 - pochłonięte przez człowieka 43, **87**, 199
 - widzialne 37-42
- Przewodnictwo elektryczne 17
- Przyrządy pomiarowe
 - katatermometr Hilla 124
 - miernik odczuć ciepłych 125-126

Rekreacja 11, 19, 126, 272

Saldo wymiany ciepła 82, **103-105**, 111, 147, 162, 298

Skóra 42, 87, 103, **114-116**, 153, 154

Straty wody 52, 114, **161, 162**

Temperatura

- efektywna 134-137
- ekwiwalent temperatury standardowej 139, 140
- ochładzania wiatrem 130-132
- odczuwalna 156, 193, 253, 256
- powietrza **51-52**, 70, 83, 114, 140, 154, 166, 193, 198, 202
 - maksymalna 52, 198,
 - minimalna 52, 201
 - radiacyjno-efektywna 137-138
- skóry człowieka 42, 43, 88, 91, 92, 94, **97-99**, 149, 152, 153, 165
- średnia temperatura promieniowania 43, 154, 164, 166, 169, 172

Terminy obserwacji 66

Termoizolacyjność

- całkowita 118
- odzieży 118, 142-143
- powietrza 142

Termoregulacja 107

- do gorąca 111
- do zimna 108

Tlen 18

- ciśnienie cząsteczkowe 57
- ozon **18-19**, 30, 35, 37

Transport ciepła w organizmie 95-96

Turystyka 11, 67, 79

Uśłonecznienie 47, 62, 177, 193, 195

- rzeczywiste 18, 177
- względne 49

Wiatr 17, **56**, 62, 67, 69, 111, 117, **207**, 298

- redukcja prędkości 57

Wilgotność powietrza **52**, 63, 70, 145, 152, 177

- fizjologiczna 54, 55
- względna **53-54**, 66, 203, **206**, 298

Wskaźnik UV (UVI) 33-36

Wskaźniki

- bioklimatyczne 12, 123, 176
 - klimatyczno-turystyczny (TCI) 176-179
 - kompleksowy wskaźnik oceny pogody (WRI) 77, 186-189, 247-249
 - kontrastowość warunków bioklimatycznych (BCI) 181-183
 - odległość bioklimatyczna (BD) 180
 - przydatność pogody do rekreacji (WSI) 77, 183-186, 244-247
 - stres aklimatyzacyjny (ATSI) 180-181
- biometeorologiczne 123-124
 - częstotliwość tętna (HR) 139-140
 - dopuszczalny poziom aktywności fizycznej (MHR) 139-141
 - ekwiwalent temperatury standardowej (SST) 139, 140
 - *Humidex* 132-134
 - ochładzanie wiatrem (WCI) 128-130
 - przewidywana termoizolacyjność odzieży (IcIp) 142-143, 181
 - temperatura efektywna (TE) 134-137
 - temperatura ochładzania wiatrem (WCT) 130-132
 - temperatura pozorna (AT) 145-146
 - temperatura radiacyjno-efektywna (TRE) 137-138
 - WBGT 144-145
 - wielkość ochładzająca powietrza (H) 124
 - zawartość tlenu w powietrzu (Ov) 143-144
- biotermiczne 147, 297
 - fizjologiczna temperatura ekwiwalentna (PET) 65, 156
 - ryzyko odmrożenia (FR) 175-176
 - ryzyko odwodnienia (DhR) 152, **161**
 - ryzyko przegrzania (Oh_R) **163**, 164, 208
 - ryzyko wychłodzenia (Oc_R) 162
 - standardowa temperatura ekwiwalentna (SET*) 156
 - straty wody (SW) 152, **161-162**, 181
 - stres termofizjologiczny (PhS) 74, 77, 152, **156-159**, 253, 257
 - temperatura odczuwana fizjologicznie (PST) 65, 152, **159-160**, 182, 253-257
 - temperatura odczuwalna (PT) 156
 - temperatura odczuwalna (STI) **72-74**, 80, 152, 193

- uniwersalny wskaźnik obciążeń cieplnych (*UTCI*) 150, **164-172**, 266-271
- uproszczona formuła (*UTCI**) 172-173
- wskaźnik stresu cieplnego (*HSI*) 75, 77, 80, **174-175**, 207, 257-262

