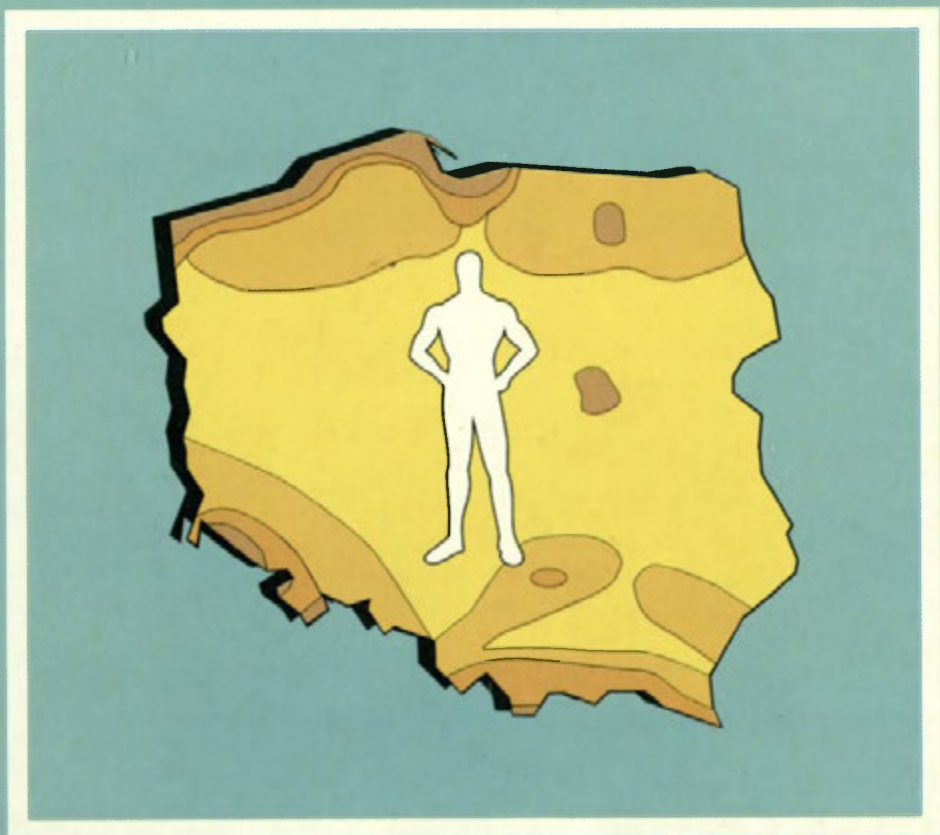


POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

Teresa Kozłowska-Szczęśna
Krzysztof Błażejczyk Barbara Krawczyk

BIOKLIMATOLOGIA CZŁOWIEKA



monografie

1

MONOGRAFIE

INSTYTUTU GEOGRAFII
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
PAN

POLISH ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE OF GEOGRAPHY AND SPATIAL ORGANIZATION
Monographies, 1

Teresa Kozłowska-Szczęsna
Krzysztof Błażejczyk
Barbara Krawczyk

HUMAN BIOCLIMATOLOGY

Methods and applications



WARSZAWA 1997

<http://rcin.org.pl>

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
Monografie, 1

Teresa Kozłowska-Szczęśna
Krzysztof Błażejczyk
Barbara Krawczyk

BIOKLIMATOLOGIA CZŁOWIEKA

Metody i ich zastosowanie
w badaniach bioklimatu Polski



WARSZAWA 1997

<http://rcin.org.pl>

Redakcja:

Prof. dr hab. Leszek Starkel (redaktor naczelny)

Prof. dr hab. Piotr Eberhardt

Prof. dr hab. Teresa Kozłowska-Szczęsna

Recenzent: prof. dr Janusz Paszyński

Praca dofinansowana przez KBN
za pośrednictwem projektu badawczego
Nr 6P 202 032 06

ISBN 83-906310-1-6

Opracowanie redakcyjne: mgr Irena Stańczak

Druk: AKAPIT-DTP, ul. Skolimowska 4/11, 00-795 Warszawa

<http://rcin.org.pl>

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN rozpoczyna druk serii „Monografie”.

Zamierzeniem naszym jest prezentacja szerokiemu kręgowi czytelników nowych wyników badań osiągniętych przez zespoły badawcze pracowników Instytutu. Poszczególne tomy „Monografii” będą poświęcone odrębnym zagadnieniom dotyczącym zarówno przemian elementów środowiska przyrodniczego w przeszłości i współcześnie zachodzących zmian, jak też zmian społecznych i gospodarczych. Podobnie jak cała działalność Instytutu, tak i inicjowana seria będzie dotyczyć szczególnie przemian na obszarze Polski.

Dlatego sądzimy, że seria „Monografii” spotka się z zainteresowaniem nie tylko geografów, ale też szerokiego grona przyrodników, ekonomistów i planistów.

Leszek Starkel

Spis treści

| | |
|--|----|
| PRZEDMOWA (<i>Teresa Kozłowska-Szczęсна</i>) | 11 |
| Wykaz stosowanych symboli | 13 |

CZĘŚĆ I

| | |
|---|----|
| ODDZIAŁYWANIE ŚRODOWISKA ATMOSFERYCZNEGO NA CZŁOWIEKA | 17 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Wprowadzenie | 17 |
| 1. Znaczenie bodźców klimatycznych | 19 |
| 1.1 Zespół bodźców fizycznych | 22 |
| 1.1.1. Bodźce radiacyjne | 22 |
| 1.1.2. Bodźce termiczno-wilgotnościowe | 23 |
| 1.1.3. Bodźce mechaniczne | 24 |
| 1.1.4. Bodźce elektryczne | 24 |
| 1.1.5. Bodźce akustyczne | 25 |
| 1.2. Zespół bodźców chemicznych | 26 |
| 1.3. Zespół bodźców biologicznych | 27 |

CZĘŚĆ II

| | |
|--|----|
| METODY STOSOWANE W BADANIACH BIOKLIMATYCZNYCH | 29 |
| 1. Elementy biometeorologiczne | 29 |
| 1.1. Kryteria radiacyjne oceny warunków bioklimatycznych | 29 |
| 1.1.1. Promieniowanie słoneczne | 29 |
| 1.1.2. Usłonecznienie | 31 |
| a. Usłonecznienie rzeczywiste | 32 |
| b. Usłonecznienie względne | 33 |
| 1.1.3. Zachmurzenie | 34 |
| 1.2. Kryteria termiczne oceny warunków bioklimatycznych | 35 |
| 1.3. Kryteria higryczne oceny warunków bioklimatycznych | 36 |
| 1.4. Kryteria dynamiczne oceny warunków bioklimatycznych | 37 |

| | |
|--|----|
| 2. Wskaźniki biometeorologiczne | 39 |
| 2.1. Wskaźniki wyznaczone metodami obliczeniowymi | 39 |
| 2.1.1. Temperatura ekwiwalentna | 40 |
| 2.1.2. Temperatura efektywna | 41 |
| 2.1.3. Temperatura radiacyjno-efektywna | 45 |
| 2.1.4. Entalpia powietrza | 46 |
| 2.1.5. Wskaźniki oceny warunków bioklimatycznych okresu zimowego .. | 47 |
| a. Wskaźnik ostrości klimatu (surowości pogody) | 47 |
| b. Wskaźnik ostrości zim | 49 |
| c. Wskaźnik ochładzania wiatrem | 49 |
| d. Temperatura zredukowana | 50 |
| 2.2. Wskaźniki wyznaczone metodami pomiarowymi | 51 |
| 2.2.1. Wielkość ochładzająca powietrza | 51 |
| 2.2.2. Wskaźnik odczucia ciepła | 54 |
| 2.2.3. Wskaźnik obciążenia cieplnego | 54 |
| 3. Ocena warunków higienicznych powietrza | 56 |
| 3.1. Zanieczyszczenie powietrza | 56 |
| 3.2. Hałas | 57 |
| 4. Klasyfikacje pogody na potrzeby bioklimatologii człowieka | 59 |
| 4.1. Typologie warunków synoptycznych | 59 |
| 4.2. Typologie warunków pogodowych | 62 |
| 5. Klimatologiczno-fizjologiczne modele oceny warunków termicznych | 67 |
| 5.1. Fizjologiczne podstawy wymiany ciepła | 67 |
| 5.1.1. Zyski ciepła | 69 |
| 5.1.2. Straty ciepła | 71 |
| 5.1.3. Wzrost lub ubytek ciepła w organizmie (saldo wymiany ciepła) ... | 72 |
| 5.1.4. Rola odzieży w bilansie cieplnym człowieka | 72 |
| 5.2. Modele bilansu cieplnego człowieka | 74 |
| 5.2.1. Przegląd modeli | 74 |
| 5.2.2. MENEX — kompleksowy model wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem | 77 |
| 6. Wskaźniki oparte na bilansie cieplnym człowieka | 82 |
| 6.1. Wskaźniki stosowane w wysokiej temperaturze powietrza | 82 |
| 6.1.1. Częstotliwość tętna | 82 |
| 6.1.2. Pożądane wydzielanie potu | 83 |
| 6.1.3. Wskaźnik stresu cieplnego | 83 |
| 6.2. Wskaźniki stosowane w warunkach termoneutralnych | 84 |
| 6.2.1. Przewidywana średnia ocena | 84 |
| 6.2.2. Przewidywany odsetek osób odczuwających dyskomfort | 85 |
| 6.3. Wskaźniki stosowane w niskiej temperaturze powietrza | 86 |
| 6.3.1. Niezbędna izolacyjność odzieży | 86 |
| 6.3.2. Efektywna izolacyjność odzieży | 86 |
| 6.3.3. Przewidywana izolacyjność odzieży | 87 |
| 6.4. Wskaźniki stosowane w różnych warunkach termicznych | 87 |
| 6.4.1. Saldo wymiany ciepła | 87 |

| | |
|--|----|
| 6.4.2. Dopuszczalny czas przebywania | 88 |
| 6.4.3. Obciążenie cieplne organizmu | 88 |
| 6.4.4. Straty wody | 89 |
| 6.4.5. Temperatura skóry bilansująca wymianę ciepła | 89 |
| 6.4.6. Potencjalne saldo wymiany ciepła | 90 |
| 6.4.7. Ekwiwalent temperatury standardowej | 90 |
| 6.4.8. Średnia temperatura promieniowania | 91 |
| 7. Ogólny model oceny warunków bioklimatycznych | 91 |
| 7.1. Kryterium i ogólny model oceny | 92 |
| 7.2. Przykłady cząstkowych modeli oceny niektórych elementów środowiska geograficznego | 93 |
| 7.2.1. Ocena warunków klimatycznych i bioklimatycznych | 93 |
| 7.2.2. Ocena rzeźby terenu | 94 |
| 7.2.3. Ocena zagospodarowania terenu | 95 |
| 7.2.4. Kompleksowa ocena warunków bioklimatycznych | 96 |

CZEŚĆ III

BADANIA ZRÓŻNICOWANIA PRZESTRZENNEGO WARUNKÓW

| | |
|--|-----|
| BIOKLIMATYCZNYCH | 99 |
| 1. Metody pomiarowe | 99 |
| 1.1. Cel i zakres badań | 99 |
| 1.2. Organizacja badań | 100 |
| 1.3. Lokalny wpływ środowiska geograficznego na warunki klimatyczne i bioklimatyczne | 101 |
| 2. Metody kameralne | 106 |
| 2.1. Mapy wykonane metodą izolunii | 106 |
| 2.1.1. Zanieczyszczenie powietrza | 107 |
| 2.1.2. Natężenie poziomego dźwięku | 107 |
| 2.1.3. Przewietrzanie efektywne dolin górskich | 109 |
| 2.2. Mapy wykonane metodą zasięgów | 110 |
| 2.2.1. Promieniowanie słoneczne | 111 |
| 2.2.2. Teoretycznie możliwe usłonecznienie | 113 |
| 2.2.3. Temperatura minimalna powietrza | 113 |
| 2.2.4. Wilgotność gleby | 115 |
| 2.2.5. Prędkość wiatru | 117 |
| 2.2.6. Warunki odczuwalne | 119 |
| 3. Mapy wykonane metodami Systemu Informacji Geograficznej (GIS) | 121 |
| 3.1. Podstawy tworzenia systemu informacji | 122 |
| 3.2. Pochłonięte promieniowanie słoneczne | 123 |
| 3.3. Odczucia cieplne człowieka | 123 |
| 3.4. Obciążenie cieplne organizmu | 128 |
| 4. Klimatologiczno-fizjologiczna typologia klimatów lokalnych | 128 |
| 5. Ocena lokalnych warunków bioklimatycznych | 136 |

| | |
|--|-----|
| CZĘŚĆ IV | |
| BIOKLIMAT POLSKI | 139 |
| 1. Wykorzystanie danych obserwacyjnych | 139 |
| 2. Zróznicowanie fizycznogeograficzne Polski a warunki bioklimatyczne | 142 |
| 3. Czynniki cyrkulacyjne kształtujące warunki bioklimatyczne | 145 |
| 3.1. Typy cyrkulacji | 145 |
| 3.2. Masy powietrza | 146 |
| 3.3. Typy pogody | 146 |
| 4. Stosunki radiacyjne | 149 |
| 4.1. Promieniowanie słoneczne i usłonecznienie | 149 |
| 4.2. Zachmurzenie | 152 |
| 5. Stosunki wietrzne | 153 |
| 6. Stosunki termiczne | 154 |
| 7. Stosunki wilgotnościowe | 155 |
| 7.1. Wilgotność powietrza | 155 |
| 7.2. Opady atmosferyczne | 157 |
| 8. Warunki odczuwalne | 159 |
| 8.1. Ochładzanie biologiczne | 159 |
| 8.2. Temperatury odczuwalne | 160 |
| 8.3. Ostrość klimatu okresu zimowego | 163 |
| 8.4. Charakterystyki termofizjologiczne | 165 |
| 9. Typy bioklimatu Polski | 168 |
| 10. Regiony bioklimatyczne Polski | 170 |
| ZAŁĄCZNIK 1 — Opis programu BioKlima (<i>Krzysztof Błażejczyk i Michał Błażejczyk</i>) | |
| | 173 |
| ZAŁĄCZNIK 2 — Wzory szczegółowe do wyznaczania składników bilansu ciepłnego człowieka (<i>Krzysztof Błażejczyk</i>) | |
| | 179 |
| ZAŁĄCZNIK 3 — Szacowanie dopływu promieniowania całkowitego Słońca do powierzchni o dowolnym nachyleniu i ekspozycji (<i>Anna Styszyńska</i>) | |
| | 183 |
| BIBLIOGRAFIA | 187 |
| HUMAN BIOCLIMATOLOGY — methods and applications (summary) | 195 |
| SKOROWIDZ RZECZOWY | 198 |

Książka została przygotowana przez klimatologów, specjalistów z zakresu bioklimatologii człowieka. Bioklimatologia człowieka, jako gałąź klimatologii stosowanej, ma duże znaczenie w różnych dziedzinach gospodarki ludzkiej, np. w ochronie środowiska, lecznictwie uzdrowiskowym, zagospodarowaniu przestrzennym, turystyce i wypoczynku, melioracji klimatu itp.

Celem pracy jest przedstawienie metod badawczych stosowanych do oceny bioklimatycznych warunków życia człowieka i poznania zróżnicowania przestrzennego bioklimatu Polski.

Tak w polskiej, jak i w zagranicznej literaturze fachowej odczuwa się brak prac poświęconych metodyce badań i opracowań obejmujących zarówno klasyczne już dzisiaj metody podstawowe, jak i najnowsze, wynikające z postępu wiedzy oraz wprowadzania nowych technik badawczych.

Studium składa się z czterech części podzielonych na rozdziały, w których starano się zwrócić uwagę na metody badawcze sprawdzone w warunkach klimatu Polski, a także na ich zastosowanie, pozwalające na uzyskanie zadowalających wyników.

Książka przewidziana jest nie tylko dla geografów, lecz dla wszystkich interesujących się poruszaną w niej problematyką. Autorzy mają nadzieję, że będzie ona przydatna dla specjalistów z innych dziedzin wiedzy (np. ekologów, lekarzy, planistów, architektów krajobrazu). Być może pozwoli im na zrozumienie złożoności zagadnień bioklimatycznych, a także ukaże możliwości klimatologów w zakresie dostarczania odpowiednich danych wykorzystywanych w różnych działaniach praktycznych. Będzie zatem krokiem w kierunku większej niż dotychczas współpracy interdyscyplinarnej.

W pracy nie ma opisów przyrządów pomiarowych; osoby zainteresowane mogą znaleźć informacje na ten temat w innych polskich publikacjach klimatologicznych, takich jak np. *Przyrządy hydrologiczne i meteorologiczne* (Z. Kaczorowski, M. Klarner i A. Śniadowski 1971), *Metody i przyrządy pomiarowe w meteorologii i hydrologii* (E.S. Strauch 1972), *Przyrządy i metody pomiarowe w meteorologii i hydrologii* (T.R. Śnieżek 1978), *Biometeorologia turystyki* (H. Dubaniewicz, T. Nurek i A. Zawadzka 1988, 1989), *Instrukcja dla Stacji Meteorologicznych* (Janiszewski 1988). Wiadomości takie znajdują się też w pracach z zakresu bioklimatologii zwierząt lub roślin, np. *Metodyka badań zoohigienicznych* (T.W. Janowski 1977), *Agrometeorologia* (Cz. Radomski 1977).

Autorzy dziękują pracownikom Zakładu Klimatologii IGiPZ PAN, mgr Annie Beacie Adamczyk i mgr Jarosławowi Baranowskiemu, za pomoc techniczną przy przygotowaniu książki.

Teresa Kozłowska-Szczęsna

Wykaz stosowanych symboli

| Symbol | Opis | Wymiar |
|-----------------------|--|-------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| <i>A</i> | poziom natężenia dźwięku | dB |
| <i>A_m</i> | współczynnik charakteryzujący udział w powierzchni terenu obszarów o zwiększonej zawartości w powietrzu aerozolu morskigo | bezwymiarowy |
| <i>A_t</i> | współczynnik charakteryzujący dobową amplitudę temperatury powietrza | bezwymiarowy |
| <i>b</i> | szerokość dna doliny | m |
| <i>B_k</i> | <i>wskaznik kompleksowej oceny warunków bioklimatycznych</i> | bezwymiarowy |
| <i>c</i> | współczynnik charakteryzujący rodzaj chmur: 0,2 — dla Ci, Cc; 0,3 — dla Cs; 0,45 — dla Ac, As; 0,55 — dla Cu, Cb; 0,75 — dla Sc, St, Ns; 0,90 — dla mgły | |
| <i>c_{A1}</i> | częstość występowania dni z pogodą zaliczoną do grupy A1 | część jednostki |
| <i>c_{A2}</i> | częstość występowania dni z pogodą zaliczoną do grupy A2 | część jednostki |
| <i>c_{A3}</i> | częstość występowania dni z pogodą zaliczoną do grupy A3 | część jednostki |
| <i>c_{A4}</i> | częstość występowania dni z pogodą zaliczoną do grupy A4 | część jednostki |
| <i>c_C</i> | częstość występowania dni z pogodą niekorzystną dla człowieka | część jednostki |
| <i>C</i> | wymiana ciepła na drodze unoszenia (konwekcji) | W m ⁻² |
| <i>C_p</i> | przybliżona wartość konwekcyjnego strumienia ciepła | W m ⁻² |
| <i>d</i> | szerokość doliny | m |
| <i>d'</i> | współczynnik oporu cieplnego odzieży | bezwymiarowy |
| <i>db_m</i> | liczba dni bardzo mroźnych z okresu XII-III | dni |
| <i>d_m</i> | liczba dni mroźnych z okresu XII-III | dni |
| <i>d_z</i> | liczba dni zimowych z okresu XII-III (tzn. z temperaturą średnią dobową < 0°C) | dni |
| <i>D</i> | <i>niedosyt fizjologiczny</i> | hPa |
| <i>De</i> | <i>wielkość przewietrzania efektywnego dolin</i> | bezwymiarowy |
| <i>De</i> | <i>średnia ważona wielkość przewietrzania efektywnego dolin</i> | bezwymiarowy |
| <i>DI</i> | <i>wskaznik dyskomfortu</i> | °C |
| <i>D₁</i> | <i>wielkość przewietrzania dolin</i> | bezwymiarowy |

| 1 | 2 | 3 |
|-------------------------|--|-------------------------------|
| <i>DR</i> | średnia wartość dawki rumieniowej | min. |
| <i>DRS</i> | <i>dawka rumieniowa skóry</i> | min. |
| <i>e</i> | ciśnienie pary wodnej w powietrzu | hPa |
| <i>es</i> | ciśnienie pary wodnej na powierzchni skóry | hPa |
| <i>exp</i> | podstawa logarytmu naturalnego | |
| <i>E</i> | straty ciepła na parowanie z powierzchni ciała (ewaporacyjne straty ciepła) | $W m^{-2}$ |
| <i>ECI</i> | <i>efektywna izolacyjność odzieży</i> | clo |
| <i>E_{max}</i> | straty ciepła na parowanie, maksymalne w danych warunkach termiczno-wilgotnościowych | $W m^{-2}$ |
| <i>Ep</i> | przybliżona wartość ewaporacyjnych strat ciepła | $W m^{-2}$ |
| <i>E_{req}</i> | ewaporacyjne straty ciepła niezbędne dla zachowania równowagi cieplnej | $W m^{-2}$ |
| <i>E_t</i> | ciśnienie pary wodnej nasyconej w danej temperaturze | hPa |
| <i>E_{36,5}</i> | ciśnienie pary wodnej nasyconej w temperaturze 36,5°C | hPa |
| <i>f</i> | wilgotność względna powietrza | % |
| <i>F</i> | współczynnik charakteryzujący wilgotność powietrza | bezwymiarowy |
| <i>fcl</i> | współczynnik określający osłabienie przepływu ciepła przez odzież | bezwymiarowy |
| <i>F_f</i> | <i>wilgotność fizjologiczna</i> | % |
| <i>G</i> | stała katatermometru | $mcal \cdot cm^{-2}$ |
| <i>h</i> | wysokość Słońca | stopnie |
| <i>hc</i> | współczynnik konwekcyjnego przenoszenia ciepła | $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ |
| <i>hc'</i> | współczynnik przenoszenia ciepła przez odzież | bezwymiarowy |
| <i>hd</i> | głębokość doliny | m |
| <i>he</i> | współczynnik ewaporacyjnego przenoszenia ciepła | $W m^{-2} hPa^{-1}$ |
| <i>H</i> | <i>wielkość ochładzająca powietrza (ochładzanie suche)</i> | $W m^{-2}$ |
| <i>H₁</i> | <i>wielkość ochładzająca powietrza, gdy $v < 1 m \cdot s^{-1}$</i> | $W m^{-2}$ |
| <i>H₂</i> | <i>wielkość ochładzająca powietrza, gdy $v > 1 m \cdot s^{-1}$</i> | $W m^{-2}$ |
| <i>H_k</i> | bezwzględna wysokość miejscowości (n.p.m.) | m |
| <i>HL</i> | <i>obciążenie cieplne organizmu</i> | bezwymiarowy |
| <i>HR</i> | <i>częstotliwość tętna</i> | uderzenia $\cdot min^{-1}$ |
| <i>HSI</i> | <i>wskaźnik stresu cieplnego</i> | % |
| <i>H_w</i> | <i>ochładzanie wilgotne</i> | $W m^{-2}$ |
| <i>i</i> | <i>entalpia powietrza</i> | $kJ \cdot kg^{-1}$ |
| <i>id</i> | częstość zmian pogody o intensywności dużej | bezwymiarowy |
| <i>i_m</i> | częstość zmian pogody o intensywności małej | bezwymiarowy |
| <i>Ia</i> | izolacyjność termiczna warstwy powietrza otaczającej człowieka | clo |
| <i>Icl</i> | izolacyjność termiczna odzieży | clo |
| <i>Iclp</i> | <i>przewidywana izolacyjność odzieży</i> | clo |
| <i>Ie</i> | współczynnik osłabienia przepływu ciepła przez odzież, dla ewaporacji | bezwymiarowy |
| <i>Irc</i> | współczynnik osłabienia przepływu ciepła przez odzież, dla radiacji i konwekcji | bezwymiarowy |
| <i>IREQ</i> | <i>niezbędna izolacyjność odzieży</i> | clo |
| <i>It</i> | całkowita izolacyjność termiczna powietrza i odzieży | clo |
| <i>Kd</i> | wymiana ciepła poprzez przewodzenie (kondukcję) | $W m^{-2}$ |

| 1 | 2 | 3 |
|-------------------|--|-----------------|
| K_{dif} | rozproszone promieniowanie słoneczne | $W m^{-2}$ |
| K_{dir} | bezpośrednie promieniowanie słoneczne na powierzchnię poziomą | $W m^{-2}$ |
| K_{glob} | całkowite promieniowanie słoneczne na powierzchnię poziomą | $W m^{-2}$ |
| Kl | <i>wskaźnik oceny warunków klimatycznych</i> | bezwymiarowy |
| K_{ref} | odbite promieniowanie słoneczne | $W m^{-2}$ |
| K_w | współczynnik zmian prędkości wiatru przez rzeźbę terenu | bezwymiarowy |
| K_0 | promieniowanie słoneczne na górnej granicy atmosfery | $W m^{-2}$ |
| L | wymiana ciepła poprzez promieniowanie długofalowe (radiację) | $W m^{-2}$ |
| L_p | przybliżona wartość radiacyjnej wymiany ciepła | $W m^{-2}$ |
| M | metaboliczna produkcja ciepła | $W m^{-2}$ |
| M_{rt} | <i>średnia temperatura promieniowania</i> | $^{\circ}C$ |
| MTE | <i>dopuszczalny czas przebywania</i> | min |
| n | liczba dni | dni |
| N | wielkość zachmurzenia ogólnego | % |
| N_m | liczba dni w miesiącu | dni |
| $N_{w<0}$ | udział w powierzchni terenu obszarów o mniejszym niż na płaszczyźnie poziomej dopływie promieniowania słonecznego do podłoża | część jednostki |
| $N_{w>0}$ | udział w powierzchni terenu obszarów o większym niż na płaszczyźnie poziomej dopływie promieniowania słonecznego do podłoża | część jednostki |
| p | ciśnienie atmosferyczne | hPa |
| P_A | prawdopodobieństwo wystąpienia przez trzy kolejne dni pogody korzystnej dla człowieka | część jednostki |
| P_C | prawdopodobieństwo wystąpienia przez trzy kolejne dni pogody niekorzystnej dla człowieka | część jednostki |
| PM_{\checkmark} | <i>przewidywana średnia ocena</i> | bezwymiarowy |
| PPD | <i>przewidywany odsetek osób odczuwających dyskomfort</i> | % |
| PSI | <i>potencjalne saldo wymiany ciepła</i> | $W m^{-2}$ |
| r | współczynnik efektywności pocenia się | bezwymiarowy |
| R | pochłonięte przez człowieka promieniowanie słoneczne | $W m^{-2}$ |
| R' | promieniowanie słoneczne pochłonięte przez człowieka nie ubranego | $W m^{-2}$ |
| Res | straty ciepła poprzez oddychanie (respirację) | $W m^{-2}$ |
| R_t | <i>wskaźnik oceny rzeźby terenu</i> | bezwymiarowy |
| s | współczynnik emisyjności = 0,95 | bezwymiarowy |
| s_d | trwałość zmian pogody o intensywności dużej | bezwymiarowy |
| s_m | trwałość zmian pogody o intensywności małej | bezwymiarowy |
| S | wzrost lub ubytek ciepła w organizmie (saldo wymiany ciepła) | $W m^{-2}$ |
| S_B | <i>wskaźnik ostrości klimatu (Bodmana)</i> | bezwymiarowy |
| S_o | <i>wskaźnik ostrości klimatu (Osokina)</i> | bezwymiarowy |
| Sp | <i>przybliżone saldo wymiany ciepła</i> | $W m^{-2}$ |
| SST | <i>ekwiwalent temperatury standardowej</i> | $^{\circ}C$ |
| S_t | suma temperatur średnich dobowych dla okresu XII-III < 0 $^{\circ}C$ | $^{\circ}C$ |
| STE | <i>temperatura skóry bilansująca wymianę ciepła</i> | $^{\circ}C$ |
| SW | <i>straty wody (z organizmu)</i> | $g\ godz^{-1}$ |

| 1 | 2 | 3 |
|------------|---|-------------------------------|
| SW_{req} | <i>pożądane wydzielanie potu</i> | $W \cdot m^{-2}$ |
| t | temperatura powietrza | $^{\circ}C$ |
| t_{cl} | temperatura powierzchni odzieży | $^{\circ}C$ |
| t_g | temperatura mierzona termometrem kulistym | $^{\circ}C$ |
| t_{max} | maksymalna temperatura powietrza | $^{\circ}C$ |
| t_{min} | minimalna temperatura powietrza | $^{\circ}C$ |
| t_w | temperatura wskazywana przez termometr zwilżony | $^{\circ}C$ |
| T | temperatura powietrza w skali Kelwina | K |
| T_c | <i>wskaźnik odczucia ciepła</i> | $^{\circ}C$ |
| TE | <i>temperatura efektywna</i> | $^{\circ}C$ |
| Te | <i>temperatura ekwiwalentna</i> | $^{\circ}C$ |
| T_g | temperatura powierzchni gruntu | $^{\circ}C$ |
| TR | <i>temperatura zredukowana</i> | $^{\circ}C$ |
| TRE | <i>temperatura radiacyjno-efektywna</i> | $^{\circ}C$ |
| TRI | wzrost temperatury powietrza spowodowany przez promieniowanie słoneczne | $^{\circ}C$ |
| T_s | średnia ważona temperatura skóry człowieka | $^{\circ}C$ |
| TWD | obniżenie temperatury odczuwalnej spowodowane przez wiatr | $^{\circ}C$ |
| u | uśłonecznienie rzeczywiste | godz. |
| u_0 | uśłonecznienie astronomicznie możliwe | godz. |
| w | współczynnik uwilgotnienia skóry | bezwymiarowy |
| $WBGT$ | <i>wskaźnik obciążenia cieplnego</i> | $^{\circ}C$ |
| WCI | <i>wskaźnik ochładzania wiatrem (Wind Chill)</i> | $W m^{-2}$ |
| WO_2 | <i>wskaźnik ostrości zim</i> | bezwymiarowy |
| v | prędkość wiatru | $m s^{-1}$ |
| v' | prędkość poruszania się człowieka | $m s^{-1}$ |
| v_z | prędkość wiatru na wysokości hz | $m s^{-1}$ |
| v_w | prędkość wiatru na wysokości wiatromierza h _w | $m s^{-1}$ |
| x_1 | poziom ciśnienia akustycznego wytworzonego przez dany dźwięk | $N m^{-2}$ |
| x_0 | poziom ciśnienia akustycznego na granicy słyszalności (= 0,00002) | $N m^{-2}$ |
| z_0 | współczynnik szorstkości podłoża | cm |
| Z_m | udział w powierzchni terenu obszarów zabudowanych | część jedności |
| Z_p | współczynnik charakteryzujący zanieczyszczenie powietrza | bezwymiarowy |
| Z_t | <i>wskaźnik oceny zagospodarowania terenu</i> | bezwymiarowy |
| Z_w | udział w powierzchni terenu obszarów zalesionych i parków | część jedności |
| α | średnie albedo powierzchni ciała i odzieży | % |
| β | współczynnik pochłaniania promieniowania słonecznego | bezwymiarowy |
| ρ | promieniowanie słoneczne pochłonięte przez ciało człowieka | $W m^{-2}$ |
| τ | czas ochładzania katatermometru | sek |
| σ | stała Stefana-Boltzmana = $5,7 \cdot 10^{-8}$ | $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ |

CZĘŚĆ I

ODDZIAŁYWANIE ŚRODOWISKA ATMOSFERYCZNEGO NA CZŁOWIEKA

Wprowadzenie

Początki bioklimatologii człowieka sięgają starożytności. Już za czasów Hipokratesa (460-377 p.n.e.) interesowano się wpływem pogody i klimatu na samopoczucie i zdrowie ludzkie. Hipokrates, wykorzystując doświadczenia swoich poprzedników, wysunął teorię o wpływie warunków geograficznych i klimatu na stan zdrowia i psychikę poszczególnych osób. Podkreślał on także, że „słońce, woda i wiatr mogą z jednej strony szkodzić zdrowiu, z drugiej przynosić poprawę stanu zdrowia, a nawet leczyć”. Swoje poglądy zawarł w traktacie *O powietrzu, wodach i miejscach*. Do połowy XVIII wieku związek środowiska atmosferycznego ze zdrowiem człowieka był uważany za integralną część fizjologii i tymi zagadnieniami zajmowali się głównie lekarze. Z biegiem czasu bioklimatologią człowieka zaczęli interesować się fizycy, biologowie, geografowie, urbaniści i inni specjaliści z zakresu nauk ścisłych i przyrodniczych.

Definicję bioklimatologii stworzył w 1827 r. A. Humboldt, określając ją jako „zespół czynników atmosferycznych, które działają na receptory zmysłowe człowieka”. W podobnym znaczeniu rozumiemy współcześnie bioklimatologię człowieka jako „badanie wpływu pogody i klimatu na człowieka”.

W 1956 r. założono Międzynarodowe Towarzystwo Biometeorologii i Bioklimatologii. Na pierwszym jego posiedzeniu w Paryżu zaproponowano definicję i określono zadania, a także dokonano podziału biometeorologii i bioklimatologii (wyróżniono bioklimatologię człowieka, roślin i zwierząt). Na I Zjeździe Towarzystwa w 1957 r. w Wiedniu dokonano klasyfikacji biometeorologii i bioklimatologii oraz ustalono definicje poszczególnych specjalności. Niewielkie zmiany w odniesieniu do definicji i klasyfikacji wprowadzono w 1969 r. Zjazdy (kongresy) Towarzystwa organizowane są co 3 lata w różnych krajach i dają przegląd badań w tej dziedzinie wiedzy. Dotychczas odbyło się 14 międzynarodowych kongresów biometeorologicznych:

- I w Austrii — Wiedeń 23-27 IX 1957 r.
- II w Anglii — Londyn 4-10 IX 1960 r.
- III we Francji — Pau 1-7 IX 1963 r.

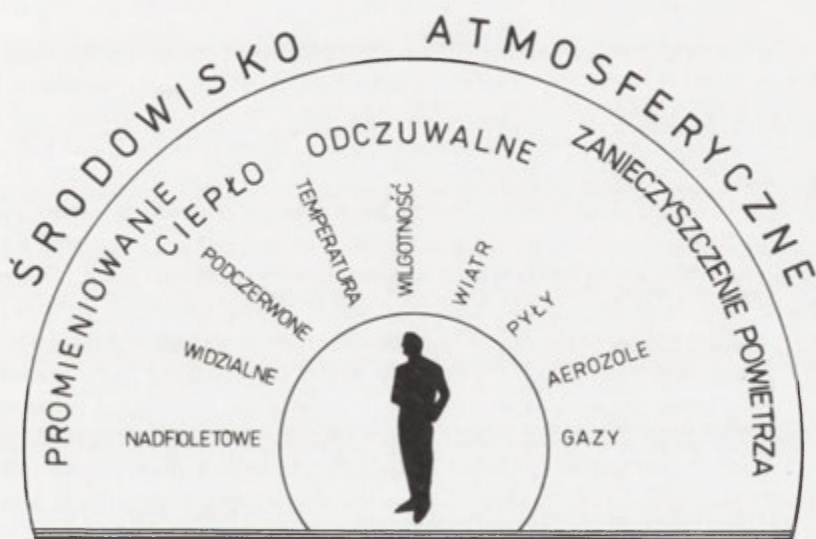
| | |
|---|--------------------------------------|
| IV w USA | — New Brunswick 26 VIII-2 IX 1966 r. |
| V w Szwajcarii | — Montreux 31 VIII-6 IX 1969 r. |
| VI w Holandii | — Nordwijk 3-9 IX 1972 r. |
| VII w USA | — College Park 17-23 VIII 1975 r. |
| VIII miał odbyć się w Polsce w 1978 r.; | |
| odbył się w Izraelu | — Shefayim 9-15 IX 1979 r. |
| IX w Niemczech | — Osnabrück 23 IX-1 X 1981 r. |
| X w Japonii | — Tokio 26-30 VII 1984 r. |
| XI w USA | — West Lafayette 13-18 IX 1987 r. |
| XII w Austrii | — Wiedeń 26 VIII-3 IX 1990 r. |
| XIII w Kanadzie | — Calgary 12-18 IX 1993 r. |
| XIV w Słowenii | — Lublana 1-8 IX 1996 r. |
| XV planowany jest w Australii | — Sydney 1999 r. |

W 1954 r. powstało Polskie Towarzystwo Balneoklimatyczne, nawiązujące do tradycji Polskiego Towarzystwa Balneologicznego (1905-1939). W 1965 r. zostało ono przekształcone w Polskie Towarzystwo Balneologii, Bioklimatologii i Medycyny Fizykalnej. Towarzystwo organizuje ogólnopolskie zjazdy balneoklimatyczne z udziałem gości zagranicznych, na których prezentowane są nie tylko najnowsze prace z zakresu bioklimatologii i biometeorologii, lecz także tendencje badawcze oraz wskazywane są zagadnienia wymagające specjalnych studiów. Wśród tych ostatnich na pierwsze miejsce wysuwają się zagadnienia związane z ochroną środowiska życia człowieka, z metodami badawczymi jak również z fachowym nazewnictwem. Staraniem Towarzystwa zorganizowano 15 zjazdów: w Inowrocławiu (1954), w Ładku (1956), w Ciechocinku (1958), w Szczawnie (1960), w Poznaniu (1962), w Krynicy (1964), w Kołobrzegu (1968), w Szczawnicy (1972), w Polanicy (1976), w Kołobrzegu (1979), w Kamieniu Pomorskim (1983), w Ciechocinku (1986), w Polanicy (1992), w Inowrocławiu (1993), w Ustroniu (1995). XVI Zjazd planowany jest w Kołobrzegu w 1997 r.

Publikacje z zakresu metodyki badań prowadzonych w dziedzinie bioklimatologii człowieka należą do rzadkości nie tylko w Polsce, lecz także w innych krajach, tak europejskich jak i pozaeuropejskich. Niektóre zagadnienia metodyczne można znaleźć w pracach np: *Prakticka klimatologie* (Nosek 1954), *Metody badań bioklimatycznych* (Strużka 1956, 1959), *Biometeorological methods* (Munn 1970), *Zarys biometeorologii sportu* (Kiełczewski i Bogucki 1972), *Klimat i życie* (Budyko 1975), *Biometeorologia człowieka* (Jankowiak, red., 1976), *Lecznictwo klimatyczne* (Mączyński 1978), *Medicinskaja klimatologija* (Bokša i Boguckij 1980), *Biometeorology* (Tromp 1980), *Human bioclimatology* (Flach 1981), *Klimat – środowisko – człowiek* (Flemming 1983), *Metody badań bioklimatu człowieka* (Kozłowska-Szczęsna, red., 1985), *Biometeorologia ekologiczna* (Trojan 1985), *Przyroda i nasze zdrowie* (Daniłowa 1988), *Human thermal environments* (Parsons 1993).

1. Znaczenie bodźców klimatycznych

Nowoczesne badania środowiska atmosferycznego stają się coraz bardziej wszechstronne, obejmując szeroki zespół elementów meteorologicznych i czynników geograficznych kształtujących i modyfikujących klimat odczuwalny. Oprócz podstawowych elementów meteorologicznych, takich jak: promieniowanie słoneczne i usłonecznienie, temperatura i wilgotność powietrza, ciśnienie atmosferyczne oraz ruch powietrza i opady, uwzględnia się także zanieczyszczenia pyłowe i gazowe powietrza, jonizację powietrza, natężenie pól elektromagnetycznych, zawartość pierwiastków śladowych (w tym także radioaktywnych) w powietrzu, hałas i wibracje itp. (ryc. 1). Spośród czynników



Ryc. 1. Człowiek i środowisko atmosferyczne (wg Climate and human health, WMO-No 843)

geograficznych niezaprzeczalny wpływ na tworzenie się swoistych cech bioklimatu mają: rzeźba terenu, rodzaj podłoża, szata roślinna, stosunki wodne i użytkowanie terenu.

Wszystkie wymienione wyżej elementy i czynniki oddziałują nieprzerwanie na organizm człowieka, jednakże z różnym natężeniem, zmieniającym się w czasie i przestrzeni. Oddziaływanie to odbywa się poprzez zróżnicowane zespoły bodźców, pod których wpływem zachodzą w organizmie człowieka pozytywne lub negatywne zmiany czynnościowe, metaboliczne i morfologiczne. Dotyczy to przede wszystkim bodźców o silnych natężeniach, przekraczających zdolność organizmu do zachowania równowagi psychofizycznej, którą utrzymuje się dzięki odpowiedniej kondycji i regulacji procesów fizjologicznych. Ocena bodźcowości klimatu badanej miejscowości czy regionu opiera się na

skrajnych (minimalnych i maksymalnych) wartościach podstawowych elementów meteorologicznych oraz ich zespołów, ilustrujących zakres zmian, na jakie organizm ludzki musi być w danym środowisku przygotowany. Intensywność bodźców określa się na podstawie czasu ich trwania. Dynamikę bodźcowości klimatu (aktywności biologicznej) ocenia się natomiast, biorąc pod uwagę zmienność różnych typów pogody. Duże znaczenie przywiązuje się do zmian krótkookresowych (np. z dnia na dzień). Działanie poszczególnych bodźców może być zwiększone, między innymi przez ich współdziałanie (synergizm). Wówczas nawet mało znaczący i słaby bodziec wzmacnia efekt działania innych bodźców.

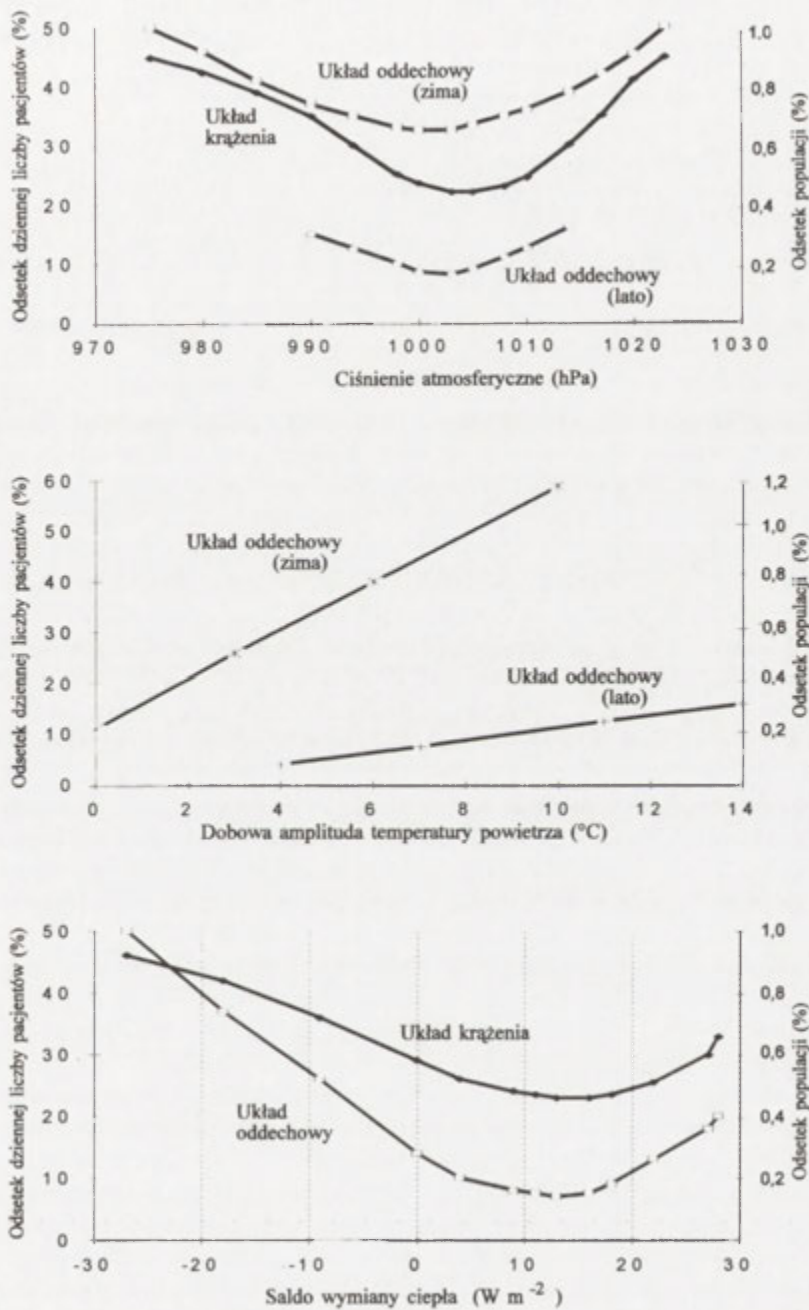
Najistotniejsze zatem w bioklimatologii to bodziec i reakcja. Środowisko atmosferyczne wywiera na człowieka działanie bodźcowe, a organizm ludzki odpowiada biologicznymi i psychicznymi reakcjami. Reakcja organizmu ludzkiego na bodźce atmosferyczne zależy przede wszystkim od ich intensywności (Flemming 1983). I tak:

- słabe bodźce powodują utratę przystosowania lub wydelikacenie,
- umiarkowane bodźce działają pobudzająco, hartująco, a także leczniczo,
- silne bodźce działają szkodliwie, bowiem powodują obciążenie lub przeciążenie organizmu człowieka.

Jako przykłady oddziaływania silnych bodźców na zdrowie człowieka mogą posłużyć studia T. Kozłowskiej-Szczęsnej i E. Grzędzińskiego (1991), a także wstępne wyniki badań wpływu warunków meteorologicznych na zachorowalność mieszkańców jednej z dzielnic Warszawy. Badania te są prowadzone w Zakładzie Klimatologii IGiPZ PAN. Zaobserwowano wyraźne zależności pomiędzy wartościami niektórych elementów meteorologicznych a pojawianiem się objawów chorobowych wśród pacjentów jednej z przychodni rejonowych Grochowa. Liczba niedomagań układu oddechowego i układu krążenia zmieniła się wraz ze zmianami ciśnienia atmosferycznego i dobowej amplitudy temperatury powietrza oraz wskaźnika Sp , określającego przybliżoną wartość salda wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem (ryc. 2).

Granice pomiędzy poszczególnymi typami bodźców są zmienne i trudne do uchwycenia, zależą bowiem od wieku, stanu zdrowia, wrażliwości fizycznej i psychicznej człowieka itp. Klimat wyróżniający się silnymi bodźcami nazywamy „klimatem bodźcowym”, a klimat charakteryzujący się słabymi bodźcami „klimatem oszczędzającym”. Jak już wspomniano, bodźcowość klimatu zmienia się w czasie i w przestrzeni, nawet na niewielkim obszarze. Zmienność bodźcowości klimatu jest cechą pozytywną, gdyż pozwala na dozowanie bodźców w zależności od indywidualnych wymagań zarówno osób zdrowych, jak i chorych.

Zmiana klimatu związana ze zmianą miejsca pobytu może działać na człowieka zarówno pobudzająco, jak i stresująco. Okres przystosowania (aklimatyzacji) do nowych warunków zależy od stopnia bodźcowości klimatu, od kontrastowości nowych warunków klimatycznych w porównaniu z miejscem zamieszkania, jak również od wieku i stanu zdrowia oraz wrażliwości osobniczej.



Ryc. 2. Wpływ warunków meteorologicznych na niedomagania układu oddechowego i układu krążenia u mieszkańców Warszawy (na podstawie badań własnych)

W bioklimatologii człowieka wyróżnia się wiele bodźców oddziałujących na organizm człowieka przez skórę, drogi oddechowe, układ nerwowy oraz narządy: węchu, smaku, słuchu i wzroku. Bodźce te można ująć w trzy podstawowe zespoły, a mianowicie:

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

1.1. Zespół bodźców fizycznych

1.1.1. Bodźce radiacyjne

W grupie bodźców fizycznych ważną rolę odgrywa promieniowanie słoneczne w zakresach: nadfioletowym, widzialnym i podczerwonym. Natężenie energii promieniowania zależy od wysokości Słońca nad horyzontem, od wyniesienia nad poziom morza, od stopnia zachmurzenia nieba i zmętnienia atmosfery. Wskutek tego promieniowanie dochodzące do powierzchni Ziemi podlega znacznym zmianom, zarówno w ciągu dnia, jak i w ciągu roku.

Promieniowanie słoneczne oddziałuje korzystnie na organizm człowieka. Nafioletowa część promieniowania słonecznego, a przede wszystkim UV-B (0,280-0,315 μm), jest najbardziej aktywna biologicznie: pobudza czynności krwiotwórcze, zwiększa odporność organizmu na zakażenia, wywołuje zmiany czynnościowe układu nerwowego, pobudza gruczoły wydzielania wewnętrznego, działa odczulająco i przeciwkrzywiczo. W naświetlanej nadfioletem skórze powstaje melanina, substancja wywołująca rumień s.o-neczny i pigmentację skóry, oraz wytwarza się w niej cenny lek — witamina D. Promieniowanie UV niszczy także bakterie i drobnoustroje znajdujące się w powietrzu. Zbyt wielkie dawki promieniowania nadfioletowego mogą jednak powodować ujemne skutki w postaci oparzeń i gorączki, a nawet raka skóry.

Widzialna część promieniowania słonecznego działa na światłoczułe komórki oka, a co za tym idzie na odbieranie wrażeń wizualnych (optyczno-psychicznych) oraz pośrednio na aktywność procesów biologicznych organizmu.

Promieniowanie podczerwone ma właściwości cieplne. Ciepło uzyskane tą drogą przez człowieka przyspiesza reakcje chemiczne organizmu (wzrost przemiany materii, zwiększenie zapotrzebowania na tlen), ma właściwości łagodzenia bólu różnego pochodzenia (np. bóle reumatyczne, pourazowe, z odmrożeń), a ponadto ułatwia zachowanie równowagi cieplnej (homeotermii).

Bodźce radiacyjne określa się na podstawie natężenia całkowitego promieniowania słonecznego i czasu usłonecznienia. W przypadku braku danych o usłonecznieniu, kryterium oceny warunków solarnych może być wielkość pokrycia nieba przez chmury. Zachmurzenie ma bowiem wyraźny wpływ na zmiany aktywności biologicznej organizmu i samopoczucie człowieka.

1.1.2. Bodźce termiczno-wilgotnościowe

Bodźce termiczno-wilgotnościowe działają hartująco lub oszczędzająco na organizm człowieka (Mączyński 1978). Normalna temperatura wewnętrzna człowieka wynosi około 37°C, a jej utrzymanie na stałym poziomie jest jednym z najważniejszych zadań układu termoregulacyjnego. Efektywność działania termoregulacji jest wspomagana przez: przemianę materii, ograniczenie strat ciepła (ubiór), hartowanie (trening układu termoregulacyjnego) i pocenie się.

Wahania temperatury powietrza w zakresie 18-23°C (tzw. warunki termoneutralne) nie wpływają na zmianę temperatury wewnętrznej człowieka, jednakże nawet krótkotrwałe zmiany temperatury otoczenia mogą powodować zaburzenia gospodarki cieplnej organizmu. Wpływ wysokiej temperatury powietrza przejawia się złym samopoczuciem, zmniejszeniem wydolności fizycznej i psychicznej, zwiększeniem tętna i obniżeniem ciśnienia krwi, przyspieszeniem oddechu oraz zwiększeniem wydzielania potu. Reakcje człowieka na wysoką temperaturę uzależnione są również od wilgotności powietrza. Gdy powietrze jest suche, pot paruje i usuwa nadmiar ciepła z organizmu. Przy dużej wilgotności otoczenia parowanie potu jest utrudnione i występuje odczucie parności, szczególnie uciążliwe dla osób z chorobami układów oddechowego i krążenia. Nagłe zmiany temperatury i wilgotności powietrza wywołują zakłócenia gospodarki cieplnej — i w efekcie przeziębienia — szczególnie podczas ciepłych dni letnich, np. na wybrzeżu Bałtyku, przy adwekcji chłodnego powietrza znad morza (bryza morska).

Reakcją organizmu na niską temperaturę otoczenia jest zwężenie naczyń krwionośnych skóry, zwiększenie przemiany materii i tzw. drżenie mięśniowe. Fizjologiczny mechanizm obrony przed zimnem jest wspomagany przez odpowiednią odzież, dietę i zachowanie (ruch). Niemniej nie zawsze działania te są wystarczające i straty ciepła są większe niż wytwarzanie ciepła przez organizm; człowiek odczuwa wtedy zimno.

Odczuwalne warunki termiczne są wynikiem łącznego wpływu na człowieka temperatury i wilgotności powietrza, a także promieniowania słonecznego i prędkości wiatru. Wiatr współdziała w kształtowaniu się odczuwalnych warunków termicznych przez przyspieszenie oddawania ciepła jawnego i utajonego (parowanie). Silny wiatr zwiększa uciążliwość pogody mroźnej w zimie i łagodzi odczucie ciepła w gorące dni letnie. Na szczególną uwagę zasługują wiatry typu fenowego, które przynoszą wzrost temperatury powietrza i jego suchości, a także wywołują nagłe zmiany ciśnienia atmosferycznego, przez co stają się bodźcem oddziałującym niekorzystnie na samopoczucie człowieka, zwłaszcza chorego.

Intensywność bodźców termiczno-wilgotnościowych określa się, stosując zespołowe wskaźniki bioklimatyczne, jak też analizując wymianę ciepła między człowiekiem a środowiskiem atmosferycznym. Omawiane bodźce odgrywają ważną rolę w aeroterapii (terapia powietrzna) i kinezyterapii (terapia ruchowa).

1.1.3. Bodźce mechaniczne

Działanie mechaniczne wiatru jest z jednej strony korzystne (wiatr wykonuje swoisty mikromasaż obnażonej powierzchni ciała i w ten sposób usprawnia mechanizm termoregulacji), z drugiej strony zbyt silny ruch powietrza może utrudniać oddychanie, a nawet uniemożliwić poruszanie się człowieka. Ponadto silny wiatr zmniejsza zdolność do wysiłku, powoduje niepokój, zaburza sen, przenosi pyły, cząstki organiczne, cząsteczki wody itp. Nieprzyjemne dla człowieka są pulsacje wiatru (przy jego większych prędkościach) występujące łącznie z nagłymi zmianami ciśnienia (np. przy wietrze halnym).

Okresowy wzrost i obniżanie się ciśnienia atmosferycznego powoduje rozprężanie i sprężanie powietrza w uchu środkowym, przez co błony bębenkowe ulegają odkształceniu. Jest to odczuwane jako ucisk, kłucie, dzwonienie w uszach niekiedy obserwuje się nawet przejściowe osłabienie słuchu (Janowski, red., 1976).

Pyły przenoszone przez wiatr działają w sposób mechaniczny na odsłonięte części ciała: ranią oczy, drażnią śluzówki jamy ustnej i dróg oddechowych. W zapyłonym powietrzu zwiększa się ilość bakterii chorobotwórczych. Szkodliwe działanie pyłu zależy od jego ilości, rodzaju oraz wielkości cząstek. Szkodliwość ta wzrasta wraz z rozdrobnieniem cząstek pylastych. Pyły o średnicy poniżej 1 μm docierają do pęcherzyków płucnych, poniżej 5 μm do dróg oddechowych, do 10 μm zatrzymują się w lejkach oskrzelowych.

1.1.4. Bodźce elektryczne

Pod pojęciem elektryczności atmosferycznej rozumiemy: pole elektryczne atmosfery, jonizację, przewodnictwo elektryczne, prądy elektryczne w atmosferze, ładunki elektryczne chmur i opadów oraz elektryczność burzową (Kiełczewski i Bogucki 1972).

Powierzchnia Ziemi jest naładowana ujemnie; dodatnio naładowane są górne warstwy atmosfery, między nimi istnieje pole elektryczne, którego napięcie przy powierzchni Ziemi wynosi około $120 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$. Obecne wyniki badań wpływu pola elektrycznego na człowieka nie pozwalają określić z całą pewnością zarówno zakresu tego wpływu, jak i mechanizmu działania. Pole elektryczne zmienia się (pod względem wartości i znaku) w szerokich granicach, zwłaszcza podczas wyładowań elektrycznych w czasie burz. Zachodzą wtedy szybkie zmiany pola, co może być przyczyną złego samopoczucia niektórych osób.

Jonizacja powietrza jest wynikiem występowania w powietrzu, obok elektrycznie obojętnych atomów i cząstek gazów, także atomów, cząstek i aerozolu z dodatnim lub ujemnym ładunkiem elektrycznym, czyli jonów. Ilość jonów w powietrzu zależy od wielu czynników, między innymi: promieniowania kosmicznego, promieniowania radioaktywnego, zmian aktywności Słońca, wyładowań elektrycznych, wysokiej temperatury (termojonizacja), mechanicznego

rozpylania wody (hydrojonizacja), warunków meteorologicznych i zanieczyszczenia powietrza. Działanie biologiczne jonizacji polega na tym, że ładunek elektryczny ułatwia przenikanie mikroskopijnych cząstek gazów i aerozoli do dróg oddechowych człowieka. W przypadku powietrza zanieczyszczonego zwiększa się więc jego działanie toksyczne (Jankowiak, red., 1976). Duża koncentracja jonów ujemnych, np. w pobliżu strumieni górskich, wodospadów, nad brzegiem morza, wywołuje odczucie świeżości powietrza. Bryza morska naładowana jest jonami ujemnymi; spacer brzegiem morza sprzyja więc dobremu samopoczuciu oraz wzmacnia sprawność fizyczną i psychiczną. Jony dodatnie wpływają niekorzystnie na układ nerwowy i układ krążenia człowieka; dlatego wiele osób czuje się źle podczas wiatru halnego w górach, który niezależnie od zmian ciśnienia charakteryzuje się przewagą jonów dodatnich w powietrzu.

Na człowieka oddziałuje także naturalna radioaktywność skorupy ziemskiej oraz promieniowanie ze źródeł sztucznych (badania rentgenowskie, ekran telewizyjny, ekran komputerowy, zegarki ze świecącymi tarczami, skażenia radioaktywne z wybuchów jądrowych, z odpadów ciał radioaktywnych itp.), które podwyższają dawkę naturalną o około 30% (Kiełczewski i Bogucki 1972). Pojęcie dopuszczalnego stężenia radioaktywności jest ciągle dyskusyjne i w wielu dziedzinach oparte na założeniach teoretycznych. Badane są: śmiertelność, zachorowalność i występowanie zmian genetycznych w wyniku działania czynników szkodliwych na duże grupy ludzi. Naturalne wahania pola magnetycznego Ziemi są związane z aktywnością Słońca. Niekorzystny, z bioklimatycznego punktu widzenia, jest okres gwałtownych zmian pola magnetycznego (burze magnetyczne). Przenikając przez ciało i docierając do każdej komórki organizmu pole magnetyczne Ziemi ma wpływ na układ nerwowy i samopoczucie człowieka. Sztucznie generowane zmiany pola magnetycznego usprawniają natomiast krążenie obwodowe krwi oraz zwiększają zaopatrzenie tkanek w tlen (Ponikowska, red., 1995).

1.1.5. Bodźce akustyczne

Bodźce akustyczne oddziałują na narząd słuchu i na odczyny ogólnoustrojowe. Z uwagi na swoją uciążliwość w środowisku życia człowieka są często uwzględniane w opracowaniach z zakresu bioklimatologii. Obserwuje się także ich związek z warunkami pogodowymi (Błażejczyk i Lipska 1980).

Hałas jest to dźwięk niepożądany lub szkodliwy dla zdrowia. Szkodliwość jego zależy od natężenia, częstotliwości fal akustycznych, czasu działania i charakteru zmian w czasie. Długotrwały hałas działa uciążliwie na układ nerwowy, powoduje rozdrażnienie i bezsenność, uczucie zmęczenia i bóle głowy, a nawet trwałe uszkodzenie słuchu (Kalinowski 1969).

Rozchodzenie się dźwięku zależy w dużym stopniu od warunków meteorologicznych. Na rozchodzenie się hałasu ma wpływ temperatura i wilgotność powietrza oraz wiatr, natomiast pokrywa śnieżna — tłumi hałas.

Skojarzone z wiatrem są także wrażenia akustyczne i wizualne, jak np. falowanie i szum morza, szum drzew itp., które mogą być nieprzyjemne nawet dla człowieka zupełnie zdrowego. Także wyładowania elektryczne podczas burzy są dla wielu osób dźwiękiem nieprzyjemnym i rozdrażniającym.

1.2. Zespół bodźców chemicznych

Bodźce te wyrażają się oddziaływaniem na organizm człowieka powietrza o składzie normalnym bądź też zmienionym przez zanieczyszczenia naturalne (nieorganiczne i organiczne) oraz sztuczne (antropogeniczne).

Do korzystnie, a nawet leczniczo, działających bodźców należy czyste powietrze, wzbogacone tlenem oraz cennymi domieszkami aerozoli. Ze stałych składników występujących w powietrzu wymienić należy: tlen, azot i dwutlenek węgla oraz wodór, ozon i gazy szlachetne, a z domieszek — parę wodną i zanieczyszczenia (gazowe i pyłowe).

Azot (N) jest gazem rozcieńczającym koncentrację tlenu, gdyż w czystym tlenie nie mogłyby zachodzić procesy życiowe organizmów. Zmiana koncentracji azotu w powietrzu prowadzi do różnych zaburzeń czynnościowych. Wzrost zawartości azotu już o 4%, wskutek obniżenia ciśnienia cząsteczkowego tlenu, powoduje niedotlenienie organizmu (hipoksję).

Biologiczne działanie tlenu (O_2) zależy od ciśnienia cząsteczkowego, które decyduje o przenikaniu tlenu z pęcherzyków płucnych do krwi i tkanek. Spadek ciśnienia cząsteczkowego tlenu wraz z wysokością działa początkowo pobudzająco na organizm ludzki, który musi kompensować zmniejszającą się ilość tlenu zwiększeniem przepływu krwi. Na wysokościach 1500-4000 m n.p.m. (dla mieszkańców nizin już około 1000 m n.p.m.) obciążenie organizmu staje się zbyt duże i dochodzi do zaburzeń funkcjonalnych. Zmiany O_2 są uzależnione od czynników meteorologicznych. Deficyt tlenu w powietrzu wzrasta wraz ze wzrostem ciśnienia, temperatury i wilgotności powietrza (Jankowiak, red., 1976; Skrzypski 1978; Flemming 1983).