Zachmurzenie **49-50**, 66, 68, 152, 197

- wielkość 51
- rodzaj 50

Zanieczyszczenie powietrza 19, 62, 27

Zjawiska meteorologiczne 58-61, 71, 213

- burza 70, 220, 221
- deszcz 35, 59, 177, 188, **214-217**, 239, 272
- mgła 60, 61, 70, 216, **218**, 219
- rosa 61
- szron 61
- śnieg 27, 29, **60**, 67, 73
- tęcza 60, 40-41
- zorza polarna 41-42

CONTENTS

PREFACE	9
I. BACKGROUND INFORMATION	11
1. Introduction	11
2. Climatic stimuli	13
2.1. Group of physical stimuli	15
2.1.1. Radiation stimuli	15
2.1.2. Thermal and moisture stimuli	16
2.1.3. Mechanical stimuli	17
2.1.4. Electrical stimuli	17
2.1.5. Acoustic stimuli	18
2.2. Group of chemical stimuli	18
2.3. Group of biological stimuli	19
II. METEOROLOGICAL PRINCIPLES OF RECREATION AND TOURISM ...	23
3. Importance of particular weather components for recreation and tourism	24
3.1. Solar radiation	24
3.1.1. UV radiation	28
3.1.2. Visible radiation	37
3.1.3. Infrared radiation	42
3.2. Long-wave radiation	46
3.3. Sunshine duration	47
3.3.1. Actual sunshine duration	48
3.3.2. Relative sunshine duration	49
3.4. Cloudiness	49
3.5. Air temperature	51
3.6. Air humidity	52
3.7. Air movement	56
3.8. Air pressure	57
3.9. Meteorological phenomena	58
4. Analysis of weather as evaluation method for recreation	62

4.1. Weather classifications	62
4.1.1. Bio-synoptical classifications.....	63
4.1.2. Biometeorological typologies.....	63
4.1.3. Climate-Tourism Information Scheme (CTIS).....	65
4.1.4. Climate Index for Tourism (CIT).....	66
4.1.5. Local features of weather	68
4.2. Biothermal-and-meteorological weather classification	68
4.2.1. Principles of classification	68
4.2.2. Weather types	72
4.2.3. Weather subtypes.....	72
4.2.4. Weather classes	74
4.2.5. Weather calendar	78
III. PHYSIOLOGICAL PRINCIPLES OF RECREATION AND TOURISM	81
5. Heat balance of an organism.....	81
5.1. General model of human heat balance	82
5.2. Heat sources	82
5.2.1. Metabolic heat production	82
5.2.2. Absorbed solar radiation	87
5.3. Heat transfer inside organism	95
5.4. Heat expenditure	96
5.4.1. Evaporation (<i>E</i>)	96
5.4.2. Respiration (<i>Res</i>)	99
5.4.3. Convection (<i>C</i>)	99
5.4.4. Conduction (<i>Kd</i>)	103
5.4.5. Thermal radiation (<i>L</i>)	103
5.5. Net heat storage (<i>S</i>)	103
5.6. Temperature regulation	105
5.6.1. Thermoregulation in cold	108
5.6.2. Thermoregulation in hot.....	111
5.7. Role of skin in heat exchange.....	114
5.8. Role of clothing in heat exchange	116
6. Water and mineral balances	118
IV. METHODS FOR EVALUATION OF BIOCLIMATE FOR RECREATION AND TOURISM.....	123
7. Biometeorological indices.....	123
7.1. Measured indices.....	124
7.2. Complex, calculated indices.....	126
7.2.1. Wind Chill Indem (<i>WCI</i>).....	128
7.2.2. Wind Chill Temperature (<i>WCT</i>).....	130
7.2.3. <i>Humidex</i> index	132
7.2.4. Effective temperature (<i>TE</i>)	134
7.2.5. Radiative-and-effective temperature (<i>TRE</i>).....	137
7.2.6. Still Shade Temperature (<i>SST</i>).....	139
7.2.7. Heart rate (<i>HR</i>) and accepted activity level (<i>MHR</i>)	139