Ozon (O_3) ma podstawowe znaczenie dla i/stnienia życia na Ziemi, gdyż zatrzymuje skrajną część promieniowania nadfioletowego (UV-C), bardzo aktywną energetycznie i o działaniu uszkodzającym wnętrza komórek organizmów żywych. Zawartość ozonu w przyziemnej warstwie powietrza zależy od pionowego mieszania się powietrza (turbulencji), od rodzaju i pochodzenia mas powietrza, intensywności promieniowania słonecznego, prędkości i kierunku wiatru, a przede wszystkim od stopnia zanieczyszczenia atmosfery. Dodatkowym źródłem powstawania O_3 są wyładowania elektryczne przy powierzchni Ziemi (Kozłowska-Szczęśna, red., 1985).

Dwutlenek węgla (CO_2) wykazuje dość duże wahania ilościowe. W przypadku, gdy jego stężenie w powietrzu przekracza 0,03%, uważany jest za zanieczyszczenie. Spełnia ważną rolę w procesach biologicznych zachodzących w organizmie człowieka, pobudzając odruch oddychania.

Układy koloidowe powstające w wyniku rozproszenia ciał stałych lub cieczy w ośrodku gazowym noszą nazwę aerozoli. Odgrywają one bardzo ważną rolę w procesie odnowy sił człowieka. Aerozole zawierające chlorek sodu i inne sole, powstające w sposób naturalny w obrębie plaż morskich, w bezpośrednim sąsiedztwie tężni (np. w Ciechocinku) czy też w komorach powyrobiskowych w kopalni soli w Wieliczce, mają szerokie zastosowanie w leczeniu chorób układu oddechowego i tarczycy. Na człowieka oddziałują także aerozole zawierające pierwiastki radioaktywne (np. radon). Działają one leczniczo, między innymi w chorobie nadciśnieniowej, miażdżycy naczyń wieńcowych, w chorobie reumatycznej. Wydaje się jednak, że ryzyko stosowania terapii radonowej nie jest jeszcze wystarczająco zbadane (Straburzyński 1980; Haława 1983; Kozłowska-Szczęśna i Grzędziński 1983).

Niekorzystne dla człowieka bodźce to zanieczyszczone powietrze. Szczególnie niebezpieczne są związki siarki i azotu, tlenek węgla, węglowodory oraz fluor. Intensywność tych bodźców określana jest ilościowo na podstawie stężeń zanieczyszczeń gazowych, sum zapylenia i zawartości alergenów (patrz rozdz. II.3.1). W ocenie jakościowej istotne są właściwości toksyczne, alergizujące i ewentualnie rakotwórcze poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń (Tyczka 1975, 1980). Działanie pośrednie zanieczyszczeń polega na: osłabieniu promieniowania słonecznego, stwarzaniu warunków do występowania mgieł i długiego ich zalegania, niszczeniu szaty roślinnej itp.

1.3. Zespół bodźców biologicznych

W powietrzu unoszą się organizmy żywe (aeroplankton), takie jak: bakterie, wirusy, pierwotniaki, grzyby, a także zarodniki, cząstki roślin i pyłki kwiatowe. Mogą one wywoływać objawy alergiczne, jak np. katar sienny, astma i inne. Lotne substancje wydzielane przez rośliny (fitoncydy), będące mieszaniną związków organicznych powstających w czasie przemiany materii roślin (terpeny, olejki aromatyczne i inne substancje), charakteryzują się silnym działaniem bakteriobójczym. Stężenie aeroplanktonu i fitoncydów w powietrzu zależy w dużym stopniu od warunków pogodowych.

Właściwości terapeutyczne szaty roślinnej są w Polsce stosunkowo mało poznane. Na podstawie nielicznych prac można podać, że bór sosnowy wydziela substancje lotne sprzyjające uspokojeniu, działające leczniczo na drogi oddechowe, a także na obniżenie ciśnienia krwi. Grądy (lasy liściaste) wpływają natomiast na pobudzenie ośrodków nerwowych, wzmacniają aktywność, usuwają zmęczenie oraz podnoszą ciśnienie krwi. Podobnie i inne typy lasów czy łąk mają specyficzne, im tylko właściwe oddziaływanie na organizm ludzki (Kostrowicki 1970; Beer i Mączak 1977; Krzymowska-Kostrowicka 1991). Spośród roślin wydzielających substancje lotne lub ciekłe o działaniu bakteriobójczym wymienić należy: jałowiec, chrzan, czosnek, cebulę i niektóre zioła.

Przedstawione wyżej bodźce organiczne wskazują, jak ważny jest dobór zieleni we właściwym kształtowaniu warunków sprzyjających regeneracji organizmu podczas leczenia klimatycznego czy też wypoczynku.

CZEŚĆ II

METODY STOSOWANE W. BADANIACH BIOKLIMATYCZNYCH

1. Elementy biometeorologiczne

Do oceny warunków bioklimatycznych stosowane są te elementy meteorologiczne, którym przypisuje się istotny wpływ na stan zdrowia i samopoczucie człowieka (w dalszej części nazwane są one elementami biometeorologicznymi). Niektóre powszechnie mierzone na stacjach i posterunkach meteorologicznych elementy, przedstawia się w postaci rozkładu ich częstości w odpowiednich przedziałach liczbowych lub też wykorzystuje się ich wartości progowe, istotne z punktu widzenia bioklimatologii. Materiał podstawowy stanowią wieloletnie, codzienne obserwacje poszczególnych elementów meteorologicznych, najczęściej z II terminu obserwacyjnego, charakteryzującego warunki pogodowe tej pory dnia, w której koncentrują się różne formy działań ości człowieka (praca, zajęcia rekreacyjne, zabiegi klimatoterapeutyczne) w umiarkowanych szerokościach geograficznych. Przypomnieć warto, że jeżeli badane zjawisko wystąpiło choćby w jednym terminie obserwacyjnym — jest to dzień z tym zjawiskiem atmosferycznym.

1.1. Kryteria radiacyjne oceny warunków bioklimatycznych

1.1.1. Promieniowanie słoneczne

Promieniowanie słoneczne jest bogatym źródłem różnego rodzaju energii, jest ono promieniowaniem elektromagnetycznym o długości fal od około 0,1 μm do około 4,0 μm . Z punktu widzenia bioklimatologii istotne znaczenie ma promieniowanie nadfioletowe. Na podstawie długości fal i działania biologicznego dzieli się ono na trzy podstawowe zakresy:

0,400-0,316 μm nadfiolet A (UV-A),

0,315-0,281 μm nadfiolet B (UV-B),

0,280-0,200 μm nadfiolet C (UV-C).

W klimatoterapii i jej podstawowej formie — helioterapii (terapia słoneczna) — istotne znaczenie ma promieniowanie nadfioletowe (UV-B), tzw. promie-

niowanie Dorno erytemalne. Granica między zakresem UV-A i zakresem UV-B, odpowiadająca długości fali 0,315 μm , jest uzasadniona nieznacznym już oddziaływaniem biologicznym tej długości fali. Granica natomiast między zakresem UV-B a zakresem UV-C (0,280 μm) jest związana z minimalną zdolnością wywoływania rumienia w skórze ludzkiej.

Określenie prognostyczne — na potrzeby helioterapii — ilości promieniowania nadfioletowego docierającego do powierzchni Ziemi w jednostkach energii jest trudne z powodu braku szczegółowych i ciągłych danych z długich okresów dla różnych miejscowości. Jego natężenie można natomiast wyznaczyć na podstawie zależności, jakie zachodzą między promieniowaniem nadfioletowym a czynnikami geograficznymi, astronomicznymi i geofizycznymi. Zależności te można odnosić z pewnym przybliżeniem do dowolnego miejsca na kuli ziemskiej (Büttner 1938; Belinskij 1968; Słomka 1973).

Działanie biologiczne promieniowania zależy w dużej mierze od masy optycznej atmosfery. W umiarkowanych szerokościach geograficznych działanie biologiczne nadfioletu UV-A występuje od 20° wysokości Słońca nad horyzontem, a UV-B od 30°. Promieniowanie nadfioletowe UV-C na ogół nie dochodzi do powierzchni Ziemi; występuje jedynie przy największych wysokościach Słońca, powyżej 60°, nad horyzontem i na dużych wysokościach nad poziomem morza.

Na 52° szerokości geograficznej Słońce wznosi się ponad 30° nad horyzontem w okresie od 1 marca do 15 października. W całym półroczu ciepłym, od kwietnia do września, jest możliwe korzystanie z kąpeli słonecznych (przy braku chmur) od godziny 8 do 16. Można wówczas uzyskać znaczną liczbę tzw. dawek rumieniowych lub leczniczych. Najlepszy okres do tych celów przypada od maja do sierpnia.

Dawka rumieniowa (erytemalna) to najmniejsza ilość energii promieniowania nadfioletowego, która u przeciętnego białego człowieka wywołuje rumień skóry. Długość dawki, czyli czas napromieniowania, zależy od natężenia promieniowania erytemalnego, które na ogół wzrasta w kierunku południa prawdziwego. Najkrótsze dawki przypadają więc między godzinami od 11 do 13. Każda kąpiel słoneczna zmniejsza wrażliwość człowieka na powtórne działanie promieniowania nadfioletowego i dlatego zwiększa się stopniowo liczbę jego dawek. W praktyce posługujemy się czwartą częścią dawki rumieniowej, nazywaną dawką leczniczą.

Jedną z metod wyznaczania czasu trwania kąpeli słonecznych jest diagram K. Büttnera (1938). Podaje on, zależnie od wysokości Słońca nad horyzontem i stopnia zachmurzenia nieba, czas trwania kąpeli słonecznej potrzebny do otrzymania dawki rumieniowej. Istnieje także metoda izochron H. Pflaiderera (cyt. Góra 1973). Na diagramie w zależności od wysokości Słońca (powyżej 30°) można odczytać czas (w minutach) potrzebny do wywołania rumienia. Metoda V.A. Belinskiego (1968) jest bardziej przydatna w praktyce helioterapeutycznej. Jest to metoda dawkowania promieniowania erytemalnego, która została zaadaptowana dla warunków geofizycznych Polski (Góra 1973; Słomka 1973). Erytemalna efektywność promieniowania słonecznego zależy głównie od wysokości Słońca, zachmurzenia i całkowitej zawartości ozonu w atmosferze, a w mniejszym stopniu także od albedo terenu i zmgłnienia atmosfery.

Na podstawie tych parametrów Belinskij opracował metodę przybliżonego wyznaczenia natężenia erytemalnego promieniowania słonecznego. Dla różnych stopni zachmurzenia wprowadził on odpowiednie współczynniki (od 1 do 0,35 dla zachmurzenia od 0 do 10°).

Z uwagi na subiektywny sposób określania pokrycia nieba chmurami próbuje się zastąpić stopień zachmurzenia względnym natężeniem promieniowania słonecznego (Słomka 1973), które jest stosunkiem zmierzonego, całkowitego promieniowania słonecznego do całkowitego promieniowania słonecznego przy niebie bezchmurnym i danym współczynnikiem zniekształcenia atmosfery.

Długość średnich dawek rumieniowych (DR) dla blondynów, brunetów i szatynów uzyskano doświadczalnie w byłym Instytucie Balneoklimatycznym w Poznaniu (Tyczka 1963, 1973; Tyczka i in. 1971) za pomocą prostego rumieniomierza. Skonstruowano diagram, który może być przydatny w praktyce leczenia promieniami słonecznymi. Według tego diagramu najkrótsze dawki rumieniowe (DR) przypadają w maju i w czerwcu w godzinach okołopołudniowych, gdy natężenie promieniowania jest największe. Wartość DR przy wysokich położeniach Słońca nad horyzontem wynosi (Tyczka i in. 1971):

- dla blondynów — 36 minut (przy gęstości strumienia promieniowania $2,55 \pm 0,13 \text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$),
- dla szatynów — 40 minut (przy gęstości strumienia $2,72 \pm 0,11 \text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$),
- dla brunetów — 43 minuty (przy gęstości strumienia $2,94 \pm 0,14 \text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$).

Określenie średniej dawki rumieniowej w minutach jest mniej dokładne niż w jednostkach energetycznych, ponieważ ilość energii promieniowania w określonym czasie może być różna, zależnie od zmian w jej natężeniu. Stosowanie DR wyrażonej czasem napromieniowania jest jednak w praktyce łatwiejsze i bardziej przystępne dla przeciętnego odbiorcy.

Znając natężenie promieniowania bezpośredniego (K_{dir}) można określić dokładnie wartości (w min) dawki rumieniowej skóry (DRS) dla danej miejscowości i różnych pór roku. Wzór do obliczenia DRS ma, po dostosowaniu do układu jednostek SI, następującą postać (Tyczka 1973):

$$DRS = \frac{DR}{0,001433 \cdot K_{dir}} \quad [1]$$

gdzie DR wyrażone jest w minutach.

Oprócz promieniowania nadfioletowego, na człowieka ma także wpływ promieniowanie podczerwone i widzialne. Promieniowanie podczerwone jest absorbowane przez tkanekę skórną, w której zamienia się w ciepło. Zagadnienie to zostanie omówione szerzej w rozdziale II.5.

1.1.2. Usłonecznienie

Usłonecznienie wyrażane jest w godzinach, oblicza się je z dokładnością do dziesiątej części godziny. Archiwalne materiały heliograficzne pozwalają na obliczenie sum dziennych, dekadowych, miesięcznych i rocznych usłonecz-

nienia 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).

Cenną pomocą w badaniach usłonecznienia są wydawane przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) *Tablice słoneczne*, w których zamieszcza się dane dotyczące promieniowania, deklinacji, równania czasu i momentów wschodów i zachodów Słońca oraz inne dane astronomiczne, astrofizyczne i geograficzne mogące służyć między innymi do obliczenia wysokości Słońca. Wielkość tę można także obliczyć, stosując program BioKlima (zał. 1).

Do opracowania usłonecznienia potrzebna jest znajomość zakrycia horyzontu na danym stanowisku heliograficznym, aby można było ocenić jego wpływ na zmniejszenie dopływu promieniowania słonecznego. Chodzi tu o zakłócenia początku i końca rejestracji, głównie na stacjach górskich i podgórskich. W odniesieniu do helioterapii nie ma to większego znaczenia, albowiem w tym przypadku uwzględnia się tylko usłonecznienie przy wyższych niż 20° , a nawet niż 30° położeniach Słońca nad horyzontem.

Interpretacja usłonecznienia może być dwojaka:

— usłonecznienie rzeczywiste, które wyraża liczbę godzin, podczas których promieniowanie bezpośrednie dociera do powierzchni Ziemi, bez zakłóceń spowodowanych przeszkodami,

— usłonecznienie względne, czyli stosunek procentowy usłonecznienia rzeczywistego do usłonecznienia maksymalnie możliwego, liczonego od wschodu do zachodu Słońca przy niebie bezchmurnym.

Pomocniczym pojęciem w interpretacji usłonecznienia, czy to rzeczywistego czy też względnego, jest usłonecznienie topograficznie możliwe. Jest to usłonecznienie rzeczywiste zmniejszone o czas, w którym na drodze promieni słonecznych przy pozornym ruchu Słońca na nieboskłonie znajdzie się przeszkoda, nie przepuszczająca promieni do heliografu (np. góry, drzewa, budynki). Usłonecznienie astronomicznie możliwe oblicza się za pomocą specjalnych tablic lub wzorów. Usłonecznienie topograficznie możliwe określa się wykreślną metodą geodezyjną i astronomiczną metodą obliczeniową.

a. Usłonecznienie rzeczywiste

W celu wyeliminowania wpływu różnego stopnia zakrycia horyzontu (na każdej stacji meteorologicznej jest inny horyzont fizyczny) oraz wpływu czynnika astronomicznego (różnice w długości dni) można wydzielić odpowiednie przedziały czasowe usłonecznienia (w zimie 9-15 godz., w lecie 6-18 godz.). W ten sposób dla wszystkich stacji otrzymuje się jednakową liczbę godzin, a sumy usłonecznienia w przedziałach czasowych zależą przede wszystkim od czynników meteorologicznych.

Stwierdzono, że istnieje zależność usłonecznienia od wysokości nad poziomem morza. W półroczu chłodnym (X-III) w godzinach od 9 do 15 istnieje korelacja dodatnia, natomiast w półroczu ciepłym (IV-IX) w godzinach od 6 do 18 korelacja ujemna (Kuczmarowski 1984). Tak więc w półroczu chłodnym

można spodziewać się lepszych warunków usłonecznienia dla helioterapii w obszarach podgórskich i górskich niż na nizinach. W półroczu ciepłym natomiast, lepsze warunki usłonecznienia panują na nizinach, a szczególnie na wybrzeżu Bałtyku w zestawieniu z górami.

b. Usłonecznienie względne

Obraz, jaki daje usłonecznienie rzeczywiste, staje się wyraźniejszy, gdy do rozważań wprowadzi się zamiast usłonecznienia rzeczywistego usłonecznienie względne. Tam, gdzie występuje duże zachmurzenie i małe usłonecznienie względne, szczególnie w cieplej połowie roku, można spodziewać się dużych zakłóceń ciągłości usłonecznienia w ciągu dnia, a co za tym idzie niesprzyjających warunków dla helioterapii. Usłonecznienie względne jest dobrym wskaźnikiem — uwarunkowanym astronomicznie, geograficznie i meteorologicznie — możliwości wykorzystania promieniowania słonecznego w ciągu dnia, miesiąca lub roku dla celów helioterapii.

W planowaniu leczniczych kąpiele słonecznych zasadniczą pomocą może być znajomość średniego usłonecznienia względnego w poszczególnych przedziałach jednogodzinnych w formie diagramów helioizoplet rocznych (Kuczmarowski 1990). Znając średnie usłonecznienie względne miesięcy półroczia ciepłego w przebiegu dziennym, można określić, jaką liczbą dawek rumieniowych skóry (DRS) dysponuje się w określonym czasie. Wartości promieniowania słonecznego w półroczu ciepłym w godzinach od 8 do 16 (wówczas gdy Słońce przekracza wysokość 30°) są dość duże, bo pozwalają na wykorzystanie ponad 50% usłonecznienia możliwego w tym przedziale czasowym. Na diagramie helioizoplet rocznych dla określonej miejscowości w każdym przedziale jednogodzinnym między 8 a 16 można zaznaczyć dawkę rumieniową skóry (Tyczka 1973). Jeżeli wartość DRS wynosi 35 minut w przedziale 60-minutowym, to np. w godzinach od 11 do 12 w czerwcu może mieścić się 1,71 dawek przy niebie bezchmurnym (usłonecznienie względne 100%). W przypadku gdy w przedziale jednogodzinnym jest średnio 50% usłonecznienia względnego, wówczas mamy 0,85 dawki rumieniowej skóry. W półroczu ciepłym dysponujemy około 1000 dawek.

J. Skrzypski (1974) podaje kryteria przydatności usłonecznienia dla helioterapii, określone na podstawie wartości usłonecznienia względnego.

| Usłonecznienie względne (%) | Możliwość stosowania helioterapii: |
|-----------------------------|------------------------------------|
| < 20,0 | — mała lub żadna |
| 20,1-40,0 | — mierna |
| 40,1-60,0 | — umiarkowana |
| > 60,0 | — dobra i bardzo dobra. |

Usłonecznienie względne może być także wykorzystane do obliczenia natężenia promieniowania całkowitego z zastosowaniem wzoru J.N. Blacka (cyt. Krawczyk 1993):

$$K_{glob} = K_0 \cdot a + b \cdot \frac{u}{u_0} \quad [2]$$

Współczynniki a i b muszą być każdorazowo wyznaczone empirycznie dla danego przedziału czasowego (miesiąc, doba, przedział godzinny) i dla każdego regionu klimatycznego.

1.1.3. Zachmurzenie

Usłonecznienie kształtuje się przede wszystkim pod wpływem zachmurzenia. Od stopnia pokrycia nieba przez chmury zależy dopływ energii słonecznej w ciągu dnia i wypromieniowanie ciepła nocą. Wielkość zachmurzenia decyduje o typie pogody. Zależy ono od rodzaju napływających mas powietrza, od czynników lokalnych oraz od wzniesienia nad poziom morza.

Istnieje wyraźna korelacja zachmurzenia z wysokością nad poziomem morza: w ciepłej połowie roku — dodatnia, a w zimnej — ujemna. Rodzaj zachmurzenia zależy od pory roku; w ciepłej połowie roku przeważa zachmurzenie typu konwekcyjnego. Chmury kłębiaste, które tworzą się w wyniku prądów wstępujących, zwykle w parę godzin po wschodzie Słońca, rozbudowują się maksymalnie w godzinach popołudniowych. Z tego właśnie powodu bardziej usłonecznione bywają godziny przedpołudniowe niż popołudniowe. W chłodnej połowie roku przeważają chmury warstwowe piętra niskiego.

Najogólniejszą charakterystykę zachmurzenia dają wartości pokrycia nieba przez chmury, określone w skali 11 stopniowej (0-10), w oktantach (0-8) lub w procentach (0-100%).

Chmury ograniczają dopływ promieniowania słonecznego i tym samym zmniejszają dopływ promieniowania nadfioletowego. Osłabienie promieniowania UV w zależności od stopnia zachmurzenia według K. Büttnera (1938) wynosi: od 6% przy zachmurzeniu równym 10%, 28% przy zachmurzeniu 50% i aż 55% przy zachmurzeniu całkowitym. Według V.A. Belinskiego (1968) natomiast brak jest osłabienia promieniowania UV przy zachmurzeniu 10%, przy zachmurzeniu 50% wynosi ono 20%, a przy zachmurzeniu pełnym 65%.

Wielkość i rodzaj zachmurzenia wpływa na stan psychiczny człowieka; dodatni jest wpływ jasnej, słonecznej pogody, a ujemny — pochmurnej. Dłuższe okresy pogody z zachmurzeniem całkowitym są uciążliwe biologicznie. Osoby, których organizm w niewystarczającym stopniu korzysta z dobroczynnego promieniowania słonecznego, mają objawy tzw. głodu słonecznego. Objawem głodu słonecznego są między innymi: bladeść skóry, zaburzenia snu, nadmierna pobudliwość lub zmęczenie i apatia, obniżenie sprawności fizycznej i umysłowej, zmniejszenie odporności organizmu na działanie drobnoustrojów chorobotwórczych (Daniłowa 1988).

Badając związki między usłonecznieniem i zachmurzeniem oraz porównując ich wartości, występujące na danej stacji, z wartościami średnimi krajowymi, można określić typy usłonecznienia i zachmurzenia na danym obszarze, a także wydzielić regiony o różnych warunkach usłonecznienia w kolejnych porach roku (Kuczmarski 1990). Regiony o dużym usłonecznieniu i małym zachmurzeniu mają najlepsze warunki na potrzeby helioterapii.

W bioklimatologii człowieka stosuje się następujące kryteria do charakterystyki warunków helioterapii:

- niebo bezchmurne — warunki bardzo dobre,
- zachmurzenie do połowy pokrycia nieba — warunki dobre,
- zachmurzenie powyżej połowy nieba — warunki przeciętne,
- całkowite pokrycie nieba chmurami — warunki złe.

Do celów praktycznych oblicza się również liczbę dni bezchmurnych, liczbę dni o zachmurzeniu równym i mniejszym niż 50% oraz liczbę dni o zachmurzeniu całkowitym (100%), nieprzydatnych dla helioterapii.

Pomiędzy zachmurzeniem a usłonecznieniem względnym istnieje dość wyraźny związek statystyczny. Dla wystarczająco długich okresów suma usłonecznienia względnego i zachmurzenia wynosi według A. Angströma około 100% (np. w miesiącu), z tym że w cieplej połowie roku suma ta jest nieco wyższa, a w chłodnej nieco niższa od 100% (oprócz miejscowości górskich). Hipotezę tę w warunkach Polski sprawdzili: K. Chomicz i L. Kuczmarska oraz W. Gorczyński, M. Kuczmarski, E. Stenz i W. Zinkiewicz. Jeżeli brak jest danych o usłonecznieniu, można w tym celu wykorzystać dane o zachmurzeniu i z nich wnioskować o usłonecznieniu (cyt. Miara i in. 1987).

1.2. Kryteria termiczne oceny warunków bioklimatycznych

Niekorzystne warunki biotermiczne kształtują się w wysokiej lub niskiej temperaturze powietrza i przy jej dużej zmienności. Dlatego do oceny warunków bioklimatycznych na podstawie kryteriów termicznych przyjmuje się przeważnie: częstość temperatury maksymalnej i minimalnej powietrza przekraczającej określone progi liczbowe, średnią dobową temperaturę powietrza, jej międzydobową zmienność, amplitudę dobową oraz zmienność międzyterminową.

O stopniu uciążliwości warunków termicznych świadczy częstość dni charakterystycznych, tzn:

- z temperaturą maksymalną 25,0°C — dni gorące
- z temperaturą maksymalną 30,0°C — dni upalne
- z temperaturą maksymalną -10,0°C — dni bardzo mroźne
- z temperaturą minimalną -10,0°C — dni mroźne.

Również średnia dobowa temperatura (\bar{t}) powietrza może stanowić kryterium oceny warunków termicznych. W tym przypadku można posłużyć się następującą skalą odczucia termicznego (Boksa i Boguckij 1966):

| \bar{t} (°C) | Odczucie cieplne: |
|----------------|--------------------------|
| <10,0 | — zimno |
| 10,1-15,0 | — chłodno (orzeźwiająco) |
| 15,1-20,0 | — ciepło |
| 20,1-25,0 | — bardzo ciepło |
| 25,1-30,0 | — gorąco. |

Wskaźnikiem bodźcowości warunków termicznych jest także częstość zmian średniej dobowej temperatury powietrza z dnia na dzień. O samopo-

czuciu człowieka decyduje przy tym wielkość zmian średniej temperatury dobowej ($\Delta\bar{t}$). Według E.M. Bajbakovej i innych (1963) zależność między $\Delta\bar{t}$ a natężeniem bodźców termicznych jest następująca:

| $\Delta\bar{t}$ (deg) | Bodźce: |
|-----------------------|-------------------------------------|
| < 2,0 | — obojętne |
| 2,1-4,0 | — odczuwalne |
| 4,1-6,0 | — znaczne |
| > 6,1 | — ostre, działające rozdrażniająco. |

(deg — jednostka różnicy temperatury równoważna 1°C)

Także częstość zmian temperatury powietrza między poszczególnymi terminami obserwacyjnymi (tzn. I-II, II-III) w określonych przedziałach liczbowych jest wskaźnikiem stopnia bodźcowości termicznej klimatu:

| Δt (deg) | Bodźce: |
|------------------|--------------------|
| 0,0-2,0 | — nieodczuwalne |
| 2,1-6,0 | — słabo odczuwalne |
| 6,1-10,0 | — umiarkowane |
| 10,1-15,0 | — silne |
| > 15,0 | — bardzo silne. |

Stopień bodźcowości warunków termicznych ocenia się również na podstawie wielkości dobowej amplitudy temperatury, tzn. różnicy między temperaturą maksymalną i minimalną ($t_{max}-t_{min}$):

| $t_{max}-t_{min}$ (°C) | Bodźce: |
|------------------------|--------------------|
| < 4,0 | — obojętne |
| 4,0-7,9 | — słabo odczuwalne |
| 8,0-11,9 | — odczuwalne |
| > 12,0 | — ostre. |

1.3. Kryteria higryczne oceny warunków bioklimatycznych

Zarówno zbyt niska, jak i zbyt wysoka wilgotność powietrza powoduje zakłócenia w procesie oddawania ciepła z organizmu człowieka. Traktując wilgotność względną powietrza (f) jako najprostsze kryterium higryczne oceny warunków bioklimatycznych, można przyjąć (cyt. Boksa i Boguckij 1980):

| f (%) | Odczucie wilgotności: |
|---------|--------------------------------|
| < 55 | — powietrze suche |
| 56-70 | — powietrze umiarkowanie suche |
| 71-85 | — powietrze wilgotne |
| > 86 | — powietrze bardzo wilgotne. |

Odczucie wilgotności powietrza zależy nie tylko od zawartości pary wodnej, ale również od temperatury. Według K. Scharlau'a (cyt. Tyczka 1959) w temperaturze poniżej 12°C wzrost wilgotności powietrza potęguje odczucie chłodu, a powyżej tej granicy — wzmacnia odczucie ciepła.

Do celów bioklimatycznych stosuje się również dwa inne wskaźniki oparte na wartościach ciśnienia pary wodnej. Są to: *wilgotność fizjologiczna* (F_f),

która wyraża stosunek ciśnienia pary wodnej w danej temperaturze (e) do ciśnienia pary wodnej nasyconej w temperaturze ciała człowieka ($E_{36,5}$) wynoszącego 60,9 hPa:

$$r_j = \frac{e}{E_{36,5}} \cdot 100 \quad [3]$$

oraz *niedosyt fizjologiczny* (D), rozumiany jako różnica między ciśnieniem pary wodnej nasyconej w temperaturze 36,5°C i aktualnym ciśnieniem pary wodnej:

$$D = E_{36,5} - e \quad [4]$$

Wartości D są wskaźnikiem wielkości parowania z płuc i górnych dróg oddechowych. W ujemnej temperaturze powietrza i niskiej jego wilgotności taka forma oddawania ciepła stanowi 10-15% strat ciepła z organizmu człowieka (Krawczyk 1993). Wartościom D przypisuje się następujące stopnie odczucia wilgotności (cyt. Tyczka 1959):

| D (hPa) | Odczucie wilgotności: |
|-----------|-----------------------|
| < 45 | — parno |
| 45-53 | — przyjemnie, komfort |
| > 53 | — sucho. |

Ciśnienie pary wodnej jest również wskaźnikiem parności, zjawiska uciążliwego dla człowieka z uwagi na trudności z odprowadzaniem ciepła z organizmu. Za dzień parny uznaje się taki, w którym choćby w jednym terminie obserwacyjnym $e > 18,8$ hPa. Kryterium K. Scharlau'a dotyczy człowieka stojącego lub wykonującego lekką pracę (cyt. Jankowiak, red., 1976).

Jako wskaźnik parności może służyć również *temperatura ekwiwalentna* (Te). Przyjmuje się, że granicę parności wyznacza $Te > 56^\circ$ (Flach 1981).

Uzupełnieniem charakterystyki warunków higrycznych jest częstość występowania opadów, szczególnie całodziennych. Informacje te mogą być wyrażone w postaci liczby dni, prawdopodobieństwa występowania opadów w danym okresie lub czasu ich trwania.

Z bioklimatycznego punktu widzenia negatywnie oceniane są mgły. Sprzyjają one utrzymaniu się w powietrzu zanieczyszczeń pyłowych, gazowych i ciekłych oraz ograniczają dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego. Oprócz liczby dni z mgłą istotną dla bioklimatologii informacją jest długotrwałość jej utrzymania się, podawana w godzinach lub w liczbie terminów obserwacyjnych z tym zjawiskiem atmosferycznym.

1.4. Kryteria dynamiczne oceny warunków bioklimatycznych

Zarówno zmiany ciśnienia atmosferycznego, jak i ruch powietrza (wiatr) wyraźnie wpływają na samopoczucie człowieka. Stopień odczucia wahań ciś-

nienia zależy od ich wielkości. Zmiany średniej dobowej wartości ciśnienia (\bar{p}) są odczuwane następująco (cyt. Boksa i Boguckij 1980):

$\Delta\bar{p}$ (hPa) Odczucie zmian ciśnienia:

- 1-4 — słabó
5-8 — umiarkowanie
> 8 — silnie

Trzeba jeszcze dodać, że w miarę zmiany wysokości nad poziomem morza następuje obniżenie (lub podwyższenie) ciśnienia atmosferycznego o 1,333 hPa na każde 11 m wzniesienia.

Ruch powietrza jest ważnym czynnikiem kształtującym subiektywne odczucia komfortu lub dyskomfortu termicznego, przy czym jego biologiczne działanie zależy od temperatury powietrza. Silny wiatr przy niskiej temperaturze, jak i słaby ruch powietrza przy wysokiej temperaturze (zwłaszcza podczas dużej wilgotności powietrza) powoduje zakłócenia w bilansie cieplnym człowieka.

Na potrzeby bioklimatologii człowieka przyjmuje się klasyfikację prędkości wiatru K. Knocha (cyt. Jankowiak i Parczewski, red., 1978). Według tej klasyfikacji wiatr w następujących przedziałach prędkości jest odczuwany jako:

v ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) Odczucie prędkości wiatru:

- 0-1 — cisza
1-4 — słaby
4-8 — umiarkowany
> 8 — silny.

A zatem liczba dni z wiatrem o prędkości $1 < \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz $> 8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ lub liczba przypadków z tymi prędkościami w poszczególnych terminach obserwacyjnych stanowi ważne kryterium oceny terenu pod względem bioklimatycznym. Klasyfikacja prędkości wiatru W. Parczewskiego (1961) oparta jest na założeniu, że skokowy wzrost turbulencyjności powietrza następuje wraz z przekroczeniem prędkości $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz $9-10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (tab. 1). Określenie

Tabela 1. Klasyfikacja przedziałów prędkości wiatru stosowana do opracowań klimatycznych i bioklimatycznych (Parczewski 1961)

| Przedziały prędkości | | Podprzedziały prędkości | Określenia słowne przedziałów prędkości wiatru | Ogólna charakterystyka turbulencji |
|----------------------|------------------------------|-------------------------|--|------------------------------------|
| kolejność | $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ | | | |
| I | 0 | 0 | cisza | brak |
| II | 0-4 | 0-2 | bardzo słaby | słaba |
| | | 2-4 | słaby | |
| III | 4-10 | 4-7 | umiarkowany | umiarkowana |
| | | 7-10 | dość silny | |
| IV | 10-20 | 10-15 | silny | silna |
| | | 15-20 | bardzo silny | |
| V | > 20 | > 20 | wichura | bardzo silna |

częstości tych prędkości ma również znaczenie praktyczne, ponieważ decydują one o występowaniu takich zjawisk atmosferycznych, jak: mgła, rosa, szron, a także o zmianie wartości dobowej amplitudy temperatury powietrza. Jak podaje W. Parczewski (1961), mgły radiacyjne nie tworzą się, gdy prędkość wiatru przekracza $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a mgły adwekcyjne — $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Podane wyżej klasyfikacje prędkości wiatru dotyczą wysokości 10-20 m nad gruntem (na tej bowiem wysokości znajdują się wiatromierze na stacjach meteorologicznych). Na wysokości 2 m nad gruntem prędkość wiatru jest mniejsza (np. prędkości wiatru $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, zmierzonej wiatromierzem, odpowiada $5\text{-}6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na wysokości 2 m). Przy redukcji prędkości wiatru można skorzystać z następujących wzorów (cyt. Liopo i Cicenکو 1971):

$$v_z = v_w \cdot \left(\frac{h_z}{h_w} \right)^{0,2} \quad [5]$$

$$v_z = v_w \cdot \frac{\lg \frac{h_z}{z_0}}{\lg \frac{h_w}{z_0}} \quad [6]$$

Występujący we wzorze [6] współczynnik szorstkości z_0 można przyjmować dla standardowej powierzchni ogródka meteorologicznego pokrytej trawą. Dla okresu bez pokrywy śnieżnej $z_0 = 2 \text{ cm}$, dla okresu z pokrywą śnieżną z_0 waha się od 0,5 do 2 cm, w zależności od rodzaju pokrywy śnieżnej.

2. Wskaźniki biometeorologiczne

2.1. Wskaźniki wyznaczone metodami obliczeniowymi

Ocena warunków życia człowieka za pomocą różnych elementów meteorologicznych pozwala na określenie stopnia ich bodźcowości i wpływu na stan termiczny oraz samopoczucie człowieka.

Przedmiotem oceny są przede wszystkim odczucia cieplne człowieka, kształtujące się pod wpływem różnych warunków meteorologicznych. W tym celu stosuje się tzw. kompleksowe wskaźniki biometeorologiczne (przeważnie termiczne), które ujmują w postać wzorów empirycznych związek między wartościami kilku elementów meteorologicznych i subiektywnymi odczuciami ciepłymi ludzi poddawanych eksperymentom w komorach klimatycznych lub przebywających na otwartym powietrzu.

Powstało w ten sposób wiele wskaźników, o których informacje podają: M. Jokl (1965), S. Klonowicz i S. Kozłowski (1970), B. Kiełczewski i J. Bogucki

(1972), H.E. Landsberg (1972), J. Jankowiak, red., (1976), D.H.K. Lee (1980), E. Flach (1981), T. Kozłowska-Szczęsna, red., (1985), R. Taesler (1987) i K.C. Parsons (1993).

O wyborze odpowiedniego wskaźnika biometeorologicznego decydować powinien cel opracowania (np. ocena odczuć cieplnych człowieka w ruchu, w spoczynku, w cieniu, w słońcu) oraz dane meteorologiczne, którymi można dysponować. Do najczęściej stosowanych kompleksowych wskaźników biometeorologicznych przydatnych do oceny bioklimatu Polski należą temperatury odczuwalne.

2.1.1. Temperatura ekwiwalentna

Do najstarszych wskaźników biometeorologicznych należy *temperatura ekwiwalentna* (T_e). Definiowana jest ona jako temperatura, którą przyjąłoby powietrze (przy stałym ciśnieniu), gdyby cała para wodna w nim zawarta uległa kondensacji, a wydzielone w ten sposób ciepło parowania zostało całkowicie zużytkowane na ogrzanie powietrza suchego (Cena i Gregorczyk 1966a). Wskaźnik T_e można obliczyć z uproszczonego wzoru K. Prötta (dla ciśnienia 755 mm Hg):

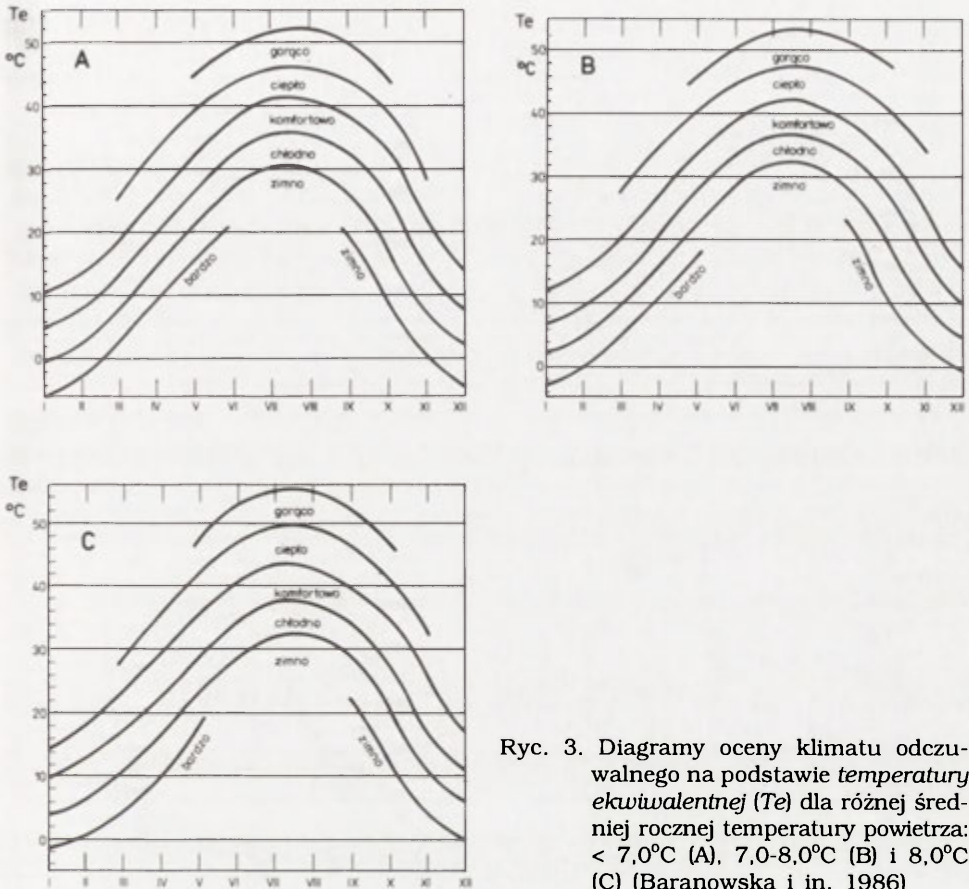
$$T_e = t + 1,5 \cdot e \quad [7]$$

Na podstawie badań odczuwalności cieplnej ludzi W. Leitsner skonstruował następującą skalę wartości *temperatury ekwiwalentnej* (cyt. Cena i Gregorczyk 1966a):

| T_e (°C) | Odczucie ciepłe: |
|------------|------------------|
| < 18 | — zimno |
| 18-24 | — chłodno |
| 24-32 | — lekko chłodno |
| 32-44 | — komfortowo |
| 44-56 | — lekko parno |
| > 56 | — parno. |

Wartości T_e można przedstawić w postaci rozkładu częstości w przedziałach skali odczucia termicznego opracowanej przez M. Baranowską i innych (1986) na podstawie badań przeprowadzonych w Polsce (ryc. 3). Diagramy do oceny klimatu odczuwalnego dotyczą miejscowości o średniej rocznej temperaturze powietrza: < 7°C (A), 7-8°C (B), >8°C (C).

Rola *temperatury ekwiwalentnej* w ocenie klimatu odczuwalnego jest ograniczona z uwagi na fakt, że nie uwzględnia ona tak ważnego czynnika w kształtowaniu odczuwalności cieplnej jak ruch powietrza. Ponadto, z uwagi na określony zakres ciśnienia atmosferycznego, wskaźnik ten nie nadaje się do oceny warunków odczuwalnych panujących na obszarach górskich. Pomimo to, T_e używana jest w opracowaniach bioklimatycznych, przeważnie jako wskaźnik parności.



Ryc. 3. Diagramy oceny klimatu odczuwalnego na podstawie temperatury ekwiwalentnej (T_e) dla różnej średniej rocznej temperatury powietrza: < 7,0°C (A), 7,0-8,0°C (B) i 8,0°C (C) (Baranowska i in. 1986)

2.1.2. Temperatura efektywna

W opracowaniach bioklimatycznych i badaniach higienicznych dość często stosowana jest *temperatura efektywna* (TE). Do polskich badań wprowadzili ten wskaźnik W. Gądzikiewicz i B. Nowakowski (cyt. Cena i Gregorczyk 1966b). *Temperatura efektywna* odzwierciedla łączny wpływ temperatury, wilgotności powietrza i prędkości wiatru na kształtowanie się odczuwalności cieplnej człowieka, zarówno ubranego, jak i rozebranego do pasa, przebywającego w cieniu (wskaźnik ten nie uwzględnia bowiem promieniowania słonecznego).

Wzory do obliczania TE opracowali w 1924 r. F.C. Houghten i C.P. Yaglou, a później A. Missenard (cyt. Flach 1981):

$$TE = t - 0,4 \cdot (t - 10,0) \cdot (1 - 0,01 \cdot v) \quad [8]$$

gdzie $v < 0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, lub

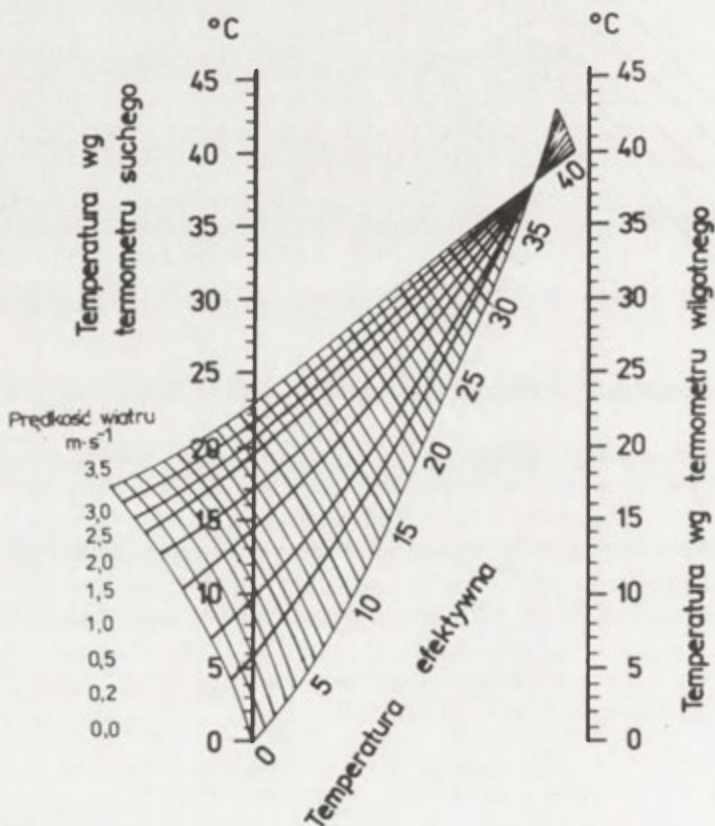
$$TE = 37,0 - \frac{37,0 - t}{0,68 - 0,0014 \cdot f + \frac{1,0}{1,76 + 1,40 \cdot v^{0,75}}} - 0,29 \cdot t \cdot (1 - 0,01 \cdot f) \quad [9]$$

gdy prędkość wiatru $v > 0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Przyjęcie prędkości wiatru $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ jako wartości granicznej wynika z założenia Missenarda, że taki ruch powietrza jest odczuwany przez człowieka jako cisza.

Trzeba dodać, że niektórzy autorzy (Bajbakova i in. 1963; Nevraev i Čubukov 1964; Boksa i Boguckij 1980) *temperaturą efektywną* nazywają wielkość wyliczoną na podstawie wzoru [8]. Natomiast *TE* uwzględniająca ruch powietrza (wzór [9]) określana jest jako *temperatura efektywno-ekwiwalentna (EET)*, a w niektórych pracach polskich (Cena i Gregorczyk 1966b; Jankowiak, red., 1976) jako *normalna temperatura efektywna (NTE)*.

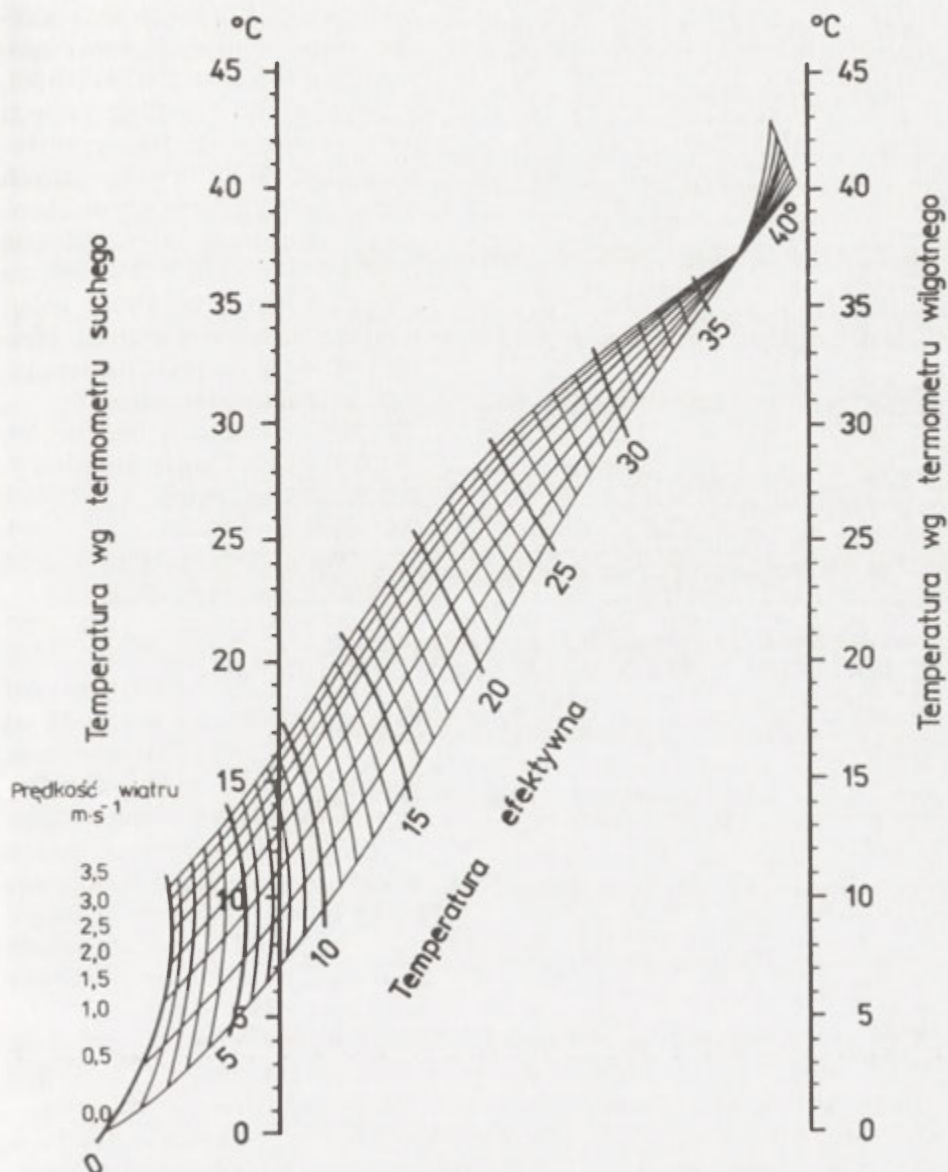
Do celów praktycznych C.P. Yaglou opracował dwa nomogramy do prostego wyznaczania *TE* (cyt.: Klonowicz i Kozłowski 1970; Flach 1981). Jeden z nich (ryc. 4) dotyczy człowieka rozebranego do połowy i pozostającego w spoczynku



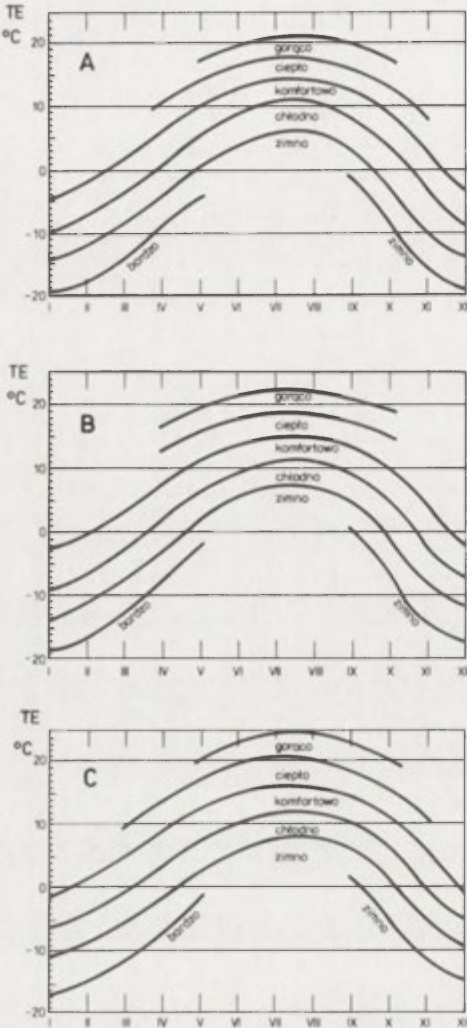
Ryc. 4. Skala podstawowa temperatury efektywnej (*TE*) dla człowieka stojącego, rozebranego (wg Yaglou, cyt. Flach 1981)

(skala podstawowa), drugi (ryc. 5) — człowieka wykonującego lekką pracę, np. spacer, i ubranego w odzież o termoizolacyjności 1 clo, czyli w tzw. zwykłą odzież letnią (skala normalna).

Komfort termiczny wyznaczają następujące wartości TE : 17,3-21,7°C (dla człowieka obnażonego) oraz 15,7-20,6°C (dla człowieka ubranego). Osiągnięciu



Ryc. 5. Skala normalna temperatury efektywnej (TE) dla człowieka wykonującego lekką pracę, ubranego w zwykłą odzież letnią (wg Yaglou, cyt. Flach 1981)



Ryc. 6. Diagramy oceny klimatu odczuwalnego na podstawie temperatury efektywnej (TE) dla różnej, średniej rocznej temperatury powietrza: <math>< 7,0^{\circ}\text{C}</math> (A), $7,0-8,0^{\circ}\text{C}$ (B) i $> 8,0^{\circ}\text{C}$ (C) (Baranowska i in. 1986)

komfortu termicznego sprzyjają takie warunki środowiska zewnętrznego, w których zachowana jest równowaga ciepła ustroju, a mechanizmy termoregulacji znajdują się w stanie fizjologicznego spokoju. Proste diagramy do wyznaczenia temperatury efektywnej sporządziła również G. Seifert (1958).

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

| TE ($^{\circ}\text{C}$) | Odczucie cieplne: |
|-----------------------------|-------------------|
| <math>< 1,0</math> | — 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. |

Dwie klasy odczuwalności cieplnej, obejmujące zakres TE od 17,0 do 22,9 $^{\circ}\text{C}$, charakteryzują komfortowe lub lekko ochładzające warunki termiczne, najkorzystniejsze dla człowieka ubranego w odzież normalną i wykonującego lekką pracę (np. spacerującego). $TE > 24,0^{\circ}\text{C}$ wskazuje na występowanie zjawiska parności (Hammer i in. 1986).

Częstość występowania komfortowej temperatury efektywnej (TE_{komf}) może być podstawą klasyfikacji bioklimatycznych (Boksa i Boguckij 1980). Według tej klasyfikacji właściwości bioklimatu danej miejscowości można uznać za:

- minimalnie komfortowe, gdy TE_{komf} występuje 30% dni w miesiącu,
- dostatecznie komfortowe, gdy TE_{komf} występuje 30-50% dni w miesiącu,
- optymalnie komfortowe, gdy TE_{komf} występuje 50-70% dni w miesiącu,
- maksymalnie komfortowe, gdy TE_{komf} występuje > 70% dni w miesiącu.

W badaniach polskich wykazano sezonową i regionalną zmienność wrażliwości termicznej człowieka, w wyniku przystosowania do różnych warunków klimatycznych (Baranowska i in. 1986). Na tej podstawie opracowano skalę odczucia termicznego według TE w przebiegu rocznym dla regionów Polski, różniących się pod względem termicznym (ryc. 6). Skala ta dotyczy człowieka ubranego stosownie do pory roku, w czasie ruchu lub wykonywania czynności nie wymagających dużego wysiłku fizycznego. Trzeba dodać, że zaletą tej skali jest możliwość oceny odczuć ciepłych przy ujemnych wartościach TE .

Przedstawione powyżej kryteria i skale odczucia termicznego dotyczą człowieka zdrowego. Niektórzy badacze, jak np. G.V. Bokša i G.D. Latysev (1966), V.A. Titarenko i inni (1972), B. Mączyński (1978) oraz G.V. Bokša i B.V. Boguckij (1980) stwierdzają, że u ludzi chorych obserwuje się przesunięcie odczucia komfortu w kierunku wyższych wartości TE .

2.1.3. Temperatura radiacyjno-efektywna

Uzupełnienie *temperatury efektywnej* o tak ważny czynnik bioklimatyczny jak promieniowanie słoneczne, pozwoliło na jej szersze zastosowanie w praktyce. G.W. Szelejchowski (cyt. Kozłowska-Szczęsna, red., 1985) opracował nomogram (ryc. 7), za pomocą którego można wyznaczyć *temperaturę radiacyjno-efektywną* (TRE). Wskaźnik ten pozwala na określenie odczuć ciepłych człowieka przebywającego w terenie otwartym.

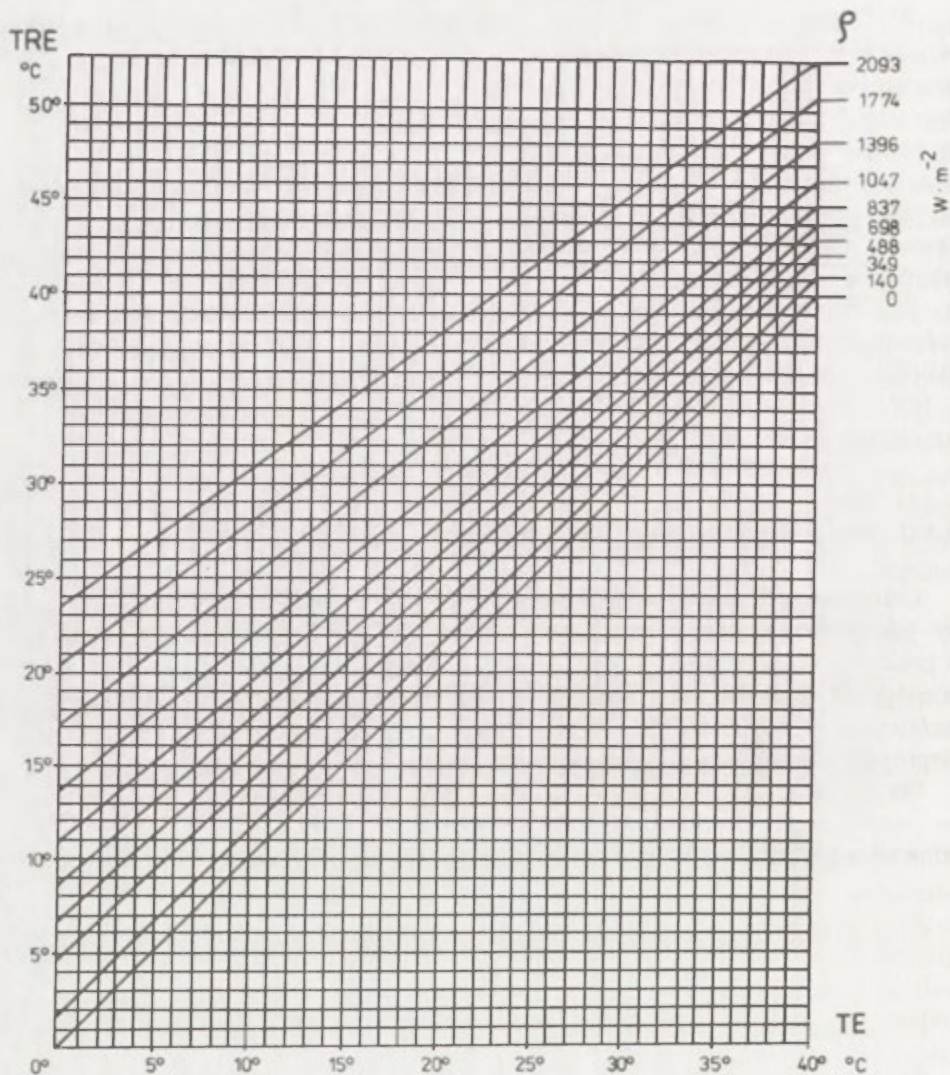
Do wyznaczenia TRE służy *temperatura efektywna* (TE) oraz natężenie bezpośredniego promieniowania słonecznego, pochłoniętego przez ciało człowieka (ρ). Wartość ρ ($W \cdot m^{-2}$) wyznacza się według wzoru:

$$\rho = (1 - 0,01 \cdot \alpha) \cdot K_{glob} \quad [10]$$

Średnie albedo niepigmentowanej skóry człowieka i odzieży wynosi w tym wzorze 28%. W celu dokładniejszego (niż z nomogramu) wyznaczenia TRE można korzystać z wzoru opracowanego przez K. Błażejczyka (cyt. Kozłowska-Szczęsna, red., 1985) na podstawie nomogramu G.W. Szelejchowskiego:

$$TRE = TE + \rho \cdot [(0,0155 - 0,00025 \cdot TE) - (0,0043 - 0,00011 \cdot TE)] \quad [11]$$

Temperaturę radiacyjno-efektywną można przedstawić w postaci rozkładu częstości w przytoczonej wyżej skali odczucia termicznego N.Z. Michajłowa (rozd. 2.1.2) lub M. Baranowskiej (ryc. 6).



Ryc. 7. Nomogram Szelejchowskiego dla określenia temperatury radiacyjno-efektywnej (TRE) (cyt. Kozłowska-Szczęśna, red., 1985)

2.1.4. Entalpia powietrza

Początkowo entalpia stosowana była do badań mikroklimatu pomieszczeń zamkniętych. Ostatnio znalazła ona zastosowanie w ocenie zewnętrznych warunków bioklimatycznych (Gregorczyk 1970; Leśko 1970, 1975).

Entalpia powietrza (i) jest to całkowita zawartość ciepła w jednostce wagowej powietrza. Wyraża się ją w $\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1}$ lub w $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (wówczas należy użyć

mnóżnika 4,187). Wzór na obliczanie *entalpii powietrza* (przy stałym ciśnieniu) ma następującą postać (Bradtke i Liese 1958):

$$i = 0,24 \cdot t + \frac{0,622}{755 - e} \cdot (0,46 \cdot t + 595) \cdot e \quad [12]$$

We wzorze tym e jest wyrażone w mm Hg.

Wtedy gdy i wyznacza się w $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, można skorzystać ze wzoru:

$$i = 1,004 \cdot (t_w + \frac{1555}{p} E_t) \quad [13]$$

Entalpię powietrza można obliczyć również ze wzoru:

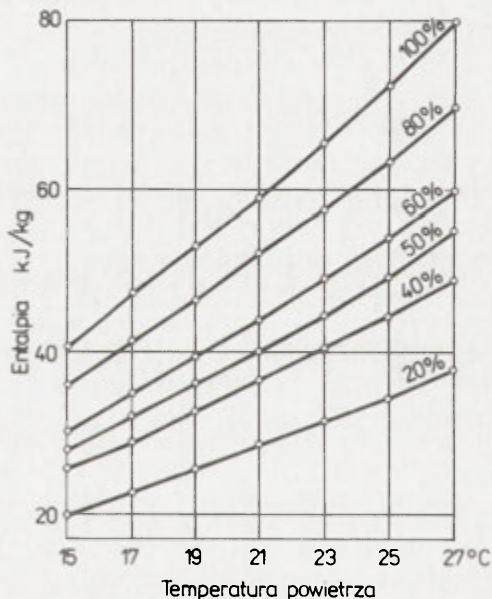
$$i = 0,24 \cdot T_e \quad [14]$$

W uproszczony sposób można wyznaczyć entalpię za pomocą nomogramu opracowanego przez F. Bradtke i W. Liese (ryc. 8).

Do oceny warunków bioklimatycznych, z wykorzystaniem *entalpii powietrza* stosuje się skalę odczucia termicznego D. Brazola (cyt. Leśko 1970), według której wartość i oznacza następujące odczucia ciepłe:

| | |
|--|----------------------|
| i ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) | Odczucie ciepłe: |
| < 10,5 | — mroźnie |
| 10,5-14,6 | — zimno |
| 14,7-25,1 | — umiarkowanie zimno |
| 25,2-31,4 | — chłodno |
| 31,5-35,6 | — przyjemnie chłodno |
| 35,7-41,9 | — komfortowo |
| 42,0-46,0 | — przyjemnie ciepło |
| 46,1-50,2 | — bardzo ciepło |
| 50,3-80,0 | — upalnie |
| 80,1-108,9 | — upalnie — parno |
| 109,0-130,0 | — nieznosny upał |
| > 130,0 | — udar cieplny. |

Optymalne warunki termiczne określił D. Brazol *entalpią powietrza* $38,5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, a jako dolną granicę parności przyjął $50,3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.