7.2.8. Insulation predicted (<i>I_{clp}</i>)	142
7.2.9. Oxygen volume (<i>O_v</i>).....	143
7.2.10. <i>WBGT</i> index	144
7.2.11. Apparent Temperature (<i>AT</i>)	145
8. Biothermal indices.....	147
8.1. Simple models of human heat balance	147
8.1.1. <i>MENEX_2005</i> – complex model of Man-environment heat exchange	150
8.2. Multi-node models of human heat balance.....	152
8.2.1. Fiala model	153
8.3. Review of biothermal indices.....	155
8.3.1. Physiological Strain (<i>PhS</i>).....	156
8.3.2. Physiological Subjective Temperature (<i>PST</i>)	159
8.3.3. Water loss (<i>SW</i>)	161
8.3.4. Risk of overcooling or overheating of an organism	161
8.3.5. Universal Thermal Climate Index (<i>UTCI</i>)	164
8.3.6. Simplified formula of Universal Thermal Climate Index (<i>UTCI*</i>).....	172
8.3.7. Heat Stress Index (<i>HSI</i>)	174
8.3.8. Frostbite Risk (<i>FR</i>)	175
9. Bioclimatic indices.....	176
9.1. Tourism Climatic Index (<i>TCI</i>)	176
9.2. Indices of bioclimatic contrasts.....	180
9.2.1. Bioclimatic Contrast Index (<i>BCI</i>)	181
9.3. Weather Suitability Index (<i>WSI</i>).....	183
9.4. Complex Weather Recreation Index (<i>WRI</i>).....	186
V. BIOCLIMATE OF POLAND AND ITS POSSIBLE USE IN RECREATION AND TOURISM.....	191
10. Regional differentiation of climatic stimuli.....	191
10.1. Radiation stimuli	193
10.2. Thermal-and-moisture stimuli	198
10.3. Mechanical stimuli	207
10.4. Meteorological phenomena	213
11. Regional differentiation of weather conditions.....	222
11.1. Main features of weather	222
11.1.1. Weather types	222
11.1.2. Weather subtypes.....	223
11.1.3. Weather classes.....	236
11.2. Weather suitability for various forms of recreation (<i>WSI</i>).....	244
11.3. Complex evaluation of weather for recreation (<i>WRI</i>)	247
11.4. Climate-Tourism-Information Scheme (<i>CTIS</i>)	249
12. Regional differentiation of biothermal conditions	253
12.1. Physiological Subjective Temperature (<i>PST</i>)	253
12.2. Heat loads	257
12.2.1. Heat Stress Index (<i>HSI</i>)	257

12.2.2. Physiological Strain (<i>PhS</i>)	263
12.2.3. Heat stress of an organism (<i>UTCI</i>)	266
13. Final remarks	272
REFERENCES	275
ANNEXES	297
A. Detail algorithms of Man-ENvironment heat EXchange model MENEX_2005	297
B. Weather Suitability Indices for various forms of recreational activity	306
BIOCLIMATIC PRINCIPLES OF RECREATION AND TOURISM IN POLAND	323
List of tables	327
List of figures and photos	333
List of symbols.....	349
List of equations	356
Thematic index.....	358
CONTENTS	363

ISBN 978-83-61590-47-7
PL ISSN 1643-2312

„Ładna” pogoda lub „dobry” klimat należą do najczęściej definiowanych oczekiwań turystów i wczasowiczów w odniesieniu do miejsca i okresu wypoczynku. Dlatego ważne jest, aby zdawać sobie sprawę zarówno z walorów bioklimatycznych danego obszaru, jak i z klimatycznych zagrożeń.

Pomoże w tym prezentowana książka, która jest efektem wieloletnich doświadczeń autorów w badaniu wpływu warunków atmosferycznych na organizm. Zawiera podsumowanie stanu wiedzy w tej dziedzinie i przedstawia najnowsze metody badania relacji pomiędzy warunkami klimatycznymi i bioklimatycznymi a rekreacją i turystyką. Prezentuje także aktualne informacje o warunkach bioklimatycznych w różnych regionach Polski.