Ryc. 8. Zależność pomiędzy temperaturą, wilgotnością względną i *entalpią powietrza* (i) (Bradtke i Liese 1958)

2.1.5. Wskaźniki oceny warunków bioklimatycznych okresu zimowego

a. Wskaźnik ostrości klimatu (surowości pogody)

W okresie zimowym, gdy wartości kompleksowych wskaźników biomeeteorologicznych przyjmują wartości ujemne i nie są przydatne do oceny odczuć cieplnych człowieka — można stosować tzw. wskaźniki ostrości klimatu.

Dość często używany w praktyce jest *wskaźnik ostrości klimatu* G. Bodmana (S_B), zwany również wskaźnikiem surowości pogody. Został on wyznaczony w 1902 r. podczas badań tego autora w Antarktyce. Używając cylindra o pojemności 3 litrów napełnionego wodą, badał on czas jej ochładzania od 30°C do 20°C (Gregorczyk 1978). Wskaźnik S_B jest prostą funkcją temperatury powietrza i prędkości wiatru:

$$S_B = (1 - 0,04 \cdot t) \cdot (1 + 0,272 \cdot v) \quad [15]$$

Gdy $t = 0$ i $v = 0$ wskaźnik ten przybiera wartość 1.

Wartości S_B oznaczają następujące stopnie ostrości klimatu okresu zimowego:

| S_B | Ostrość klimatu: |
|---------|------------------------------|
| 1,0-2,0 | — warunki mało ostre |
| 2,1-3,0 | — warunki umiarkowanie ostre |
| 3,1-4,0 | — warunki ostre |
| 4,1-5,0 | — warunki bardzo ostre |
| > 5,1 | — warunki niezwykle ostre. |

Stosowanie wskaźnika S_B do celów bioklimatycznych spotyka się z krytyką z uwagi na fakt, że nie jest on jeszcze dokładnie sprawdzony w badaniach klimatofizjologicznych. Ponadto, przy tych samych wartościach S_B i v , przedział wartości temperatury jest dość szeroki (10-15°C), co nie jest obojętne dla odczuwalności cieplnej człowieka.

Formuła G. Bodmana została rozwinięta przez I.M. Osokina (1968) przez wprowadzenie do wzoru współczynników: wilgotności powietrza (F), dobowej amplitudy temperatury (A_t) oraz wysokości bezwzględnej miejscowości (H_k). Tak więc wskaźnik ostrości klimatu I.M. Osokina (S_o) liczy się następująco:

$$S_o = (1 - 0,06 \cdot t) \cdot (1 + 0,20 \cdot v) \cdot (1 + 0,0006 \cdot H_k) \cdot F \cdot A_t \quad [16]$$

Osokin uważa, że do wysokości 400 m n.p.m. nie występują wyraźne zmiany w funkcjonowaniu serca i dróg oddechowych człowieka spowodowane zmianą wysokości. Dlatego też dla miejscowości leżących poniżej 400 m n.p.m. wartość H_k równa jest 0. Przyjmuje również, że przy wilgotności względnej powietrza do 60% współczynnik $F = 0,90$, od 61% do 70% $F = 0,95$, od 71% do 80% $F = 1,00$, od 81% do 90% $F = 1,05$, powyżej 90% $F = 1,10$.

W zależności od wartości dobowej amplitudy temperatury powietrza współczynnik A_t wynosi:

| $t_{max} - t_{min}$ (°C) | A_t : |
|--------------------------|---------|
| 4,0°C | — 0,85 |
| 4,1-6,0 | — 0,90 |
| 6,1-8,0 | — 0,95 |
| 8,1-10,0 | — 1,00 |

| | |
|-----------|---------|
| 10,1-12,0 | — 1,05 |
| 12,1-14,0 | — 1,10 |
| 14,1-16,0 | — 1,15 |
| 16,1-18,0 | — 1,20 |
| > 18,1 | — 1,25. |

W zależności od wartości wskaźnika S_0 wyznaczonego dla okresu zimowego (XI-III) Osokin opracował następującą skalę ostrości zim:

| S_0 | Ostrość zim: |
|---------|-----------------------|
| < 1,0 | — łagodne |
| 1,0-2,0 | — mało ostre |
| 2,1-3,0 | — umiarkowanie ostre |
| 3,1-4,0 | — ostre |
| 4,1-5,0 | — bardzo ostre |
| 5,1-7,0 | — niezwykle ostre |
| > 7,1 | — ekstremalnie ostre. |

Analiza statystyczna (Błażejczyk i Siemiaszko 1980) dowiodła, że do celów przeglądowych we wzorze zarówno G. Bodmana, jak i I.M. Osokina, można zastąpić średnią dobową temperaturę i prędkość wiatru — średnimi miesięcznymi wartościami tych elementów, co znacznie ułatwia obliczenia, a błąd względny wynosi wówczas zaledwie 5%.

b. Wskaźnik ostrości zim

Warto jeszcze wspomnieć o *wskaźniku ostrości zim* (WO_z) wyznaczonym dla obszaru Polski przez S. Paczosa (1982) na podstawie kryteriów termicznych:

$$WO_z = (1 - 0,25 \cdot t) \cdot 0,8325 + 0,0144 \cdot d_z + 0,0087 \cdot d_m + 0,0045 \cdot d_{bm} - 0,0026 \cdot S_t \quad [17]$$

Na podstawie wartości WO_z S. Paczos określił termiczny charakter zim w następujący sposób:

| WO_z | Ostrość zim: |
|------------|------------------------|
| 0,01-1,00 | — bardzo łagodne |
| 1,01-2,00 | — łagodne |
| 2,01-3,00 | — umiarkowanie łagodne |
| 3,01-4,00 | — umiarkowanie chłodne |
| 4,01-5,00 | — chłodne |
| 5,01-6,00 | — umiarkowanie mroźne |
| 6,01-7,00 | — mroźne |
| 7,01-8,00 | — bardzo mroźne |
| 8,01-9,00 | — bardzo surowe |
| 9,01-10,00 | — niezwykle surowe. |

c. Wskaźnik ochładzania wiatrem

Oprócz wymienionych wskaźników do oceny warunków bioklimatycznych okresu zimowego stosuje się również tzw. *wskaźnik ochładzania wiatrem*

(WCI — Wind Chill Index). Został on wyznaczony przez P. A. Siple'a i Ch. Passela w czasie badań na Antarktydzie i zwany jest również wskaźnikiem konwekcyjnych strat ciepła (Gregorczyk 1976):

$$WCI = (10 \cdot \sqrt{v} + 10,45 - v) \cdot (33,0 - t) \cdot 1,163 \quad [18]$$

Wzór ten został zmodyfikowany przez A. Courta (cyt. Flach 1981):

$$WCI = (10,9 \cdot \sqrt{v} + 9,0 - v) \cdot (33,0 - t) \cdot 1,163 \quad [19]$$

Poniższe wartości WCI wskazują odczucia człowieka ubranego w odzież o termoizolacyjności 4,0 clo:

| WCI ($W \cdot m^{-2}$) | Odczucie ciepłne: |
|--------------------------|--------------------|
| $< 58,2$ | — skrajnie gorąco |
| 58,3-116,3 | — gorąco |
| 116,4-232,6 | — zbyt ciepło |
| 232,7-581,5 | — komfortowo |
| 581,6-930,4 | — chłodno |
| 930,5-1628,2 | — zimno |
| 1628,3-2326,0 | — mroźno |
| $> 2326,0$ | — skrajnie mroźno. |

Przy $WCI > 1628,3 W \cdot m^{-2}$ istnieje niebezpieczeństwo odmrożeń nie osłoniętych części ciała.

d. Temperatura zredukowana

Niedostatkim wyżej omówionych wskaźników jest nieuwzględnianie efektu termicznego promieniowania słonecznego. Efekt ten — szczególnie zimą (gdy albedo śniegu jest duże) — może być znaczny i łagodzi odczucie chłodu. Dlatego też warto przedstawić opracowaną przez K.S. Chajrulina (1988) tzw. *temperaturę zredukowaną* (TR). Jest to wskaźnik oceny warunków bioklimatycznych okresu zimowego z punktu widzenia higieny pracy na wolnym powietrzu, w którym uwzględniono bilans radiacyjny powierzchni ciała człowieka:

$$TR = t - 8,2 \cdot \sqrt{v} + 0,00025 \cdot \frac{R}{K} \quad [20]$$

$$K = 0,04 + 0,01 \cdot \sqrt[3]{\exp(v)} \quad (J \cdot s^{-1} \cdot cm^{-2} \cdot ^\circ C) \quad [21]$$

Gdy TR osiąga wartość: od $-28,0^\circ C$ do $-35,0^\circ C$ — podczas pracy na powietrzu niezbędne są przerwy (co 45-50 min); przy TR od $-35,1^\circ C$ do $-42,0^\circ C$ — czas pracy powinien być skrócony o 30%; przy $TR < -42,0^\circ C$ — praca powinna być przerwana z uwagi na zbyt duże straty ciepła z organizmu.

2.2. Wskaźniki wyznaczone metodami pomiarowymi

Wraz z poszukiwaniem formuł matematycznych ujmujących kompleksowe oddziaływanie kilku czynników meteorologicznych na organizm człowieka, konstruowano przyrządy (w postaci kuli lub walca), które traktowano jak fizyczne analogi ciała człowieka. Zakładano przy tym, że powierzchnia przyrządu podlega takim samym procesom wymiany ciepła jak powierzchnia ciała człowieka.

Prekursorem tego kierunku badawczego był W. Heberden, który już w 1826 r. postulował mierzenie wielkości ochładzającej powietrza ogrzewanym termometrem (cyt. Flach 1981).

Praktyczna realizacja idei Heberdena nastąpiła w 1913 r., kiedy to L. Hill skonstruował katatermometr (termometr alkoholowy ze zbiorniczkiem w kształcie walca), który dzięki prostocie konstrukcji znalazł szerokie zastosowanie do pomiarów wielkości ochładzającej powietrza, zarówno w badaniach terenowych, jak i na stacjach meteorologicznych.

W 1925 r. C. Dorno i R. Thilenius skonstruowali frygorymetr, którego czujnik stanowiła poczniona miedziana kula o średnicy 7,5 cm, ogrzewana prądem elektrycznym do stałej temperatury. W 1933 r. H. Pfeleiderer i K. Büttner przedstawili frygorygraf, przyrząd rejestrujący, też o kształcie kuli, lecz o średnicy 15 cm. Wskaźnikiem wielkości ochładzającej powietrza była ilość energii cieplnej, niezbędna do utrzymania powierzchni tych przyrządów w temperaturze 36,5°C (frygorymetr) lub wielkość zmian temperatury kuli przy równomiernym jej podgrzewaniu.

W grupie przyrządów analogowych służących do wyznaczania różnych wskaźników odczucia ciepła, wymienić można jeszcze rzadko używany eupateoskop (A. Duftona), homeoterm (F. Frankenhäusera), jak również różnego typu termometry kuliste, mierniki komfortu cieplnego (PMV-metry) oraz manekiny cieplne (tzw. copper man). Te ostatnie stosowane są w badaniach laboratoryjnych termoizolacyjności odzieży. Opis tych przyrządów i ich zastosowania do wyznaczania różnych wskaźników odczucia ciepła można znaleźć w publikacjach: F. Bradtke i W. Liese (1958), M. Jokl (1965), D.H.K. Lee (1980), E. Flach (1981), K.C. Parsons (1993).

Pomimo podejmowania licznych prób nie udało się jednak skonstruować przyrządu, który w pełni oddawałby reakcje żywego organizmu na zmieniające się warunki środowiska atmosferycznego.

2.2.1. Wielkość ochładzająca powietrza

Wielkość ochładzająca powietrza (H), zwana również ochładzaniem biologicznym, jest proporcjonalna do ilości ciepła, którą jednostka powierzchni katatermometru (1 cm²) oddaje otoczeniu w ciągu 1 sekundy:

$$H = \frac{Q}{\tau}$$

[22]

W celu wyrażenia *wielkości ochładzającej powietrza* w jednostkach SI ($W \cdot m^{-2}$), gdy stała katatermometru wyznaczona jest w $mcal \text{ cm}^{-2}$, należy uzyskaną wartość H pomnożyć przez 41,868. *Ochładzanie suche* jest wskaźnikiem przydatnym do oceny odczuć ciepłych ludzi w ruchu, ubranych stosownie do pory roku.

Warto jeszcze wspomnieć o tzw. *ochładzaniu wilgotnym* (H_w), które można wyznaczyć katatermometrem zwilżonym (zbiorniczek przyrządu owinięty muslinem). H_w jest miarą utraty ciepła ze zwilżonej powierzchni ciała człowieka, a więc uwzględnia oprócz turbulencyjnej wymiany ciepła jawnego również ciepło utajone.

W przypadku braku danych pomiarowych do obliczenia wielkości *ochładzającej powietrza* można wykorzystać empiryczne wzory L. Hilla (Büttner 1938; Gregorczyk 1970):

$$H_1 = (36,5 - t) \cdot (0,20 + 0,40 \cdot \sqrt{v}) \quad [23]$$

gdy $v < 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$H_2 = (36,5 - t) \cdot (0,13 + 0,47 \cdot \sqrt{v}) \quad [24]$$

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

$$H_w = H_2 + (0,085 + 0,102 \cdot v^{0,3}) \cdot (45,8 - e)^{1,33} \quad [25]$$

We wzorze [25] e wyrażone jest w mm Hg.

Aby wyrazić H_1 , H_2 i H_w w $W \cdot m^{-2}$, należy ich wartości obliczone za pomocą wzorów [23], [24] i [25] przemnożyć przez 41,868.

Wzory L. Hilla zostały sprawdzone przez innych badaczy, lecz otrzymane przez nich różnice w wartościach współczynników liczbowych okazały się nieistotne (Bradtke i Liese 1958; Flach 1981). Wartości H można wyrazić również w $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (Zaninovic 1992):

$$H = 0,0419 \cdot (0,902 + 0,063 \cdot v^{1,072}) \cdot (36,5 - t) \quad [26]$$

Trzeba jeszcze dodać, iż *wielkość ochładzającą powietrza* można wykorzystać do obliczania małych prędkości wiatru ($< 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), szczególnie w pomieszczeniach zamkniętych, według odpowiednio przekształconego wzoru [23]:

$$v = \left[H_1 - \frac{0,20 \cdot (36,5 - t)}{0,4 \cdot (36,5 - t)} \right]^2 \quad [27]$$

Zmierzone lub obliczone wartości H przedstawia się w postaci rozkładu ich częstości (przeważnie dla godzin okołopołudniowych) w jednej ze skal odczucia cieplnego. Do czasu opracowania polskiej skali odczucia termicznego na podstawie *wielkości ochładzającej powietrza* przez M. Baranowską (ryc. 9), do najczęściej używanych należały skale V. Conrada oraz M. Kacvinsky'ego i S. Petroviča (cyt. Kozłowska-Szczęsna, red., 1985).

Na podstawie skali Conrada przyjmuje się, że następujące wartości H oznaczają:

H ($W \cdot m^{-2}$)

< 420,0

420,1-840,0

840,1-1260,0

1260,1-1680,0

> 1680,1

Obciążenie cieplne:

— warunki sprzyjające przegrzaniu

— warunki oszczędzające (komfort)

— warunki lekko pobudzające

— warunki silnie pobudzające

— warunki sprzyjające przechłodzeniu.

Skala Petroviča i Kacvinsky'ego przedstawia się następująco:

H ($W \cdot m^{-2}$)

< 210,0

210,1-420,0

421-630,0

630,1-840,0

840,1-1260,0

1260,1-1680,0

1680,1-2100,0

> 2100,1

Odczucie cieplne:

— upalnie

— gorąco

— łagodnie

— przyjemnie chłodno

— chłodno

— zimno

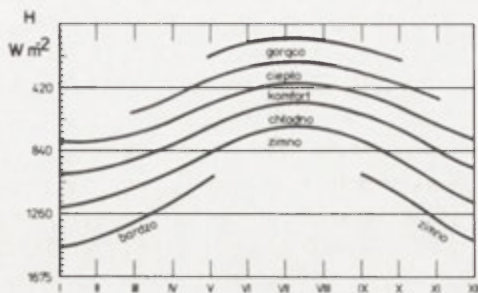
— bardzo zimno

— nieznośnie zimno i wietrznie.

Wartości graniczne wyżej wymienionych przedziałów zostały zaokrąglone.

Przyjmuje się, że H w przedziale 420,1-840,0 $W \cdot m^{-2}$ wskazuje na występowanie optymalnych dla człowieka (w ruchu) warunków odczuwalnych. Sytuacje pogodowe sprzyjające przegrzaniu lub przechłodzeniu organizmu charakteryzują się wartościami ochładzania > 210,0 $W \cdot m^{-2}$ (upalnie) oraz 2100,0 $W \cdot m^{-2}$ (nieznośnie zimno i wietrznie). Występowanie takich wartości H świadczy o uciążliwych dla człowieka warunkach klimatu lokalnego.

Wobec dość częstego stosowania w bioklimatologii człowieka *wielkości ochładzającej powietrza* należy zdawać sobie sprawę, że jest to fizyczny, a nie fizjologiczny wskaźnik wymiany ciepła. Jednak dla warunków średnich, przy niewielkich i krótkookresowych wahaniami bilansu cieplnego ciała człowieka, można przyjąć, że istnieje podobieństwo między oddawaniem ciepła z powierzchni przyrządu i ciała człowieka.



Ryc. 9. Diagram oceny klimatu odczuwalnego na podstawie *wielkości ochładzającej powietrza* (H) dla średniej rocznej temperatury powietrza 7,0-8,0°C (Baranowska i in. 1986)

2.2.2. Wskaźnik odczucia ciepła

Do grupy mierzonych wskaźników biometeorologicznych należy *wskaźnik odczucia ciepła* (T_c) wyznaczany prostym przyrządem analogowym skonstruowanym przez B.A. Ajzenštata. Jest to wykonany z blachy stalowej walec, o średnicy 80 mm i wysokości 110 mm, z umieszczonym wewnątrz czujnikiem 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) podjął próbę wykorzystania temperatury wnętrza cylindra do oceny odczuć cieplnych człowieka w warunkach klimatycznych Polski. Zbadał on związki korelacyjne między T_c a innymi wskaźnikami biometeorologicznymi i stwierdził silny związek z temperaturą skóry człowieka ($r = 0,902$). Przyjmując dla T_c skalę odczucia ciepła skonstruowaną przez T.N. Liopo i G.V. Cicenکو (1971) na podstawie temperatury skóry człowieka (T_s) i wykorzystując zależność:

$$T_c = \exp(0,112 - 0,461 \cdot T_s) \quad [28]$$

otrzymano następujące przedziały T_c i odpowiadające im odczucia cieplne:

| T_c (°C) | Odczucie cieplne: |
|------------|-------------------|
| < 14,6 | — bardzo zimno |
| 14,6-16,1 | — zimno |
| 16,2-22,6 | — chłodno |
| 22,7-26,2 | — komfortowo |
| 26,3-29,6 | — ciepło |
| 29,7-33,9 | — gorąco |
| > 33,9 | — bardzo gorąco. |

2.2.3. Wskaźnik obciążenia cieplnego

Wskaźnik obciążenia cieplnego (WBGT — Wet-Bulb Globe Temperature), stosowany jest do oceny warunków życia człowieka i norm mikroklimatu przy dużym obciążeniu termicznym i wilgotnościowym (Parsons 1993):

$$WBGT = 0,7 \cdot t_w + 0,2 \cdot t_g + 0,1 \cdot t \quad [29]$$

(temperatura mierzona termometrem kulistym — t_g — jest zwana często „operacyjną” lub „wynikową”).

Jako wartość graniczną dopuszczalnego obciążenia cieplnego przyjmuje się WBGT:

33°C — dla człowieka pozostającego w bezruchu ($M < 65 \text{ W m}^{-2}$),

30°C — dla człowieka wykonującego lekką pracę ($M = 65\text{-}130 \text{ W m}^{-2}$),

28°C — dla człowieka wykonującego zajęcie o umiarkowanej intensywności ($M = 130-200 \text{ W m}^{-2}$).

Niezbędną do wyznaczenia WBGT wielkość t_g można zmierzyć termometrem kulistym, którego czujnik znajduje się w środku miedzianej, poczernionej kuli o średnicy 150 mm. Trzeba tu dodać, że termometry kuliste (pierwszy skonstruowany został przez H.M. Vernona w 1923 r.) odzwierciedlają temperaturę powietrza uwarunkowaną zarówno procesami konwekcji, jak i promieniowaniem. Służą one również do wyznaczania tzw. *średniej temperatury promieniowania* (Mrt).

$$Mrt = t_g + 2,44 \cdot \sqrt{v} \cdot (t_g - t) \quad [30]$$

Stwierdzono również, że istnieje silna korelacja ($r = 0,92-0,98$) między wskazaniami termometru kulistego a ilością ciepła oddawanego przez człowieka w procesie parowania potu (E). W pomieszczeniach zamkniętych zależność tę można wyrazić następująco (Klonowicz i Kozłowski 1970):

$$E = 13,7 \cdot t_g - 481 \quad [31]$$

gdy temperatura powierzchni otaczających jest równa temperaturze powietrza, lub

$$E = 15,0 \cdot t_g - 499 \quad [32]$$

gdy temperatura powierzchni otaczających jest wyższa niż temperatura powietrza.

A zatem wartość t_g jest wskaźnikiem obciążenia układu termoregulacyjnego.

W grupie wskaźników przydatnych do oceny uciążliwych warunków biometeorologicznych znajduje się również *wskaźnik dyskomfortu* (DI) zaproponowany przez E. Thoma (Flach 1981):

$$DI = 0,4 \cdot (t + t_w) + 4,8 \quad [33]$$

Wartości $DI > 26^\circ\text{C}$ oznaczają dyskomfort gorący. Również i w tym przypadku zaobserwowano silną korelację pomiędzy wartościami wskaźnika DI a stratami ciepła na parowanie z powierzchni ciała człowieka ($r = 0,89$).

3. Ocena warunków higienicznych powietrza

3.1. Zanieczyszczenie powietrza

Substancje szkodliwe, emitowane do atmosfery w wyniku działalności antropogenicznej oddziałują toksycznie na rośliny i zwierzęta, powodują skażenie produktów spożywczych, a także wpływają niekorzystnie na człowieka.

Zanieczyszczenia powietrza dostają się do organizmu człowieka przez układ oddechowy i pokarmowy oraz przez skórę i gałkę oczną. Najłatwiej wnikają do organizmu człowieka zanieczyszczenia gazowe, natomiast pyły, zależnie od średnicy, zatrzymywane są w górnych drogach oddechowych bądź też przedostają się do pęcherzyków płucnych.

Dlatego też za pierwszorzędny walor bioklimatyczny uznaje się powietrze pozbawione zanieczyszczeń pyłowych i gazowych. Normy sanitarne w odniesieniu do powietrza określają odpowiednie akty prawne. Obecnie obowiązujące rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 12 lutego 1990 r., (opublikowane w Dzienniku Ustaw z 14 marca 1990 r., poz. 92) podaje wartości dopuszczalnych stężeń gazów i pyłów w powietrzu. Niektóre z nich zawierają tabele 2 i 3. Stężenia zanieczyszczeń odnosi się do objętości powietrza ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i podaje w jednostce czasu (doba, rok). Opad pyłu liczy się w $\text{t}\cdot\text{km}^{-2}$ na rok lub w $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ na rok. Norma sanitarna jest utrzymana wówczas, gdy dopuszczalne wartości stężeń średniodobowych nie są przekraczane częściej niż w ciągu 2% dni w roku.

Tabela 2. Dopuszczalne stężenia niektórych zanieczyszczeń powietrza ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) (Dz. U. nr 15 z 14 marca 1990 r.)

| Rodzaj zanieczyszczenia | Obszary specjalne chronione | | Obszary inne | |
|-------------------------|-----------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| | D ₂₄ | D _a | D ₂₄ | D _a |
| Dwutlenek azotu | 50,0 | 30,0 | 150,0 | 50,0 |
| Kadm | 0,2 | 0,001 | 0,22 | 0,01 |
| Ołów | 0,5 | 0,1 | 1,0 | 0,2 |
| Ozon | 20,0 | - | 30,0 | - |
| Pył zawieszony* | 60,0 | 40,0 | 120,0 | 50,0 |
| Dwutlenek siarki | 75,0 | 11,0 | 200,0 | 32,0 |
| Tlenek węgla | 500,0 | 61,0 | 1000,0 | 120,0 |

D₂₄ — dobowa wartość dopuszczalna, D_a — roczna wartość dopuszczalna,

* — pył o średnicy ziaren < 10 μm

Tabela 3. Dopuszczalny opad niektórych zanieczyszczeń (Dz. U. nr 15 z 14 marca 1990 r.)

| Rodzaj zanieczyszczenia | Obszary specjalne chronione | Obszary inne |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Kadm | 10 mg/m^2 rok | 10 mg/m^2 rok |
| Ołów | 100 mg/m^2 rok | 100 mg/m^2 rok |
| Pył ogółem | 40 g/m^2 rok | 200 g/m^2 rok |

Trzeba dodać, że do obszarów specjalnie chronionych zalicza się uzdrowiska z obszarami ochrony uzdrowiskowej, parki narodowe, rezerваты przyrody i parki krajobrazowe, natomiast z tzw. „obszarów innych” wyłączone są zakłady przemysłowe.

Przy interpretacji bioklimatologicznej danych dotyczących zanieczyszczenia powietrza należy wziąć pod uwagę rozkład kierunków wiatru oraz ich prędkości (szczególnie $v < 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i $v > 8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), a także częstość występowania inwersji termicznych i mgieł. Lokalne warunki klimatyczne mogą bowiem decydować o stopniu biologicznej uciążliwości zanieczyszczenia powietrza. Pomiary stężeń zanieczyszczeń pyłowych i gazowych prowadzą stacje sanitarno-epidemiologiczne oraz inspektoraty ochrony środowiska, a także specjalistyczne służby Instytutu Ochrony Środowiska.

Stopień skażenia środowiska można oceniać również na podstawie zmian ilościowych i jakościowych zachodzących w niektórych roślinach i mikroorganizmach, zwanych bioindykatorami. Jako wskaźniki zanieczyszczeń powietrza używane są przeważnie porosty, mchy, grzyby i glony, które kumulują toksyczne działanie zanieczyszczeń powietrza. Porosty są dobrymi wskaźnikami zanieczyszczeń związkami fluoru i siarki, mchy — metalami ciężkimi (np. ołowiem), kora drzew natomiast reaguje na działanie SO_2 (Fabiszewski, red., 1983).

Badania stanu zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego za pomocą wskaźników biologicznych prowadzone są w Polsce od wielu lat i obejmują nie tylko miasta, sąsiedztwa zakładów przemysłowych, ale również parki narodowe i uzdrowiska (Grodziński 1980; Chmielewski i in. 1992; Kozłowska-Szczęśna i in. 1996).

3.2. Hałas

Natężenia dźwięku nie zalicza się do czynników środowiska przyrodniczego, jednak ze względu na jego biologiczne oddziaływanie hałas powinien być uwzględniony w badaniach bioklimatycznych.

Nadmierny hałas wpływa ujemnie na organizm człowieka i może wywoływać wiele dolegliwości, takich jak: bóle głowy, mdłości, zaburzenia snu, uszkodzenia narządu słuchu, zakłócenia równowagi psychicznej, a także wpływa ujemnie na wydajność pracy (tab. 4). Szkodliwe działanie hałasu zależy od jego natężenia, widma częstotliwości, czasu działania i charakteru dźwięku (ciągły, przerywany). Na rozchodzenie się fal dźwiękowych wpływają takie czynniki meteorologiczne, jak: ciśnienie, temperatura i wilgotność powietrza, wiatr, a także pokrywa śnieżna, która tłumi hałas. Podstawową jednostką określającą poziom natężenia dźwięku (A) jest decybel (dB). Jest to stosunek energii, mocy lub ciśnienia dwu sygnałów:

$$A = 20 \cdot \lg \frac{x_1}{x_2} \quad [34]$$

Tabela 4. Oddziaływanie hałasu na organizm człowieka (Dubaniewicz i in. 1988 r.)

| Klasa szkodliwości | Zakres natężenia hałasu w dB(A) | Wpływ hałasu na organizm człowieka |
|--------------------|---------------------------------|--|
| I | poniżej 35 | nieszkodliwy, ale przy dłuższej ekspozycji może być denerwujący |
| II | 36-70 | wywołuje zmęczenie układów: autonomicznego i centralnego nerwowego oraz obniżenie czułości wzroku |
| III | 71-85 | przy stałej ekspozycji jest przyczyną trwałego osłabienia słuchu (głuchoty) |
| IV | 86-130 | powoduje zaburzenie układów: krążenia (nadciśnienie, choroba wieńcowa) i pokarmowego (zmiany nieżytowe, choroba wrzodowa żołądka i dwunastnicy) oraz zachwiania równowagi; nieodwracalne ubytki słuchu i stany nerwowe |
| V | powyżej 130 | przekroczony próg bólu fizycznego |
| VI | powyżej 160 | paraliżuje działanie organizmu: po 10-minutowej ekspozycji powoduje liczne zmiany fizjologiczne i zaburzenia czynności mózgu |

Tabela 5. Dopuszczalne natężenie hałasu w środowisku w dB(A).
(Dz. U. nr 24 z 30 września 1980 r.)

| Rodzaj terenu | Poziom dźwięku | | Maksymalny krótkotrwały poziom dźwięku |
|---|---|---|--|
| | w godz. 6 ⁰⁰ -22 ⁰⁰ | w godz. 22 ⁰⁰ -6 ⁰⁰ | |
| Obszary ochrony uzdrowiskowej | | | |
| Obszary chronionego krajobrazu | | | |
| Parki krajobrazowe | 40 | 30 | 65 |
| Obszary o walorach wypoczynkowych i krajobrazowych | | | |
| Obszary dzielnic i obiektów zabytkowych | | | |
| Tereny otaczające sanatoria i szpitale | | | |
| Podmiejskie osiedla mieszkaniowe | 45 | 35 | 70 |
| Podmiejskie tereny wypoczynkowe | | | |
| Tereny zabudowy mieszkaniowej w pobliżu ulic o natężeniu ruchu do 1000 pojazdów na godzinę oraz tereny zajmowane przez: | | | |
| - zakłady opieki społecznej | 50 | 40 | 75 |
| - placówki naukowe | | | |
| - szkoły | | | |
| Tereny zabudowy mieszkaniowej w pobliżu ulic o natężeniu ruchu do 2000 pojazdów na godzinę | | | |
| Parki w miastach, ogrody działkowe | 55 | 45 | 80 |
| Tereny rekreacyjno-sportowe | | | |
| Centralne części miast z zabudową mieszaną (mieszkaniową, handlową, usługową biurową itp.) | 60 | 50 | 85 |

Obowiązujące w Polsce normy natężenia hałasu zostały określone w rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 30 września 1980 r. (Dz. U. nr 24, z 30 września 1980 r., poz. 90), podano je w tabeli 5.

Na podstawie instrukcji Państwowego Zakładu Higieny można przyjąć następującą skalę uciążliwości hałasu:

I — hałas umiarkowany — poniżej dopuszczalnych granic określonych normami — do 60 dB(A),

II — hałas znośny — przewyższający wartości normatywne nie więcej niż o 10 dB — do 70 dB(A),

III — hałas dokuczliwy — przewyższający wartości normatywne nie więcej niż o 25 dB — do 85 dB(A),

IV — hałas nieznośny — przewyższający wartości normatywne więcej niż o 25 dB — powyżej 85 dB(A).

4. Klasyfikacje pogody na potrzeby bioklimatologii człowieka

Pod wpływem zespołu czynników meteorologicznych działających silnie bodźcowo mogą zachodzić patologiczne reakcje organizmu człowieka. Reakcje te zależą od wrażliwości osobniczej i stanu organizmu. Na zmiany pogody narażony jest przede wszystkim układ nerwowy (psychiczne odczuwanie pogody), a następnie poszczególne narządy.

Mianem meteorotropowych określa się aktywne biologicznie sytuacje pogodowe, podczas których obserwuje się subiektywne dolegliwości u ludzi zdrowych oraz nasilenie obiektywnych objawów chorobowych u większości chorych (Grączewski 1972; Sulman 1982; Parsons 1993). Są to przede wszystkim sytuacje cyklonalne (niżowe), związane z przechodzeniem frontów atmosferycznych (szczególnie chłodnych) oraz z adwekcją mas powietrza o kontrastowych cechach fizycznych.

Ogólnie biorąc, klasyfikacje pogody można, na podstawie rodzaju uwzględnianych charakterystyk, podzielić na dwie grupy:

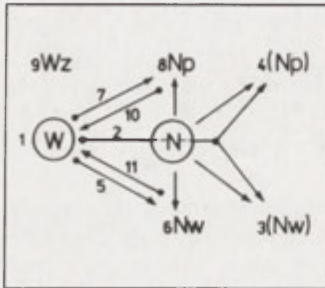
- typologie warunków synoptycznych, oparte na analizie układów barycznych,
- typologie warunków pogodowych, oparte na analizie zespołów elementów meteorologicznych.

4.1. Typologie warunków synoptycznych

Rozpatrując problem wpływu pogody i klimatu na organizm zdrowego człowieka, należy wziąć pod uwagę, że mamy do czynienia z jednej strony ze zmieniającymi się w czasie i przestrzeni warunkami atmosferycznymi, z drugiej natomiast — z reakcjami fizjologicznymi człowieka.

W celu określenia stopnia obciążenia organizmu człowieka przez czynniki pogodowe V.G. Bokša i B.V. Boguckij (1980) zaproponowali tzw. wskaźnik patogenności pogody (por. także Kozłowska-Szczęsna, red., 1985).

W. Wojtowicz (1966) opracował pierwszą w Polsce biosynoptyczną klasyfikację pogody. Opiera się ona na analizie faz rozwoju sytuacji barycznych (niżowych i wyżowych) oraz odległości badanego obszaru od centrum niżu lub wyżu (ryc. 10). Autor stwierdza (na podstawie korelacji z liczbą zgonów na zawał



Ryc. 10. Schemat biosynoptycznej klasyfikacji pogody (Wojtowicz 1966)

1 — wyż baryczny [W], 2 — przejście od wyżu do niżu dalekiego pogłębiającego się lub wypełniającego się [W-(Np) lub W-(Nw)], 3 — niż daleki wypełniający się [(Nw)], 4 — niż daleki pogłębiający się [(Np)], 5 — przejście od wyżu do niżu bliskiego wypełniającego się [W-Nw], 6 — niż bliski wypełniający się [Nw], 7 — przejście od wyżu do niżu bliskiego pogłębiającego się [W-Np], 8 — niż bliski pogłębiający się [Np], 9 — wyż z zaburzeniami [Wz], 10 — przejście od niżu pogłębiającego się do wyżu [Np-W], 11 — przejście od niżu wypełniającego się do wyżu [Nw-W]

serca), że najbardziej meteorotropowe są następujące sytuacje baryczne: niż bliski pogłębiający się, niż bliski wypełniający się oraz niż daleki pogłębiający się. Dużym meteorotropizmem charakteryzują się także sytuacje przejściowe związane z niżami bliskimi (przejście od wyżu do niżu bliskiego pogłębiającego się, przejście od niżu pogłębiającego się do wyżu, wyż z zaburzeniami).

H. Ungeheuer, H. Brezowsky i H. Reinders (cyt. Jankowiak, red., 1976) opracowali inną klasyfikację biosynoptyczną, w której poza układami barycznymi

| Typ | Pogoda wyżowa 1 | Centrum wyżu 2 | Słoneczno - fenowa 3 | Zmiana pogody Faza początkowa 4 | Faza końcowa 5 | Rozpogodzenie 6 |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------------|
| Zachmurzenie rodzaj chmur | Ac Sc | Cu | Ac, Ci | Cs, As lątem Ac, Cu | Cu, Sc Cb, Ac | St, Sc |
| Przebieg dzienny temp. powietrza | | | | | | |
| Przebieg dzienny wilgotn. względnej | | | | | | |
| Klasyfikacja | Chłodno umiark. sucho | Ciepło sucho | Ciepło bardzo sucho | Ciepło wilgotno | Zimno wilgotno | Zimno chłodno sucho |
| Cisnienie atmosf. | | | | | | |
| Ozon | Normatyw fizjologiczny = 0,01 ppm | | | | | |
| Elektroklimat | Plan prognoz. | | | | | |
| | Napięcie pola elektr. | | | | | |
| | Przewodność elektr. | | | | | |

Ryc. 11. Biometeorologiczna klasyfikacja pogody H. Ungeheuera i innych (cyt. Jankowiak, red., 1976); objaśnienia w tekście

uwzględnili rodzaj zachmurzenia, przebieg dzienny temperatury i wilgotności powietrza, ciśnienie atmosferyczne, zawartość ozonu i elektryczność atmosferyczną (ryc. 11). Podali także klasyfikację klimatu odczuwalnego w wydzielonych 6 typach pogody.

Typ 1 — bez wyraźnych objawów bodźcowości, wyrównane samopoczucie, sen spokojny, dobra zdolność koncentracji, brak objawów meteorotropowych — ogólnie korzystny wpływ biologiczny.

Typ 2 — bez wyraźniejszych objawów bodźcowego oddziaływania, samopoczucie dobre z objawami lekkiego pobudzenia, zmniejszone zapotrzebowanie na sen — wzmożona chęć działania i aktywności fizycznej.

Typ 3 — stopniowy wzrost bodźcowości, lekko wzrastające podniecenie, zmniejszone zapotrzebowanie na sen i płytszy zaburzony sen, sprawność umysłowa obniżona, objawy meteorotropowe — migrena, zaburzenia czynności układu krążenia, złe samopoczucie, bóle blizn pourazowych — ogólnie niekorzystne oddziaływanie biologiczne.

Typ 4 — silne działanie bodźcowe, z tendencją do pogłębiania depresji psychicznej, zwiększona senność, objawy wyczerpania psychicznego — ogólnie wpływ niekorzystny.

Typ 5 — bardzo silne oddziaływanie bodźcowe, złe samopoczucie, zaburzony sen i senność, dolegliwości meteorotropowe — ogólne oddziaływanie biologicznie niekorzystne.

Typ 6 — stopniowe zmniejszanie się bodźcowości i złego samopoczucia, normalny, głęboki sen, uczucie psychicznego odprężenia, wzrost chęci działania — ustępowanie objawów meteorotropowych.

Ogólnie można stwierdzić, że najmniej aktywna biologicznie jest ustabilizowana pogoda wyżowa (typy 1 i 2), a najbardziej biotropowe są typy pogody silnie zaburzonej, z przejściem frontów i zmianą mas powietrza (typy 4 i 5).

H. Zenker i G. Hentschel (1975) rozszerzyli omówioną wyżej klasyfikację. Typ 4 podzielili na 4⁰, 4¹ i 4², typ 5 — na 5⁰ i 5¹, a typ 6 — na 6⁰ i 6¹. Do rozszerzenia przedstawionej klasyfikacji wykorzystali analizę występujących powszechnie pięciu faz rozwojowych pogody (tab. 6). Swą biosynoptyczną klasyfikację pogody zastosowali do badań klimatologicznych na obszarze wschodnich Niemiec. Wydaje się, że można ją także z powodzeniem stosować w warunkach klimatycznych Polski.

Tabela 6. Fazy rozwojowe sytuacji pogodowych (wg Zenkera i Hentschela 1975)

| Faza | Charakterystyka | Typ pogody |
|--|--|--|
| 1. Umiarkowanie pochmurna pogoda wyżowa | Bez opadu, usłonecznienie względne < 50% | 1 |
| 2. Słoneczna pogoda wyżowa | Bez opadu, usłonecznienie względne > 50% | 2, 3, 4 ⁰ |
| 3. Pogoda przejściowa ze wzrostem zachmurzenia | Wzrost zachmurzenia, opad atmosferyczny w godzinach popołudniowych do nocnych | 4 ¹ |
| 4. Dżdżysta pogoda niżowa | Opady, pochmurno | 4 ² , 5 ⁰ , 6 ¹ |
| 5. Pogoda przejściowa o charakterze burzowym | Przejście frontu chłodnego, pogoda typowa dla tylnego wycinka frontu, stopniowa poprawa pogody | 5 ¹ , 6 ⁰ |

4.2. Typologie warunków pogodowych

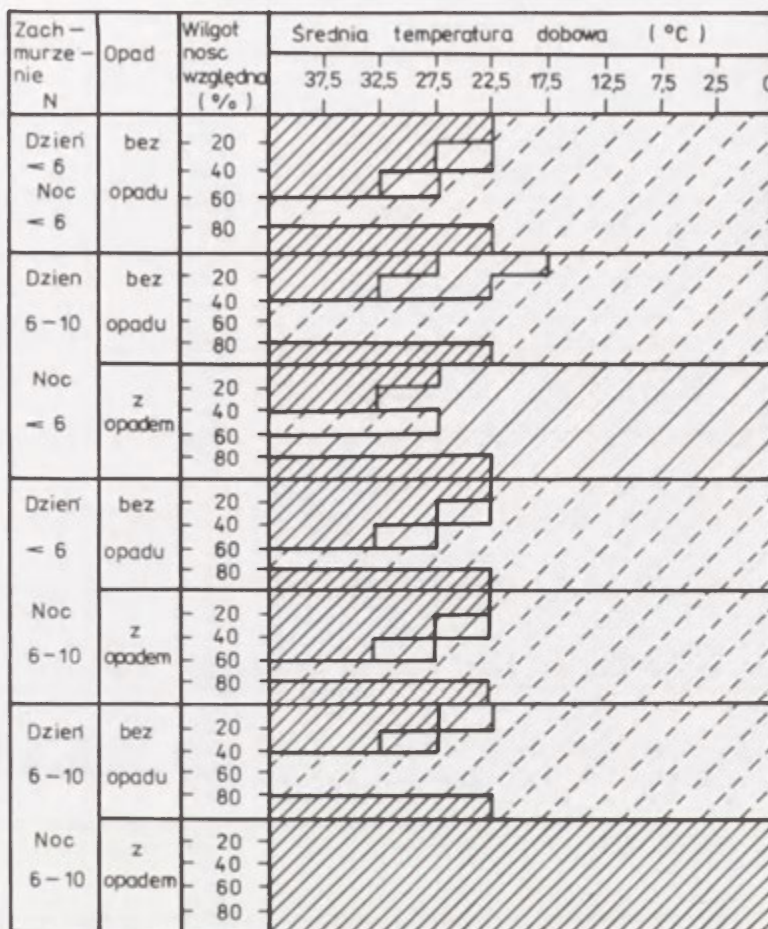
Typologie pogody charakteryzują w sposób kompleksowy oddziaływanie na organizm człowieka różnych elementów meteorologicznych, które są kształtowane przez czynniki cyrkulacyjne oraz przez lokalne właściwości środowiska geograficznego (lokalne czynniki klimatotwórcze).

W literaturze bioklimatycznej znana jest metoda analizy warunków pogodowych, nazywana metodą Fiodorowa-Czubukowa (Čubukov i Nevraev 1960; Nevraev i Čubukov, red., 1964). Doczekała się ona licznych uzupełnień oraz zmian i jest nadal stosowana do oceny klimatu (np.: Ilicéva 1963; Olszewski 1967; Kopacz 1970; Woś 1970). W metodzie Fiodorowa-Czubukowa, przy wydzielaniu typów pogody, uwzględnia się temperaturę i wilgotność względna powietrza (wartości średnie dobowe), zachmurzenie oraz opady w ciągu dnia i nocy, a w ujemnej temperaturze powietrza także prędkość wiatru. W zależności od różnych warunków termiczno-wilgotnościowych i insolacyjnych wyróżnia się 16 klas pogody, połączonych w trzy grupy: przydatne, przydatne z ograniczeniami i nieprzydatne na potrzeby klimatoterapii (ryc. 12). Niedostatkami przedstawionej metody są: operowanie średnimi dobowymi — a nie chwilowymi — wartościami temperatury i wilgotności powietrza oraz pominięcie — przy dodatniej temperaturze powietrza — prędkości wiatru.

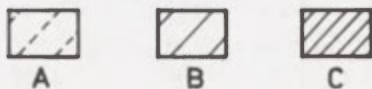
J. Bogucki (1967) zaproponował typologię pogody przeznaczoną do analizy biometeorologicznych podstaw rytmów biologicznych. Metoda ta została przewidziana do badań w zakresie biometeorologii sportu.

N.A. Daniłowa (1988) opracowała klasyfikację pogody na potrzeby turystyki, wypoczynku i lecznictwa uzdrowiskowego. W klasyfikacji swej autorka oparła się na subiektywnym odczuciu różnych stanów pogodowych. W metodzie tej typy pogody określa się na podstawie chwilowych wartości temperatury powietrza, prędkości wiatru oraz stopnia zachmurzenia, wydzielając warunki komfortowe, subkomfortowe i dyskomfortowe (ryc. 13). W przypadku wystąpienia prędkości wiatru $> 6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, mgły, opadów (o sumie dobowej ponad 3 mm) lub burz w ciągu dnia — dzień taki uznaje się za dyskomfortowy (nawet wtedy, gdy warunki termiczno-insolacyjne pozwalają na umieszczenie go w strefie komfortu lub subkomfortu). Mankamentami powyższej metody jest nieuwzględnianie wilgotności powietrza oraz operowanie dobową, a nie dzienną sumą opadu.

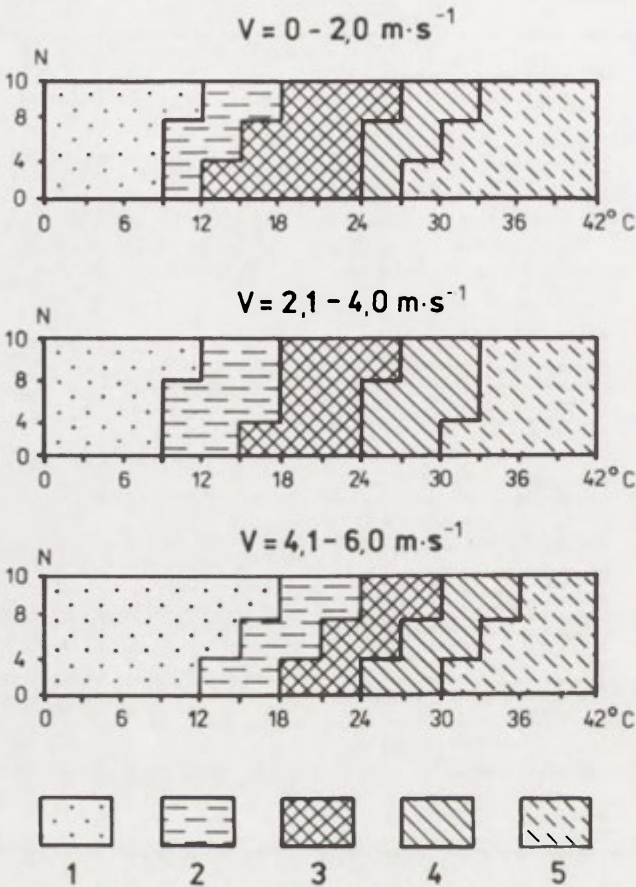
W Zakładzie Klimatologii IGiPZ PAN opracowano typologię pogody służącą ocenie warunków bioklimatycznych (Błażejczyk 1979, 1980, 1981, 1983). W metodzie tej za podstawową cechę typu pogody przyjmuje się odczucie ciepłe człowieka, wywołane reakcją układu termoregulacyjnego na bodźce zewnętrzne (głównie na temperaturę powietrza i prędkość wiatru). Do określenia odczucia ciepłego stosuje się *wielkość ochładzającą powietrza (H)*. Z punktu widzenia odczucia ciepłego człowieka wyróżnia się w omawianej klasyfikacji 6 typów pogody (tab. 7). Dalsze klasyfikowanie pogód odbywa się na podstawie stopnia zachmurzenia, czasu trwania opadu oraz występowania mgieł i stanów parności (wyznaczonych według kryterium Scharlau'a, patrz rozdz. II.1.3). Analizując przydatność poszczególnych klas pogody dla



| Średnia temperatura dobowa (°C) | +2,5 - -2,5 | | 0 - | -2,5 - | -12,5 - | -22,5 - | -32,5 - | ≤ |
|------------------------------------|-------------|--|------|--------|---------|---------|---------|-------|
| | N ≥ 6 | N < 5 | -2,4 | -12,4 | -22,4 | -32,4 | -42,4 | -42,5 |
| Temp. max. (°C) | + | + | < 0 | | | | | |
| Temp. min. (°C) | - | - | < 0 | | | | | |
| Wiatr (m·s ⁻¹) | 0-3 | [Diagram showing wind speed distribution with hatched areas A, B, and C] | | | | | | |
| | 4-6 | | | | | | | |
| | 7-8 | | | | | | | |
| | > 9 | | | | | | | |



Ryc. 12. Bioklimatyczna typologia pogody Fiodorowa-Czubukowa (cyt. Błażejczyk 1979)
 N — zachmurzenie (w skali 0-10), A — pogoda przydatna bez ograniczeń, B — pogoda przydatna z ograniczeniami, C — pogoda nieprzydatna dla człowieka



Ryc. 13. Bioklimatyczna typologia pogody Gdańskowej (cyt. Błażejczyk 1979)

N — zachmurzenie (w skali 0-10),
 v — prędkość wiatru, skala pozioma — temperatura powietrza;
 1-5 — ocena pogody: 1 — dyskomfort zimny, 2 — subkomfort chłodny, 3 — komfort, 4 — subkomfort ciepły, 5 — dyskomfort

Tabela 7. Wielkość ochładzająca powietrza (H) a typy pogody (Błażejczyk 1979)

| H ($W m^{-2}$) | < 210,0 | 210,1-420,0 | 420,1-840,0 | 840,1-1260,0 | 1260,1-2100,0 | >2100,0 |
|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|-------------------|---------------------------|
| Typ pogody | I pogoda gorąca | II pogoda ciepła | III pogoda komfortowa | IV pogoda chłodna | V pogoda zimna | VI pogoda bardzo zimna |

człowieka przebywającego na wolnym powietrzu, łączy się je w trzy grupy (ryc. 14). Grupa A obejmuje sytuacje pogodowe, podczas których człowiek może przebywać na wolnym powietrzu przez dłuższy czas. Zależnie od sposobu zachowania się człowieka wyodrębniono w grupie A podgrupy:

A_1 — pogoda przydatna do leżakowania (kąpiele słoneczne, kąpiele powietrzne), czynnego wypoczynku (gry, spacer), turystyki oraz pracy na wolnym powietrzu,

A_2 — pogoda przydatna do kąpieli powietrznych, czynnego wypoczynku, turystyki i pracy na wolnym powietrzu,

| | | | | | | | | | P | N | H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 3 | I |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 2 | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 1 | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 3 | II |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 2 | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 1 | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 3 | III |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 2 | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 1 | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 3 | IV |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 2 | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 1 | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 3 | V |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 2 | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 1 | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 3 | VI |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 2 | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 1 | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | | |

| | | | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| M ₃ | M ₂ | M ₁ | M ₃ | M ₂ | M ₁ | M ₃ | M ₂ | M ₁ |
| O ₃ | | | O ₂ | | | O ₁ | | |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|---|---|
| | | | | | |
| A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | B | C |

Ryc. 14. Bioklimatyczna typologia pogody Błażejczyka (Błażejczyk 1979)

H — typy pogody (patrz. tab. 7); N — zachmurzenie (w skali 0-10): 1 — 0-5, 2 — 6-9, 3 — 10; O — opad w ciągu dnia: 1 — dzień bez opadu, 2 — opad krótkotrwały, 3 — opad całodzienny; P — parność: 1 — dzień bez parności, 2 — dzień parny; M — mgła w ciągu dnia: 1 — dzień bez mgły, 2 — mgła poranna lub/1 wieczorna, 3 — mgła całodzienna; A₁-A₄, B, C — grupy przydatności pogody (patrz rozdz. II.4.2)

A₃ — pogoda, podczas której można korzystać z czynnego wypoczynku i turystyki oraz bez większych przeszkód wykonywać pracę na wolnym powietrzu,

A₄ — pogoda, podczas której jedynie osoby o sprawnie działającym układzie termoregulacyjnym mogą korzystać z intensywnego wypoczynku czynnego i turystyki oraz pracować na wolnym powietrzu.

Grupa B obejmuje sytuacje pogodowe nie sprzyjające klimatoterapii, wypoczynkowi i turystyce (zwłaszcza pieszej), ale pozwalające na dłuższe przebywanie i pracę na wolnym powietrzu. W grupie C znalazły się natomiast stany pogody zdecydowanie niekorzystnej dla dłuższego przebywania i pracy poza budynkami. Mogą one powodować różnego rodzaju zaburzenia w funkcjonowaniu organizmu człowieka, a nawet być przyczyną niektórych chorób.

Przedstawiona wyżej typologia K. Błażejczyka pozwala na dokładną analizę warunków pogodowych, a co za tym idzie na ocenę warunków przebywania człowieka poza budynkami (praca, transport, handel uliczny). Jest ona szczególnie przydatna do prawidłowego planowania zabiegów klimatoterapeutycznych oraz sezonów korzystnych dla wypoczynku i turystyki.

Oprócz analizy częstości pojawiania się typów, klas czy też grup pogody bada się także ich zmienność z dnia na dzień. Służą temu następujące charakterystyki (Błażejczyk 1980, 1983):

— częstość występowania małych i dużych międzydobowych zmian pogody (tab. 8),

— trwałość małych i dużych międzydobowych zmian pogody,

— prawdopodobieństwo wystąpienia przez trzy kolejne dni pogody zaliczonej do grupy A₁ i pogody zaliczonej do grupy C.

Tabela 8. Intensywność zmian warunków pogodowych w czasie kolejnych dni (Błażejczyk 1980a)

| Zmiana | Charakterystyka |
|---------|---|
| mała | W ciągu dwu kolejnych dni występuje ten sam typ i klasa pogody. W ciągu kolejnych dni występuje pogoda zaliczona do grupy C (pogód niekorzystnych) W ciągu kolejnych dni występuje pogoda zaliczona do tej samej podgrupy w obrębie pogód grupy A. W ciągu kolejnych dni występuje w obrębie pogód zaliczonych do grupy B pogoda tego samego typu. |
| znaczna | W obrębie pogód zaliczonych do grupy A występuje w ciągu kolejnych dni pogoda innej podgrupy. W obrębie pogód zaliczonych do grupy B występuje w ciągu kolejnych dni pogoda należąca do innego typu. |
| duża | W ciągu kolejnych dni występuje pogoda zaliczona do różnych grup przydatności (np. A-C, A-B, B-C). |

Trwałość zmian jest to stosunek liczby danych zmian (małych lub dużych) do liczby dni objętych tymi zmianami. Prawdopodobieństwo wystąpienia przez

trzy kolejne dni pogody z grupy A_1 (PA) lub pogody z grupy C (PC) oblicza się według wzoru:

$$P_A P_C = \sum \frac{n-2}{Nm} \quad [35]$$

We wzorze tym n oznacza liczbę kolejnych dni z pogodą z grupy A_1 lub C .

Do bioklimatycznej charakterystyki zmienności pogody można zastosować następującą skalę opartą na częstości występowania zmian znacznych i dużych: Pogoda:

bardzo stabilna — gdy zmiany te obejmują < 25% dni w miesiącu,

stabilna — gdy zmiany te obejmują 25-34% dni w miesiącu,

zmienna — gdy zmiany te obejmują 35-50% dni w miesiącu,

bardzo zmienna — gdy zmiany te obejmują > 50% dni w miesiącu.

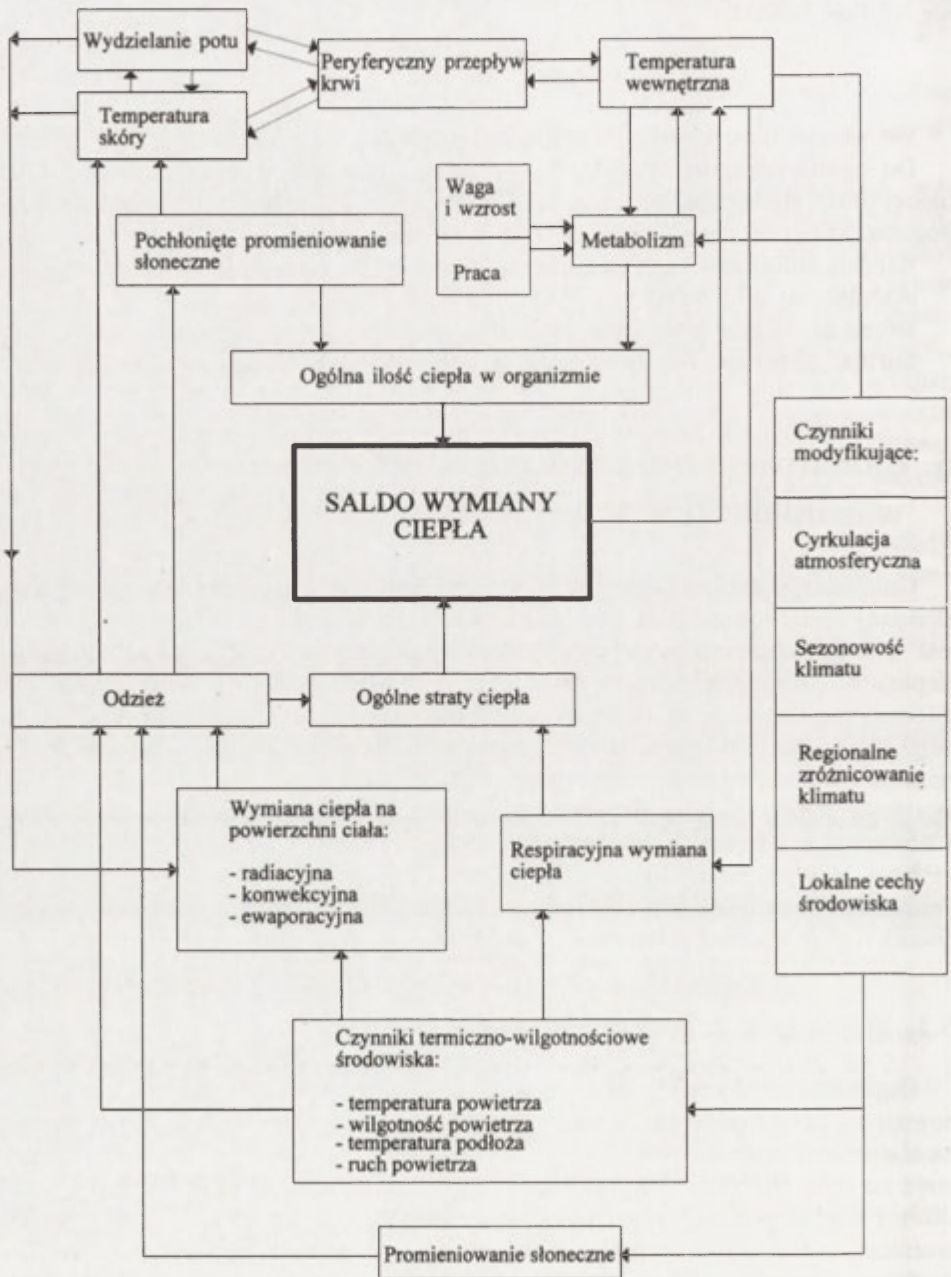
5. Klimatologiczno-fizjologiczne modele oceny warunków termicznych

Omówione dotychczas metody badań bioklimatycznych analizują poszczególne elementy meteorologiczne lub ich grupy. Ich oddziaływanie na organizm człowieka jest uwzględniane na podstawie badań odczuwalności cieplnej lub obciążeń cieplnych, prowadzonych metodami statystycznymi. W ciągu ostatnich 40 lat intensywnie rozwijają się badania oparte na szczegółowej analizie bilansu cieplnego człowieka. Podejście takie daje najpełniejszą informację o wzajemnych relacjach 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 i sprzężenia zwrotne (ryc. 15). Analiza tych powiązań daje podstawę do obiektywnej oceny wpływu czynników środowiskowych na organizm człowieka.

5.1. Fizjologiczne podstawy wymiany ciepła

Organizm każdej istoty stałocieplnej, a więc także człowieka, dąży do zrównoważenia przychodów i strat ciepła tak, aby zachować temperaturę wewnętrzną na stałym poziomie (u człowieka ok. 37°C). Różnorodne procesy aklimatyzacyjne mają na celu zminimalizowanie różnic pomiędzy ilością ciepła docierającego do skóry i tkanki podskórnej (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 cieplnego człowieka ma postać:

$$S = M + R \pm E + \dot{C} + L + Res + Kd \quad [36]$$



Ryc. 15. Wpływ czynników atmosferycznych i fizjologicznych na bilans cieplny człowieka (Błażejczyk 1993)

5.1.1. Zyski ciepła

Stałym źródłem ciepła dla organizmu są procesy metaboliczne. Obejmują one uwalnianie ciepła w wyniku tlenowych przemian chemicznych w obrębie komórek organizmu oraz beztlenowych przemian w obrębie mięśni szkieletowych (Bligh i Johnson 1973; Kozłowski 1986; Sylwanowicz i in. 1989).

Na ogólną ilość ciepła powstałego w procesach metabolicznych (M) składa się: podstawowa, metaboliczna produkcja ciepła w organizmie (niezależna od jego aktywności) oraz metaboliczna produkcja ciepła, następująca głównie w wyniku pracy mechanicznej i ruchu. Natężenie strumienia M jest z reguły wyrażane w $W \cdot m^{-2}$. Stosowane są jednak także inne jednostki: wat (W) lub dżule (J) i jego pochodne (kJ, MJ). W starszych opracowaniach można się także spotkać z jednostką Met; 1 Met odpowiada strumieniowi ciepła o natężeniu $58,15 W \cdot m^{-2}$.

Na podstawową, metaboliczną produkcję ciepła wpływają przede wszystkim cechy osobnicze człowieka, tzn. płeć, wiek, wzrost i waga ciała. Pewne znaczenie mają także termiczne warunki otoczenia oraz sezonowe i regionalne różnicowanie klimatu (Yoshimura i Morimoto 1974; Błażejczyk 1993).

Tabela 9. Metaboliczna produkcja ciepła (powyżej metabolizmu podstawowego) podczas różnej aktywności fizycznej (wg ISO 8996)

| Aktywność człowieka | Metabolizm ($W \cdot m^{-2}$) |
|--|---------------------------------|
| A. Metabolizm związany z pozycją ciała: | |
| siedząca | 10 |
| zgięta | 20 |
| stojąca | 25 |
| stojąca (po zatrzymaniu się) | 30 |
| B. Metabolizm związany z pracą różnych części ciała: | |
| Praca dłońmi | 15 |
| lekka | 30 |
| średnia | 40 |
| ciężka | |
| Praca jedną ręką | 35 |
| lekka | 55 |
| średnia | 75 |
| ciężka | |
| Praca dwiema rękami | 65 |
| lekka | 85 |
| średnia | 105 |
| ciężka | |
| Praca z obciążeniem tułowia | |
| lekka | 125 |
| średnia | 190 |
| ciężka | 280 |
| bardzo ciężka | 390 |

| C. Metabolizm związany z różną prędkością poruszania się: | |
|---|-----|
| Marsz z prędkością 2-5 km/godz. w miejscu płaskim | 110 |
| pod górę: | |
| nachylenie 5° | 210 |
| nachylenie 10° | 360 |
| Marsz z góry z prędkością 5 km/godz. | |
| nachylenie 5° | 60 |
| nachylenie 10° | 50 |
| Marsz, 4 km/godz., z obciążeniem: | |
| 10 kg | 125 |
| 30 kg | 185 |
| 50 kg | 285 |

Czynnikiem zwiększającym metaboliczną produkcję ciepła ponad poziom podstawowy jest wysiłek fizyczny. Wykorzystując wyniki badań fizjologicznych, opracowano międzynarodową normę (ISO 8996), pozwalającą na określenie ogólnej wartości metabolizmu podczas różnej aktywności fizycznej człowieka (tab. 9). Aby obliczyć ogólną wartość strumienia M , należy do jego wartości podstawowej (równiej 45 W m^{-2}) dodać kolejno ilość ciepła związaną z pozycją ciała, intensywnością wykonywanej pracy i prędkością ruchu człowieka.



Fot. 1. Manekin, jako geometryczny model człowieka; badania ilości pochłoniętego promieniowania słonecznego; a — widok z przodu, b — widok z tyłu, widoczne czujniki strumienia ciepła

Drugim ważnym źródłem ciepła dla człowieka jest pochłonięte promieniowanie słoneczne (Breckenridge i Goldman 1971; Clark R.P. i Edholm 1985; Nielsen i in. 1988; Błażejczyk i in. 1993). Obciążenie cieplne organizmu spowodowane przez promieniowanie słoneczne można określić bądź za pomocą tzw. *średniej temperatury promieniowania* (M_{rt}) (Fanger 1974; Skrzypski 1989; Jendritzky 1990) bądź też — ilości pochłoniętego promieniowania słonecznego (R) (Błażejczyk i in. 1993). Pierwsza z wielkości określa efekt promieniowania w $^{\circ}\text{C}$, a druga — w $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Jako model geometryczny ciała człowieka przyjmuje się najczęściej pionowo usytuowany cylinder (Budyko i Cicenکو 1960; Brown i Gillespie 1986; Krys i Brown 1990). Innym modelem stosowanym w tym celu jest elipsoida (Błażejczyk 1993, 1995). Ostatnio w Zakładzie Klimatologii IGiPZ PAN prowadzone są także badania z wykorzystaniem manekina, jako geometrycznego modelu człowieka (fot. 1). Należy dodać, że na wartość R , poza natężeniem promieniowania słonecznego, wpływają także wysokość Słońca oraz izolacyjność termiczna i barwa odzieży.

5.1.2. Straty ciepła

Istnieje sześć sposobów odprowadzania ciepła z organizmu (Bligh i Johnson 1973; Mitchell 1977; Clark R.P. i Edholm 1985; ISO/DIS 7933):

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

Podstawą ewaporacyjnych strat ciepła jest jego zużywanie na parowanie wody z powierzchni ciała (ekwiwalentem energetycznym grama wody parującej w ciągu godziny jest strumień ciepła o gęstości $0,385 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$). Intensywność tego procesu zależy od różnicy ciśnienia pary wodnej, jaka występuje pomiędzy powierzchnią ciała i otaczającym je powietrzem. Czynnikiem przyspieszającym parowanie jest ruch powietrza. Duże znaczenie ma również stopień uwilgotnienia skóry. Stwierdzana w badaniach eksperymentalnych wartość E waha się od $8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ w temperaturze powietrza poniżej 0°C , do około $260 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ — gdy t jest wyższe od 30°C . Istotnym fizjologicznym efektem ewaporacyjnych strat ciepła jest obniżenie temperatury skóry (przepływ strumienia ciepła o gęstości $1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ powoduje zmianę temperatury skóry o $0,066^{\circ}\text{C}$). 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.

Straty ciepła poprzez oddychanie (respirację) są zależne od temperatury i wilgotności powietrza wydychanego i powietrza otaczającego człowieka. W dodatniej temperaturze powietrza respiracyjne straty ciepła są niewielkie i nie przekraczają $8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (Błażejczyk 1993).

Turbulencyjne unoszenie ciepła jawnego z powierzchni ciała jest także określane mianem konwekcji. Zależy ono od różnicy pomiędzy temperaturą skóry a temperaturą powietrza, prędkości jego przepływu wokół ciała oraz od gęstości i pojemności cieplnej powietrza (Budyko i Cicenکو 1960; Bligh i Johnson 1973; Mitchell 1977; Clark R.P. i Edholm 1985; ISO/DIS 7933). Natężenie strumienia C osiąga wartości do $150 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Wtedy, gdy powietrze jest cieplejsze od powierzchni ciała (np. podczas adwekcji powietrza zwrotnikowego), obserwuje się niekiedy dopływ ciepła do organizmu drogą konwekcji (Błażejczyk 1993).

Wymiana ciepła przez przewodzenie (kondukcję) następuje w przypadku bezpośredniego kontaktu dwóch powierzchni. Strumień K_d ma niewielkie natężenie — z uwagi na bardzo małą powierzchnię ciała człowieka stojącego, kontaktującą się z podłożem — i dlatego jest pomijany przy rozpatrywaniu bilansu cieplnego człowieka (ISO/DIS 7933; ISO/DC 11079).

Przepływ ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem następuje także drogą promieniowania o długości fal $0,8\text{-}4,0 \mu\text{m}$. Skóra, tak jak każda powierzchnia fizyczna, emituje promieniowanie proporcjonalnie do swej temperatury i pochłania promieniowanie cieplne z otoczenia (Budyko i Cicenکو 1960; Clark R.P. i Edholm 1985). Strumień L jest zatem różnicą pomiędzy promieniowaniem wyemitowanym i pochłoniętym przez skórę. Jego natężenie nie przekracza z reguły $20\text{-}30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

5.1.3. Wzrost lub ubytek ciepła w organizmie (saldo wymiany ciepła)

Wynikiem chwilowego niezbilansowania się przychodów i strat ciepła jest saldo jego wymiany. Terminem tym określa się wzrost (saldo dodatnie) lub spadek (saldo ujemne) zawartości ciepła w organizmie. Do wzrostu temperatury ciała o 1°C niezbędne jest zakumulowanie $245\text{-}300 \text{ kJ}$ ciepła (Clark J.A. i in. 1980); odpowiada to strumieniowi ciepła, który w ciągu jednej godziny ma stałe natężenie około $45 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Głównymi czynnikami powodującymi wzrost zawartości ciepła w organizmie są: wysiłek fizyczny oraz wysoka temperatura otoczenia. Z drugiej strony przebywanie w środowisku zimnym prowadzi do ubytku ciepła w organizmie i obniżenia się temperatury wewnętrznej. W krótkich okresach całkowite zbilansowanie się zysków i strat ciepła z organizmu jest praktycznie niemożliwe. Występuje ono dopiero wtedy, gdy rozpatrujemy produkcję i straty ciepła w okresach dobowych; w tym właśnie czasie wymiana ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem zamyka się bilansem zerowym (Kreider i in. 1958; Webb 1971; Aschoff i in. 1974).

5.1.4. Rola odzieży w bilansie cieplnym człowieka

W kształtowaniu się wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem ważną rolę odgrywa odzież. Stanowi ona barierę izolacyjną pomiędzy powierzchnią ciała a atmosferą. Bariera ta modyfikuje przepływ ciepła w obydwóch kierun-

kach: od człowieka do otoczenia i od otoczenia do człowieka. 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 9920). Przykłady termoizolacyjności wybranych zestawów odzieży, stosowanych w różnych porach roku, zawiera tabela 10.

Tabela 10. Podstawowa izolacyjność zestawów odzieży (I_{cl}) przeznaczonych do przebywania na wolnym powietrzu (Krawczyk 1993)

| Typ | Rodzaj odzieży | I_{cl} | |
|------|---|----------|----------------------------------|
| | | clo | $\text{K m}^2\cdot\text{W}^{-1}$ |
| 1. | Odzież letnia | | |
| 1.1. | Bardzo lekka | | |
| | a) szorty | 0,1 | 0,016 |
| | b) szorty, koszula z krótkim rękawem | 0,3 | 0,045 |
| 1.2. | Lekka | | |
| | a) długie spodnie, koszula z krótkim rękawem | 0,5 | 0,078 |
| | b) damska sukienka z krótkim rękawem | 0,5 | 0,078 |
| | c) lekka odzież robocza | 0,6 | 0,093 |
| | d) wojskowy mundur roboczy | 0,7 | 0,108 |
| | e) lekki ubiór sportowy | 0,9 | 0,140 |
| 1.3. | Zwykła | | |
| | a) męski garnitur wełniany | 1,0 | 0,155 |
| | b) żakiet, spódnica wełniana | 1,0 | 0,155 |
| | c) typowy ubiór roboczy | 1,0 | 0,155 |
| 2. | Odzież sezonów przejściowych (wiosna, jesień) tradycyjna odzież europejska noszona po pracy | | |
| | a) garnitur męski, płaszcz lub kurtka | 1,5 | 0,232 |
| | b) żakiet, spódnica, cienki płaszcz | 1,5 | 0,232 |
| | c) typowy ubiór roboczy, kurtka | 1,5 | 0,232 |
| | d) standardowy ubiór wojskowy | 1,5 | 0,232 |
| | e) zestaw odzieży jak w typie 2a i 2b oraz nakrycie głowy, szalik, rękawiczki | 2,5 | 0,388 |
| 3. | Odzież zimowa | | |
| 3.1. | Lekka | | |
| | zestaw odzieży jak w typie 1.3a, b oraz płaszcz na watolinie, nakrycie głowy, szalik, rękawiczki | 3,0 | 0,465 |
| 3.2. | Zwykła | | |
| | zestaw odzieży jak wyżej z uwzględnieniem ocieplanej bielizny i obuwia | 3,5 | 0,542 |
| 3.3. | Ciężka (arktyczna) | | |
| | futro lub płaszcz z podbiciem z futra, kurtka puchowa, futrzane rękawiczki, nakrycie głowy i obuwie, pozostałe części garderoby jak w typie 1.3a, b | >4,0 | >0,620 |

Rodzaj tkaniny, z której wykonano odzież, ilość jej warstw, krój, a nawet sposób noszenia wpływają na wartości poszczególnych strumieni ciepła oraz na saldo jego wymiany. Wartość termoizolacyjności odzieży zapewniającej komfort cieplny w danych warunkach meteorologicznych służy także jako wskaźnik oceny środowiska termicznego, w jakim przebywa człowiek (Krawczyk 1993).

5.2. Modele bilansu cieplnego człowieka

5.2.1. Przegląd modeli

Ogólnie biorąc, modele bilansu cieplnego człowieka można, zależnie od warunków, jakie opisują, podzielić na dwie podstawowe grupy:

- modele dla warunków niestacjonarnych,
- modele dla warunków stacjonarnych.

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 J.A. i in. 1980). O warunkach stacjonarnych można mówić w przypadku dłuższych okresów czasu (co najmniej doba), gdy uśrednione wartości parametrów fizjologicznych i meteorologicznych zapewniają równowagę się zysków i strat ciepła (Mitchell 1977).

W modelach opisujących niestacjonarne warunki wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem zakłada się, że temperatura skóry jest stała i wynosi (najczęściej) 33°C. Obliczone w ten sposób saldo wymiany ciepła zależy więc tylko od warunków meteorologicznych i może być traktowane jedynie jako wskaźnik oceny warunków bioklimatycznych, a nie jako realna wielkość fizjologiczna (tab. 11).

Tabela 11. Modele bilansu cieplnego człowieka dla warunków niestacjonarnych, stosowane w badaniach fizjologicznych i bioklimatycznych (Błażejczyk 1993)

| Autor modelu | Uwzględniane strumienie ciepła | Miara salda wymiany ciepła |
|--------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Bligh i Johnson (1973) | <i>M, W, E, Rs, C, Kd, Res</i> | wielkość fizjologiczna |
| Terjung (1966) | <i>M, E, Rs, C</i> | wskaźnik bioklimatyczny |
| Terjung (1970) | <i>M, R, L, E, C</i> | wskaźnik bioklimatyczny |
| Webb (1971) | <i>M, Kd, E, C, Rs, W, P</i> | wskaźnik bioklimatyczny |
| Povolockaja (1975) | <i>M, Rs, E, C, Res</i> | wskaźnik bioklimatyczny |
| Freitas (1985) (HEBIDEX) | <i>M, R, L, E, C, Kd</i> | wskaźnik bioklimatyczny |
| Nielsen i in. (1988) | <i>M, W, R, L, C, E</i> | wielkość fizjologiczna |
| Freitas i Ryken (1989) | <i>M, W, E, C, R</i> | wielkość fizjologiczna |
| Jendritzky (1990) | <i>M, W, R, L, C, E, Res, P</i> | wskaźnik bioklimatyczny |
| Błażejczyk (1991) | <i>M, R, L, E, C, Res</i> | wielkość fizjologiczna |

Rs — bilans radiacyjny w całym zakresie widma, *W* — praca, *P* — ciepło ze spożywania pokarmów i płynów

Pierwszy tego rodzaju bioklimatyczny model bilansu cieplnego człowieka został opracowany przez W.H. Terjunga (1966, 1970). Stosowany on był do badania bioklimatu miast w Kalifornii. Podobny model był też stosowany przez S.E. Tullera (1975) do badania mikroklimatu otoczenia budynków. Niemal w tym samym czasie opracowali swe modele P. Webb (1971) oraz

N.P. Povolockaja (1975). Nowością w modelu Webba było uwzględnienie strat lub zysków ciepła związanych ze spożywaniem napojów. Powołocka wydzieliła natomiast — jako oddzielny człon — straty ciepła na oddychanie. Badania, prowadzone wśród pacjentów i mieszkańców uzdrowisk kaukaskich, pozwoliły autorce na opracowanie klasyfikacji obciążeń termicznych i odczuć cieplnych ludzi, przy różnej wskaźnikowej wartości salda wymiany ciepła.

G. Jendritzky (1990) zaproponował model, noszący nazwę „Klima-Michel-Modell”, służący do badań bioklimatycznych w skali lokalnej i regionalnej. W modelu tym straty ciepła na parowanie są rozdzielone na dyfuzyjne i związane z poceniem się. Model opracowany przez C.R. de Freitas (1985, 1990) otrzymał nazwę HEBIDEX; badania przeprowadzone wśród użytkowników plaż australijskich pozwoliły autorowi na opracowanie skali odczuć cieplnych człowieka.

W badaniach fizjoklimatycznych, prowadzonych w ostatnich latach w terenie otwartym, mierzono zarówno parametry meteorologiczne, jak i fizjologiczne. 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) natomiast prowadzili pomiary na osobach biegających w stroju gimnastycznym, a zastosowanemu do obliczeń bilansu cieplnego modelowi nadali nazwę BIODEX. Badania K. Błażejczyka i B. Krawczyk prowadzone były różnych strefach klimatycznych i odnosiły się do człowieka ubranego w odzież letnią (o izolacji termicznej 1 clo), stojącego w pozycji spoczynkowej (Błażejczyk 1991; Błażejczyk i Krawczyk 1991; Krawczyk i Błażejczyk 1991). Druga grupa modeli, dla stacjonarnych warunków wymiany ciepła, to modele zakładające równoważenie się zysków i strat ciepła z organizmu. Służą one do ogólnej oceny warunków bioklimatycznych. Równoważenie bilansu cieplnego następuje poprzez zmiany: temperatury skóry, termoizolacyjności odzieży, poziomu aktywności fizycznej lub ilości potu parującego z powierzchni ciała. Wartość czynnika równoważącego jest z reguły wskaźnikiem oceny termicznych warunków środowiska (tab. 12).

Tabela 12. Modele bilansu cieplnego człowieka dla warunków stacjonarnych, stosowane w badaniach bioklimatycznych (Błażejczyk 1993)

| Autor modelu | Uwzględniane strumienie ciepła | Czynnik równowagi cieplnej |
|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Budyko (1975) | <i>M, Rs, E, C, Res</i> | temperatura skóry, odzież |
| Marincv (1961) | <i>M, R, L, E, C, Res</i> | temperatura skóry |
| Ajzenštat (1973) | <i>M, R, L, E, C, Res</i> | parowanie potu |
| Morgan i Baskett (1974) | <i>M, R, L, E, C, Res</i> | temperatura skóry |
| Givoni (1976) | <i>M, Rs, C, E</i> | parowanie potu |
| Krawczyk (1979) | <i>M, R, L, E, C</i> | temperatura skóry |
| Burt i in. (1982) | <i>M, Rs, C, E, E, Res, Kd</i> | temperatura skóry |
| Freitas (1985) (STEBIDEX) | <i>M, R, L, E, C, Kd</i> | temperatura skóry |
| Hammer i in. (1986) | <i>M, W, E, C, Res, Rs</i> | metabolizm, odzież |
| Holrner (1988) | <i>M, W, Res, E, C, Rs</i> | odzież |
| Błażejczyk (1993) | <i>M, R, L, C, E, Res</i> | temperatura skóry lub odzież |

W modelu opracowanym przez zespół M.I. Budyko (Budyko i Cicenکو 1960; Liopo i Cicenکو 1971; Budyko 1975) czynnikiem równowagi cieplnej jest — poza temperaturą skóry — termoizolacyjność odzieży. Model ten był stosowany w badaniach przez B. Krawczyk (1979), która rozdzieliła saldo wymiany radiacyjnej w pełnym zakresie widma na pochłonięte promieniowanie słoneczne i saldo promieniowania w zakresie długofalowym, oraz przez K. Błażejczyka (1987), który rozpatrywał strukturę pochłoniętego promieniowania słonecznego.

W modelu MANMO (Morgan i Baskett 1974) wskaźnikiem odczuć ciepłych jest stosunek temperatury skóry, zapewniającej równowagę cieplną, do temperatury skóry w warunkach komfortowych (33°C). Specyfiką modelu HUMAN (Burt i in. 1982) jest rozpatrywanie wymiany ciepła pomiędzy skórą i odzieżą, w obrębie różnych warstw odzieży oraz pomiędzy odzieżą a otoczeniem. Model STEBIDEX (de Freitas 1985, 1990) zakłada równowagę zysków i strat ciepła poprzez zmiany temperatury skóry. Taką samą podstawę bilansowania się wymiany ciepła przyjął V.K. Marinov (*Atlas kurortno...* 1971); wskaźnikiem obciążeń ciepłych jest u niego ciśnienie pary wodnej na powierzchni skóry.

Modele stosowane w warunkach charakteryzujących się wysoką temperaturą powietrza i małą jego wilgotnością zakładają równoważenie się bilansu cieplnego człowieka poprzez parowanie wody z powierzchni ciała, a natężenie ewaporacji jest wskaźnikiem obciążenia cieplnego ustroju (Ajzenštat 1973, 1987; Givoni 1976).

Do oceny natężenia stresu zimna w pomieszczeniach zamkniętych przydatny jest model IREQ (Holmér 1988, 1994). Wskaźnikiem oceny biotermicznej środowiska jest termoizolacyjność odzieży, wymagana do zapewnienia równowagi cieplnej organizmu.

N. Hammer i inni (1986) oraz E. Koch i E. Rudel (1988) zaproponowali model, w którym równoważenie się przychodów i strat ciepła jest efektem zmian termoizolacyjności odzieży oraz aktywności fizycznej. Kombinacja metabolizmu i odzieży, równoważących wymianę ciepła, jest wskaźnikiem odczuwalności cieplnej.

Część z opisanych wyżej modeli została z powodzeniem wykorzystana do przedstawienia zróżnicowania przestrzennego warunków bioklimatycznych. Z ważniejszych opracowań regionalnych należy wymienić atlasy bilansu cieplnego człowieka Azji środkowej (Ajzenštat 1973) i Bułgarii (*Atlas kurortno...* 1971) oraz mapy rozkładu różnych wskaźników opartych na bilansie cieplnym człowieka, wykonane dla obszaru USA (Terjung 1966; Steadman 1979) i byłego ZSRR (Cicenکو 1967). Najnowszymi przykładami regionalnych opracowań bioklimatycznych są mapy obciążeń ciepłych człowieka na obszarze byłego RFN (Jendritzky 1990) oraz typy bioklimatu Polski wyznaczone na podstawie izolacyjności termicznej odzieży, gwarantującej komfort cieplny (Krawczyk 1993).

Istnieją 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 (Terjung 1970; Terjung i in. 1970; Clarke i Bach 1971; Morgan i Baskett 1974; Burt i in. 1982; Kozłowska-Szczęsna i in. 1996). Zróżnicowanie bilansu cieplnego człowieka w naturalnych typach krajobrazu było badane: na pustyni Kyzyl-kum 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 rejonie Warszawy i Pojezierze Suwalskie (Błażejczyk 1988, 1990b, 1991) oraz fragment Puszczy Knyszyńskiej (Kozłowska-Szczęsna i in. 1995).

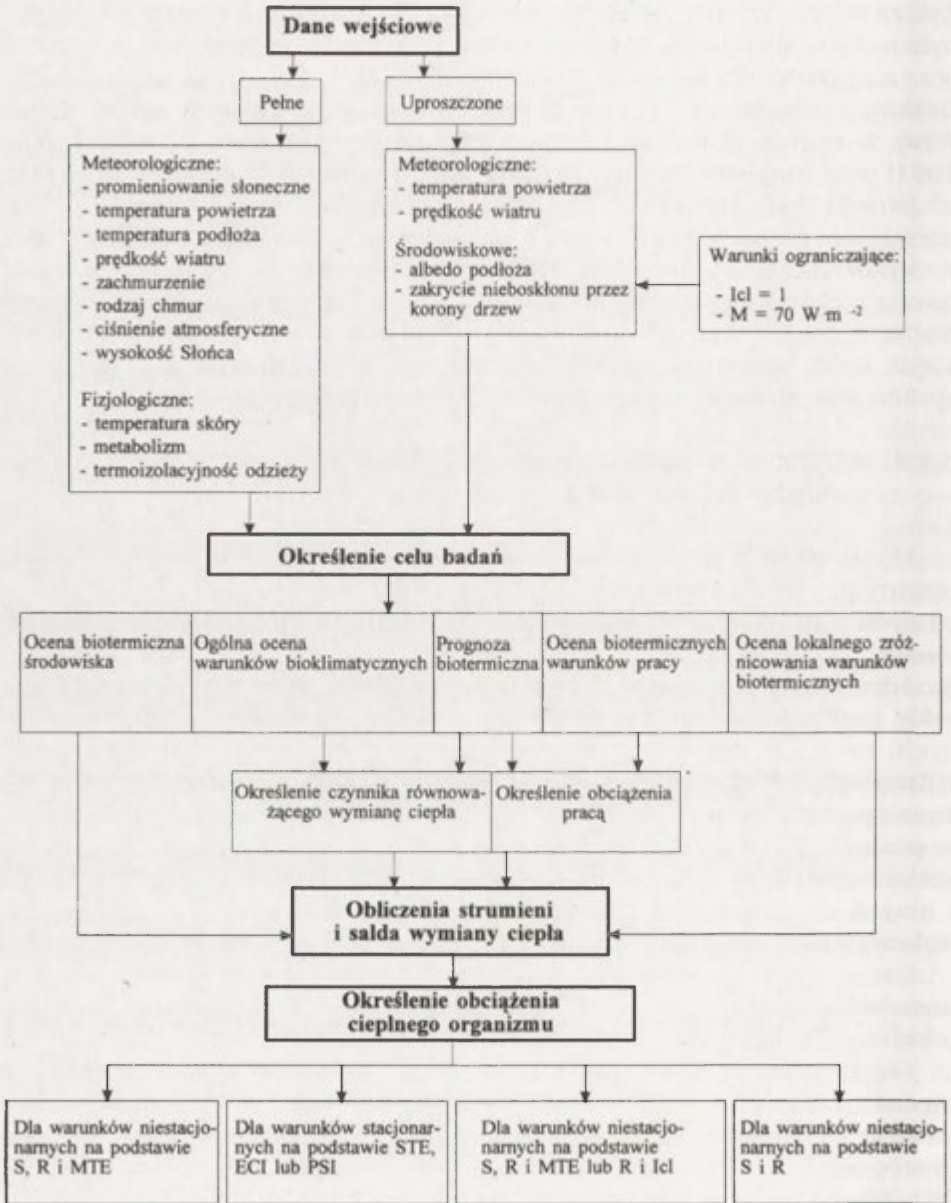
Istnieją także metody wydzielenia jednostek biotopoklimatycznych o jednorodnych cechach bilansu cieplnego człowieka. Metoda G. Menza (1990) — wykorzystująca „Klima-Michel-Modell” — pozwala na wyznaczenie typów terenu z charakterystyczną liczbą dni, podczas których może latem wystąpić niebezpieczeństwo przegrzania organizmu. Metoda K. Błażejczyka (1984, 1985, 1992, 1993) proponuje wydzielenie biotopoklimatów na podstawie struktury zysków i strat ciepła z organizmu w warunkach stacjonarnych.

5.2.2. MENEX — kompleksowy model wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem

Model MENEX pozwala na analizę bilansu cieplnego człowieka w terenie otwartym, zarówno w warunkach niestacjonarnych (do oceny biotermicznej różnych warunków środowiskowych — pogodowych i terenowych), jak i stacjonarnych (do ogólnej oceny warunków bioklimatycznych). Uproszczona opcja modelu, wyznaczająca przybliżone wartości strumieni ciepła, umożliwia szerokie zastosowanie bilansu cieplnego człowieka w badaniach bioklimatycznych, zwłaszcza prowadzonych w skali lokalnej (Błażejczyk 1993; Błażejczyk i Krawczyk 1994). Ogólny schemat modelu MENEX przedstawia rycina 16. Opis sposobu wyznaczania poszczególnych strumieni ciepła można znaleźć w pracach: K. Błażejczyka (1993) oraz K. Błażejczyka i B. Krawczyk (1994); wzory szczegółowe zamieszczono w załączniku 2. Obliczenia strumieni ciepła i innych charakterystyk bilansu cieplnego człowieka można przeprowadzić, wykorzystując program BioKlima (zał. 1).

Dane wejściowe, stosowane w modelu MENEX, odnoszą się do warunków meteorologicznych panujących w otoczeniu człowieka oraz parametrów fizjologicznych, będących wynikiem ich oddziaływania.

Dane wyjściowe dostarczają informacji na temat natężenia poszczególnych strumieni ciepła (R , C , E , L , Res), *saldo wymiany ciepła* (S), a także innych wielkości charakteryzujących bilans cieplny człowieka (*dopuszczalny czas przebywania* — MTE , *straty wody* — SW , *obciążenie cieplne organizmu* — HL). Mają one, w odróżnieniu od modeli omówionych w rozdziale II.5.2.1, znaczenie nie tylko wskaźników bioklimatycznych, ale mówią o rzeczywistych obciążeniach cieplnych człowieka oraz pozwalają na określenie jego odczuć cieplnych. W przypadku badania bilansu cieplnego człowieka w warunkach stacjonarnych model proponuje stosowanie następujących wskaźników: *temperatura skóry bilansująca wymianę ciepła* (STE), *potencjalne saldo wymiany*



Ryc. 16. Schemat modelu wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem MENEX (Błażejczyk 1993)

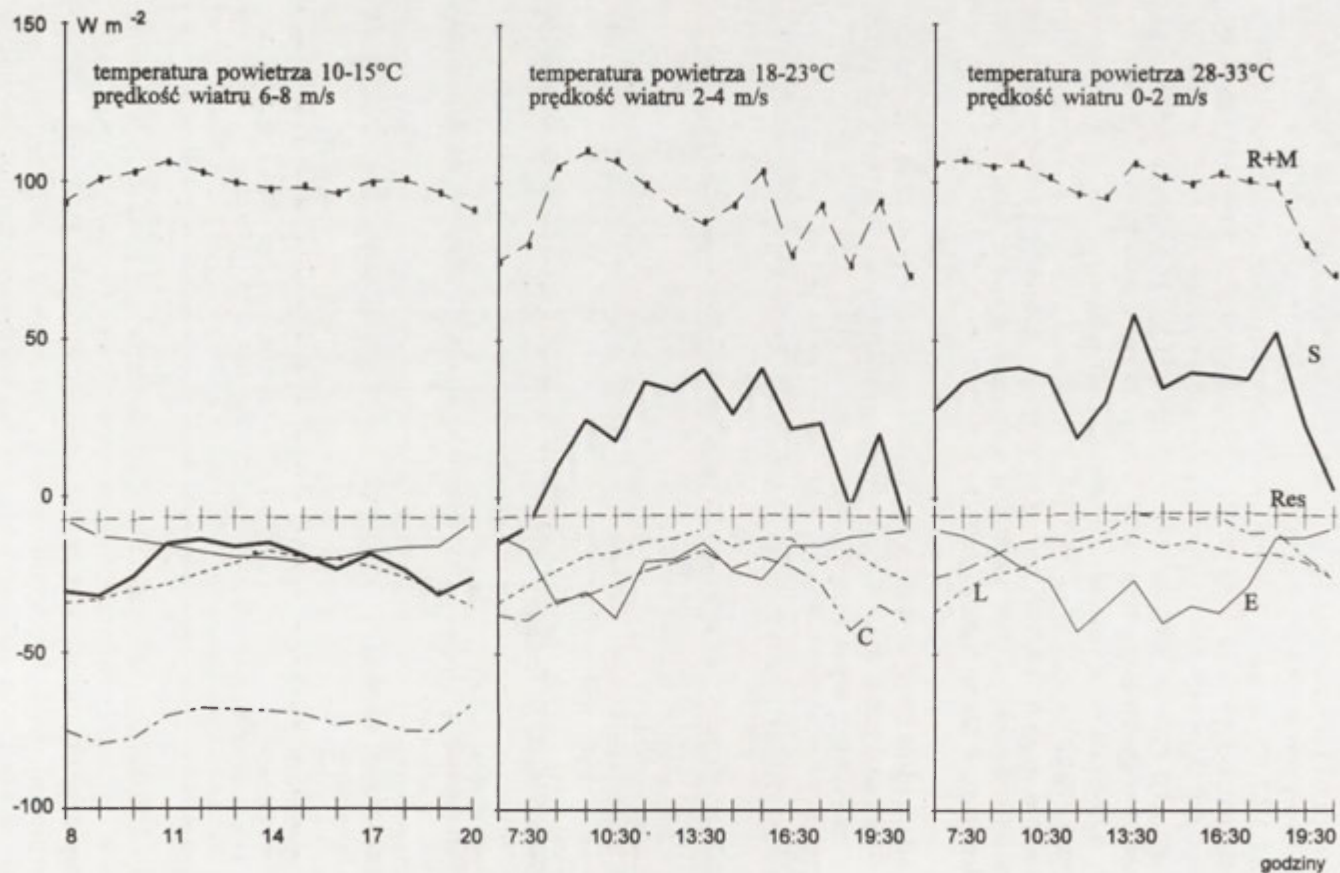
ciepła (*PSI*) i efektywna izolacyjność odzieży (*ECI*) potrzebna dla zapewnienia równowagi cieplnej organizmu. Uproszczona opcja modelu dostarcza natomiast danych o przybliżonym saldzie wymiany ciepła (*Sp*) oraz przybliżonym natężeniu strumieni ciepła (*Ep*, *Lp*, *Cp*).

Model MENEX może być zastosowany w wielu rodzajach badań biomeeteorologicznych, bioklimatycznych i termofizjologicznych. Przykład przebiegu dziennego natężenia poszczególnych strumieni ciepła przedstawia rycina 17. Widać wyraźne różnice wartości strumieni *E* i *C* (strat ciepła na parowanie i unoszenie) w godzinach porannych, południowych i wieczornych. Tabela 13 zawiera natomiast średnie dzienne wartości strumieni ciepła i innych charakterystyk bilansu cieplnego w różnych warunkach pogodowych. Przykładem zastosowania modelu MENEX do ogólnej oceny warunków bioklimatycznych są wartości wskaźników *STE*, *ECI* i *PSI*, wyznaczone dla wybranych miesięcy dla Kłobrzegu i Warny (Bułgaria) (tab. 14).

Tabela 13. Średnie dzienne wartości strumieni ciepła przepływającego pomiędzy człowiekiem a otoczeniem oraz dopuszczalny czas przebywania (*MTE*) w różnych typach pogody (Błażejczyk 1993)

| Typ pogody | Strumień ciepła ($W \cdot m^{-2}$) | | | | | | <i>MTE</i> (min) |
|--|--------------------------------------|----------|----------|----------|------------|----------|---------------------|
| | <i>R</i> | <i>C</i> | <i>L</i> | <i>E</i> | <i>Res</i> | <i>S</i> | |
| Ciepła, ze zmiennym zachmurzeniem i słabym wiatrem | 20,9 | -29,0 | -19,0 | -19,9 | -5,5 | 17,5 | 309 |
| Chłodna, pochmurna, z silnym wiatrem | 22,0 | -48,0 | -15,9 | -10,3 | -6,1 | 11,6 | 466 |
| Umiarkowanie ciepła, pochmurna, bezwietrzna | 18,4 | -28,1 | -15,0 | -17,8 | -5,3 | 22,2 | 243 |
| Umiarkowanie ciepła, pochmurna, wietrzna | 22,2 | -32,5 | -16,9 | -17,6 | -5,7 | 19,5 | 277 |
| Ciepła, bezwietrzna, z małym zachmurzeniem | 28,8 | -21,8 | -22,1 | -23,7 | -5,3 | 26,0 | 208 |
| Ciepła, wietrzna, z małym zachmurzeniem | 23,7 | -23,7 | -14,0 | -28,1 | -5,1 | 22,1 | 244 |
| Ciepła, pochmurna, wietrzna | 20,2 | -14,7 | -11,9 | -13,4 | -5,2 | 44,9 | 120 |
| Gorąca bezwietrzna, z małym zachmurzeniem | 28,4 | -13,9 | -20,1 | -24,3 | -5,2 | 34,9 | 155 |
| Gorąca wietrzna, z małym zachmurzeniem | 18,7 | -10,7 | -12,2 | -23,9 | -4,9 | 36,9 | 146 |
| Upalna bezchmurna, bezwietrzna | 28,3 | -1,8 | -18,6 | -30,1 | -4,4 | 43,6 | 124 |
| Upalna bezchmurna, wietrzna | 24,8 | +2,4 | -11,6 | -21,0 | -4,3 | 60,2 | 90 |

Model MENEX daje także możliwość uzupełnienia prognoz pogody o ocenę warunków biotermicznych (np. informacje dotyczące przewidywanego obciążenia cieplnego organizmu, rodzaju odzieży potrzebnej dla zapewnienia komfortu cieplnego). Charakterystyki te mogą być określane dla osób przebywających w miejscach nasłonecznionych lub zacienionych oraz wietrznych i osłoniętych od wiatru (tab. 15).



Ryc. 17. Przebieg dzienny poszczególnych strumieni ciepła przepływającego pomiędzy człowiekiem a otoczeniem
— Suwalski Park Krajobrazowy, lipiec 1989 (wg Błażejczyka 1993)

Tabela 14. Wartości wskaźników termofizjologicznych charakteryzujących bilans cieplny człowieka, w kąpieliskach nadmorskich Polski i Bułgarii (Błażejczyk i Krawczyk 1994)

| Wskaźnik | Kołobrzeg | | | | Warna | | | |
|--------------------------|-----------------------------------|----------|--------|-------------|---------|----------|--------|-------------|
| | Styczeń | Kwiecień | Lipiec | Październik | Styczeń | Kwiecień | Lipiec | Październik |
| | metabolizm = 70 W m ² | | | | | | | |
| STE (°C) | 10,0 | 19,4 | 32,0 | 24,0 | 13,6 | 27,5 | 33,7 | 30,9 |
| ECI (clo) | 4,7 | 3,6 | 1,4 | 2,9 | 4,3 | 2,4 | 0,7 | 1,7 |
| PSI (W·m ⁻²) | -183 | -128 | -16 | -92 | -160 | -69 | +17 | -33 |
| | metabolizm = 120 W·m ² | | | | | | | |
| STE (°C) | 15,5 | 24,3 | 33,5 | 28,2 | 19,0 | 30,5 | 34,6 | 32,8 |
| ECI (clo) | 3,2 | 2,4 | 0,8 | 1,9 | 2,8 | 1,6 | 0,4 | 1,0 |
| PSI (W·m ⁻²) | -154 | -99 | +13 | -63 | -131 | -40 | +46 | -4 |

Tabela 15. Podstawowe charakterystyki bilansu cieplnego człowieka, które mogą służyć do sformułowania prognozy warunków biotermicznych (Błażejczyk 1993)

| Parametry wymiany ciepła | Miejsce przebywania człowieka | | | | | | | |
|---|---------------------------------|-----|----------|-----|------------|-----|----------|-----|
| | nasłonecznione | | | | zacienione | | | |
| | wietrzne | | zaczysne | | wietrzne | | zaczysne | |
| | metabolizm (W·m ⁻²) | | | | | | | |
| | 70 | 120 | 70 | 120 | 70 | 120 | 70 | 120 |
| | Godziny poranne | | | | | | | |
| Promieniowanie pochłonięte (W·m ⁻²) | 25 | 25 | 29 | 29 | 9 | 9 | 10 | 10 |
| Saldo wymiany ciepła (W·m ⁻²) | -24 | 2 | -14 | 12 | -31 | -4 | -24 | 3 |
| Dominujący strumień ciepła | C | C | C/L | C/L | C | C | C/L | C/L |
| Termoizolacyjność odzieży (clo) | 2,5 | 1,7 | 2,3 | 1,4 | 2,9 | 1,9 | 2,8 | 1,8 |
| | Godziny okołopołudniowe | | | | | | | |
| Promieniowanie pochłonięte (W·m ⁻²) | 32 | 32 | 50 | 50 | 11 | 11 | 18 | 18 |
| Saldo wymiany ciepła (W·m ⁻²) | -3 | 24 | 28 | 54 | 1 | 27 | 15 | 42 |
| Dominujący strumień ciepła | E | E | E | E | C | E | C/E | E |
| Termoizolacyjność odzieży (clo) | 1,0 | 0,7 | 0,9 | 0,9 | 1,4 | 0,9 | 1,0 | 0,8 |

Ogólne warunki meteorologiczne: t — 10°C rano, 23°C w południe, e — 10 hPa rano, 15 hPa w południe, F — 80% rano, 50% w południe, v — 1 m·s⁻¹ w południe, N — Cu, 30% rano, Cu, 60% w południe

Uproszczona opcja modelu, pozwalająca na wyznaczenie przybliżonych wartości strumieni ciepła i salda jego wymiany, jest przydatna w badaniach przestrzennego zróżnicowania warunków klimatycznych w skali lokalnej (patrz rozdz. III.3).

6. Wskaźniki oparte na bilansie cieplnym człowieka

Z niektórych modeli bilansu cieplnego człowieka, poza pełną charakterystyką wymiany ciepła, można wyznaczyć pewne wartości wskaźnikowe mówiące o obciążeniu cieplnym organizmu. Znaczna część tych wskaźników weszła do katalogu norm higienicznych Międzynarodowej Organizacji Standardyzacji. Ogólnie biorąc wskaźniki te można podzielić — w zależności od rodzaju środowiska termicznego, do którego są dostosowane — na następujące grupy:

- dla wysokiej temperatury powietrza (*SWreq*, *HR*, *HSI*),
- dla warunków termoneutralnych (*PMV*, *PPD*, *HR*, *ECI*),
- dla niskiej temperatury powietrza (*IREQ*, *ECI*, *Iclp*).

Jest też grupa wskaźników, które mogą być stosowane w bardzo szerokim zakresie temperatury otoczenia (*Mrt*, *Sp*, *S*, *SW*, *MTE*, *PSI*, *STE*, *SST*).

Wszystkie omówione w tym rozdziale wskaźniki można obliczyć, wykorzystując program BioKlima (zał. 1).

6.1. Wskaźniki stosowane w wysokiej temperaturze powietrza

Jako wysoką należy tutaj rozumieć temperaturę powietrza wyższą od 25°C. W badaniach termofizjologicznych obserwuje się wtedy zwiększoną aktywność gruczołów potowych, wzmoczoną częstotliwość tętna oraz obniżoną ogólną wydolność fizyczną.

6.1.1. Częstotliwość tętna

Jednym z prostszych wskaźników fizjologicznych, który może mieć zastosowanie w badaniach bioklimatycznych, jest *częstotliwość tętna* (*HR* — Heart Rate) wyrażona liczbą uderzeń serca w ciągu minuty. Wartość *HR* może być oszacowana według następującego wzoru (Fuller i Brouha 1966):

$$HR = 22,4 + 0,18 \cdot M + 0,25 \cdot (5 \cdot t + 2,66 \cdot e) \quad [37]$$

Podręczniki fizjologii podają informacje, że prawidłowe tętno wynosi u mężczyzny od 70 do 72 uderzeń na minutę, a u kobiet od 78 do 82 uderzeń na minutę. Wraz ze wzrostem *HR* powyżej tej wartości wzrasta obciążenie układu krwionośnego. Wartością ostrzegawczą *HR* jest 90 uderzeń serca na minutę. Aby nie doprowadzić do przeciążenia ustroju, należy podczas wykonywania pracy monitorować funkcje fizjologiczne organizmu — zwłaszcza aktywność serca i temperaturę wewnętrzną.

6.1.2. Pożądane wydzielanie potu

Podstawowym wskaźnikiem termofizjologicznym stosowanym przy wysokiej temperaturze powietrza jest tzw. *pożądane wydzielanie potu* (SW_{req} — Sweating required). Określa on ilość potu (i jej równoważnik cieplny), który musi być wydzielony na powierzchnię ciała i wyparować z niej, aby zapewnić równowagę cieplną organizmu (ISO 7933). Wskaźnik ten ma następującą postać:

$$SW_{req} = \frac{E_{req}}{r_p} \quad [38]$$

gdzie E_{req} oznacza ewaporacyjne straty ciepła niezbędne dla zachowania równowagi cieplnej organizmu, a r_p — efektywność pocenia się.

Niezbędne ewaporacyjne straty ciepła wyznacza się z równania bilansu cieplnego:

$$E_{req} = M + R + C + L + Res \quad [39]$$

Efektywność pocenia się jest wyznaczana z wzoru:

$$r_p = 1 - 0,5 \cdot w^2 \quad [40]$$

Wartość SW_{req} wyrażona w $W \cdot m^{-2}$ stanowi cieplny ekwiwalent wydzielonego potu; $1 W \cdot m^{-2}$ jest równoważnikiem 1,47 grama potu wydzielonego na $1 m^2$ powierzchni ciała w ciągu 1 godziny. W przypadku tzw. średniego człowieka, o powierzchni skóry równej $1,8 m^2$ (Bligh i Johnson 1973; ISO 7933), jest to równoważnik 2,6 grama potu wydzielonego w ciągu godziny.

W fizjologii przyjmuje się następujące, progowe wartości SW_{req} (ISO 7933):

| Osoba | zaaklimatyzowana | | nie zaaklimatyzowana | |
|---------------------|---------------------------------|---------------|----------------------|---------------|
| | ostrzegawcza | niebezpieczna | ostrzegawcza | niebezpieczna |
| Wartość SW_{req} | (przy $M < 70 W \cdot m^{-2}$) | | | |
| | | | | |
| $W \cdot m^{-2}$ | | | | |
| | $g \cdot godz^{-1}$ | | | |
| $W \cdot m^{-2}$ | (przy $M > 70 W \cdot m^{-2}$) | | | |
| | | | | |
| $g \cdot godz^{-1}$ | | | | |
| | | | | |

6.1.3. Wskaźnik stresu cieplnego

Wskaźnik stresu cieplnego (HSI — Heat Stress Index) (Belding i Hatch 1955) został oparty na odniesieniu parowania niezbędnego dla zachowania równowagi cieplnej (E_{req}) do parowania maksymalnego w danych warunkach meteorologicznych. HSI , wyrażony w procentach, jest liczony według wzoru:

$$HSI = 100 \cdot \frac{E_{req}}{E_{max}} \quad [41]$$

E_{req} wyznacza się z równania bilansu cieplnego. Ewaporacja maksymalna, jaka może wystąpić w danych warunkach meteorologicznych, jest natomiast liczona z wzoru:

$$E_{max} = k \cdot v^{0,6} \cdot (e - 56) \quad [42]$$

gdzie k jest współczynnikiem bezwymiarowym wynoszącym 7,0 dla człowieka ubranego i 11,7 — dla nie ubranego. Za górną granicę ewaporacyjnych strat ciepła przyjmuje się 390 W m^{-2} , co odpowiada wydzielaniu potu w ilości 1 litra na godzinę.

Poszczególnym wartościom HSI są przypisane następujące efekty fizjologiczne (w przypadku ośmiogodzinnej ekspozycji organizmu w danych warunkach otoczenia):

| HSI | Efekt fizjologiczny: |
|-------|---|
| -20 | — łagodny stres chłodu |
| 0 | — brak obciążenia cieplnego |
| 10-30 | — łagodny lub umiarkowany stres ciepła |
| 40-60 | — silny stres ciepła powodujący zagrożenie dla zdrowia w przypadku braku aklimatyzacji |
| 70-90 | — bardzo silny stres ciepła — niezbędne dostarczanie wody i soli mineralnych |
| 100 | — maksymalny stres ciepła tolerowany przez młode, zaaklimatyzowane osoby |
| > 100 | — niebezpieczeństwo podwyższenia temperatury wewnętrznej; czas przebywania w takich warunkach musi być nadzorowany. |

6.2. Wskaźniki stosowane w warunkach termoneutralnych

W środowisku termoneutralnym mogą być stosowane dwa z wyżej omówionych wskaźników, a mianowicie HR i HSI . Poza tym używane są powszechnie dwa inne wskaźniki: *przewidywana średnia ocena* (PMV) i *przewidywany odsetek osób odczuwających dyskomfort* (PPD).

6.2.1. Przewidywana średnia ocena

Wskaźnikiem najczęściej stosowanym w warunkach termoneutralnych, jest tzw. *przewidywana średnia ocena* (PMV — Predicted Mean Vote). Określa on odczucia cieplne człowieka, który może być różnie ubrany i wykazywać różną aktywność fizyczną. Wskaźnik ten powstał w wyniku przekształcenia równania bilansu cieplnego człowieka (Fanger 1974), przy założeniu, że w or-

ganizmie występuje równowaga zysków i strat ciepła. Początkowo wskaźnik *PMV* był stosowany jedynie dla pomieszczeń zamkniętych. G. Jendritzky (1990) zaadaptował ten wskaźnik także dla terenów otwartych. Wskaźnik *PMV* liczony jest według wzoru:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \{M - 0,00305 \cdot (5733 - 6,99 \cdot M - 0,1 \cdot e) - 0,42 \cdot (M - 58,15) - 0,000017 \cdot M \cdot (5867 - 0,1 \cdot e) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot fcl \cdot [(tcl + 273)^4 - (Mrt + 273)^4] - fcl \cdot hc \cdot (tcl - t)\} \quad [43]$$

gdzie:

$$fcl = 1,0 + 0,2 \cdot Icl, \text{ dla } Icl \leq 0,5 \text{ clo}, \quad [44]$$

$$fcl = 1,05 + 0,1 \cdot Icl, \text{ dla } Icl > 0,5 \text{ clo}, \quad [45]$$

$$tcl = 35,7 - 0,0275 \cdot M - 0,155 \cdot Icl \cdot [M - 3,05 \cdot (5,73 - 0,007 \cdot M - 0,1 \cdot e) - 0,42 \cdot (M - 58,15) - 0,0173 \cdot M \cdot (5,87 - 0,1 \cdot e) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t)] \quad [46]$$

Wartościom *PMV* przypisane są następujące oceny odczuć ciepłych człowieka:

| <i>PMV</i> | Odczucie ciepłe: |
|------------|------------------|
| -3 | — zimno |
| -2 | — chłodno |
| -1 | — dość chłodno |
| 0 | — obojętnie |
| +1 | — dość ciepło |
| +2 | — ciepło |
| +3 | — gorąco. |

6.2.2. Przewidywany odsetek osób odczuwających dyskomfort

Wskaźnikiem pochodnym od *PMV* jest *przewidywany odsetek osób odczuwających dyskomfort* termiczny (*PPD* — Predicted Percentage of Dissatisfied). Wskaźnik ten zmienia swoje wartości od 50% przy obojętnych warunkach termicznych (tzn. gdy *PMV* = 0) do 100% w warunkach określanych jako „zimno” lub „gorąco” (gdy *PMV* = -3 lub +3). *PPD* wyznacza się według wzoru:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp - (10,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad [47]$$

6.3. Wskaźniki stosowane przy niskiej temperaturze powietrza

6.3.1. Niezbędna izolacyjność odzieży

W niskiej temperaturze powietrza zachowanie równowagi cieplnej organizmu może nastąpić bądź poprzez zwiększenie aktywności fizycznej, bądź też przez zmianę rodzaju odzieży. W Szwecji opracowano wskaźnik *IREQ* (Insulation Required), określający izolacyjność termiczną odzieży, jaka jest niezbędna do zrównoważenia strat i zysków ciepła (Holmér 1988). Wskaźnik *IREQ* powstał do oceny warunków termicznych panujących w pomieszczeniach zamkniętych. W terenie otwartym może być stosowany jedynie w temperaturze powietrza poniżej 10°C, prędkości wiatru mniejszej od 1 m·s⁻¹ oraz przy braku dopływu promieniowania słonecznego. *IREQ* liczony jest z przekształconego równania bilansu cieplnego człowieka:

$$IREQ = \frac{T_s - t_{cl}}{M + Res + E} \quad [48]$$

Wskaźnik *IREQ* określa się dla dwóch poziomów obciążenia fizjologicznego:

- *IREQ*_{neutral} określa izolacyjność termiczną niezbędną dla zapewnienia równowagi cieplnej przy temperaturze skóry 30°C,
- *IREQ*_{min} określa minimalną izolacyjność termiczną niezbędną do utrzymania równowagi cieplnej przy temperaturze skóry 35°C.

6.3.2. Efektywna izolacyjność odzieży

Innym wskaźnikiem stosowanym w warunkach niskiej temperatury powietrza jest *efektywna izolacyjność odzieży* (*ECI* — Effective Clothing Insulation). Wskaźnik ten wyznacza się z równania bilansu cieplnego człowieka z wykorzystaniem modelu MENEX. *ECI* określa (w clo) izolacyjność termiczną odzieży, jaka jest potrzebna do zrównoważenia się zysków i strat ciepła. Wskaźnik ten może być stosowany wtedy, gdy temperatura powietrza nie przekracza 20°C, zarówno dla stacjonarnych, jak i niestacjonarnych warunków wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem. *ECI* liczy się, przyjmując stałe wartości temperatury skóry (32°C) i metabolizmu (70 W·m⁻²).

Wartościom *ECI* można przypisać następującą ocenę warunków termicznych:

| <i>ECI</i> (clo) | Środowisko termiczne: |
|------------------|-----------------------|
| < 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. |

6.3.3. Przewidywana izolacyjność odzieży

A.C. Burton i O.G. Edholm (1955) zaproponowali wzór pozwalający na przybliżone określenie całkowitej izolacyjności odzieży i otaczającej je cienkiej, przypowierzchniowej warstwy powietrza. Wzór ten ma postać:

$$I_t = \frac{0,082 \cdot [91,4 - (1,8 \cdot t + 32)]}{0,01724 \cdot M} \quad [49]$$

przy czym

$$I_t = I_a + I_{cl} \quad [50]$$

Wykorzystując wzór J. Fourta i N. Holliesa (1970), można wyznaczyć izolacyjność przypowierzchniowej warstwy powietrza:

$$I_a = \frac{1}{0,61 + 1,9 \cdot \sqrt{v}} \quad [51]$$

a następnie określić (w danych warunkach meteorologicznych) *przewidywaną izolacyjność odzieży* (I_{clp} — Insulation Predicted). Wielkość tę wyznacza się z wzoru:

$$I_{clp} = I_t - I_a \quad [52]$$

6.4. Wskaźniki stosowane w różnych warunkach termicznych

Wskaźniki te opierają się na analizie poszczególnych składników bilansu cieplnego człowieka i mogą być stosowane w każdych warunkach termicznych.

6.4.1. Saldo wymiany ciepła

Podstawowym wskaźnikiem termofizjologicznym jest *saldo wymiany ciepła* (S — net heat Storage); może on być zastąpiony przez *przybliżone saldo wymiany ciepła* (S_p — net heat Storage predicted). Wskazuje ono nie tylko na tendencję oraz wielkość i tempo zmian zawartości ciepła w organizmie, ale także na subiektywne odczucia cieplne człowieka. *Saldo wymiany ciepła* jest wyznaczone za pomocą modelu MENEX bądź to poprzez rozwiązanie równania bilansu cieplnego człowieka (S), bądź też — wykorzystanie procedury uproszczonej modelu (S_p) (por. zał. 2). Gdy wartości S lub S_p są wyższe od $90 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ lub niższe od $-90 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, występuje niebezpieczeństwo przegrzania lub przechłodzenia organizmu w ciągu około godziny.

Badania ankietowe przeprowadzone w warunkach letnich w Polsce pozwoliły na przypisanie poszczególnym wartościom S i S_p następujących odczuć cieplnych (Błażejczyk 1993):

| $S, Sp (W \cdot m^{-2})$ | Odczucie cieplne: |
|--------------------------|-------------------|
| < -35,0 | — bardzo zimno |
| -35,0 — -15,1 | — zimno |
| -15,0 — -5,1 | — chłodno |
| -5,0 — 15,0 | — komfortowo |
| 15,1 — 35,0 | — ciepło |
| 35,1 — 55,0 | — gorąco |
| > 55,0 | — bardzo gorąco. |

6.4.2. Dopuszczalny czas przebywania

Wskaźnikiem pochodnym od S i Sp jest *dopuszczalny czas przebywania* (MTE — Maximal Time of Exposure). Określa on czas (w minutach), po którym — przy stałych warunkach termicznych i stałym poziomie wymiany ciepła pomiędzy organizmem a otoczeniem — nastąpi w ustroju człowieka zmiana zawartości ciepła o ± 600 kJ. Zmiana taka pociąga za sobą zmianę temperatury wewnętrznej o $\pm 2^\circ C$, która jest w fizjologii uważana za niebezpieczną dla organizmu. MTE oblicza się według wzoru (Błażejczyk 1993):

$$MTE = \frac{5400}{|S|} \quad [53]$$

lub

$$MTE = \frac{5400}{|Sp|} \quad [54]$$

6.4.3. Obciążenie cieplne organizmu

Łączna analiza salda wymiany ciepła oraz ilości pochłoniętego promieniowania słonecznego pozwala na określenie realnego *obciążenia cieplnego organizmu* (HL — Heat Load). HL jest wskaźnikiem bezwymiarowym liczonym według następujących wzorów:

$$HL = \left(\frac{S + 360}{360} \right) \left(2 - \frac{1}{1 + R} \right) \quad [55]$$

dla $S < 0$

lub

$$HL = \left(\frac{S + 360}{360} \right) \left(2 + \frac{1}{1 + R} \right) \quad [56]$$

dla $S > 0$.

Wartości HL wskazują na występowanie stresu zimna lub ciepła o następującym natężeniu:

| | |
|-------------|---|
| <i>HL</i> | Obciążenie cieplne: |
| < 0,750 | — bardzo duży stres zimna (niebezpieczeństwo wychłodzenia organizmu) |
| 0,751-0,810 | — duży stres zimna |
| 0,811-0,870 | — umiarkowany stres zimna |
| 0,871-0,930 | — mały stres zimna |
| 0,931-0,970 | — bardzo mały stres zimna |
| 0,971-1,080 | — warunki termoneutralne |
| 1,081-1,185 | — bardzo mały stres ciepła |
| 1,186-1,415 | — mały stres ciepła |
| 1,416-1,600 | — umiarkowany stres ciepła |
| 1,601-1,750 | — duży stres ciepła |
| > 1,750 | — bardzo duży stres ciepła (niebezpieczeństwo przegrzania organizmu). |

6.4.4. Straty wody

Znając wartość rzeczywistych strat ciepła na parowanie potu (E , wyznaczone z użyciem modelu MENEX), można obliczyć *straty wody z organizmu* (SW , w $g \cdot godz^{-1}$). SW liczy się według wzoru (Błażejczyk 1993):

$$SW = -2,6 \cdot E \quad [57]$$

Progowe wartości SW są zależne od stopnia zaaklimatyzowania i stanu aktywności fizycznej człowieka:

| | Aktywność fizyczna: | |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | $M < 70 W \cdot m^{-2}$ | $M > 70 W \cdot m^{-2}$ |
| Osoba zaaklimatyzowana: | | |
| wartość ostrzegawcza SW | 520 | 780 |
| wartość niebezpieczna SW | 780 | 1040 |
| Osoba nie zaaklimatyzowana: | | |
| wartość ostrzegawcza SW | 260 | 520 |
| wartość niebezpieczna SW | 390 | 650 |

6.4.5 Temperatura skóry bilansująca wymianę ciepła

Rozpatrując bilans cieplny człowieka w warunkach stacjonarnych, zakłada się bilansowanie wymiany ciepła w okresie co najmniej doby. Do rozważań przyjmuje się średnie (za dobę, miesiąc, rok) wartości elementów meteorologicznych. Równowagę pomiędzy zyskami i stratami ciepła uzyskuje się najczęściej poprzez zmianę temperatury skóry. Wartość *temperatury skóry bilansującej wymianę ciepła* jest wskaźnikiem odczuć cieplnych (STE — Skin Temperature Equilibrating heat balance). STE wyznacza się z użyciem modelu MENEX, przyjmując stałą wartość izolacyjności termicznej odzieży (1 clo).

Do oceny odczuć cieplnych człowieka można zastosować skalę opracowaną przez de Freitas (1990):

| STE (°C) | Odczucie cieplne: |
|-----------|------------------------|
| < 21,1 | — bardzo zimno |
| 21,1-25,9 | — zimno |
| 26,0-29,0 | — chłodno |
| 29,1-30,8 | — umiarkowanie chłodno |
| 30,9-32,2 | — komfortowo |
| 32,3-33,3 | — umiarkowanie ciepło |
| 33,4-34,4 | — ciepło |
| 34,5-35,2 | — gorąco |
| > 35,2 | — bardzo gorąco. |

6.4.6. Potencjalne saldo wymiany ciepła

Badając bilans cieplny człowieka w warunkach stacjonarnych można, do oceny odczuć cieplnych człowieka, zastosować także *potencjalne saldo wymiany ciepła* (PSI — Potential Storage Index). PSI charakteryzuje hipotetyczną wartość salda wymiany ciepła, jaka występuje przy stałych wartościach: temperatury skóry (32°C), termoizolacyjności odzieży (1 clo) oraz metabolizmu (70 W·m⁻²). Wskaźnik ten liczony jest z wykorzystaniem modelu MENEX.

Poszczególным wartościom PSI można za de Freitasem (1990) przypisać poniższe odczucia cieplne ludzi:

| PSI (W·m ⁻²) | Odczucie cieplne: |
|--------------------------|------------------------|
| < -282 | — bardzo zimno |
| -281 — -185 | — zimno |
| -184 — -111 | — chłodno |
| -110 — -50 | — umiarkowanie chłodno |
| -49 — +16 | — komfortowo |
| 17-83 | — umiarkowanie ciepło |
| 84-161 | — ciepło |
| 162-307 | — gorąco |
| 307 | — bardzo gorąco. |

6.4.7. Ekwiwalent temperatury standardowej

Do przybliżonej oceny warunków termicznych odczuwanych przez człowieka można zastosować tzw. *ekwiwalent temperatury standardowej* (SST — Still Shade Temperature), 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 liczy się zatem według wzoru:

$$SST = t + TRI - TWD$$

Wartość TRI liczy się następująco:

$$TRI = 0,42 \cdot (1 - 0,009 \cdot N) \cdot (100 - \alpha) \cdot I_a \quad [59]$$

a wartość TWD na podstawie wzoru:

$$TWD = 0,15673 \cdot M \cdot (1 - I_a) \quad [60]$$

6.4.8. Średnia temperatura promieniowania

Średnia temperatura promieniowania (Mrt — Mean radiant temperature) charakteryzuje temperaturę powierzchni ciała, jaka kształtuje się w wyniku działania promieniowania cieplnego otoczenia oraz pochłoniętego przez tkanke skórną promieniowania słonecznego. Mrt w warunkach bezwietrznych może być obliczona według następującego wzoru (Błażejczyk i Kozłowska-Szczęсна 1996):

$$Mrt = \left[\frac{ctgh(0,17 - 0,001 \cdot h) K_{ir} + 0,25 K_{dl} + (0,34 - 0,003 \cdot h) K_{ref}}{s \sigma} (1 - 0,01 \cdot \alpha) + (t + 273)^4 \right]^{0,25} - 273 \quad [61]$$

Im wyższa jest *średnia temperatura promieniowania*, tym większe jest obciążenie cieplne organizmu człowieka. Brak jest niestety dotychczas badań wiążących w sposób ilościowy wartości Mrt z konkretnymi odczuciami cieplnymi człowieka.

7. Ogólny model oceny warunków bioklimatycznych

Ocena warunków stałego lub czasowego przebywania człowieka w danym miejscu oraz ocena warunków jego pracy jest jednym z głównych zadań w badaniach bioklimatycznych. Mają one z jednej strony na celu wytypowanie miejsc o najkorzystniejszych warunkach bioklimatycznych, z drugiej zaś — określenie, jakie okresy w ciągu roku są najbardziej sprzyjające dla człowieka. Przedstawione cele oceny warunków bioklimatycznych można zrealizować różnymi metodami (Błażejczyk 1983). Ogólnie biorąc, metody oceny warunków bioklimatycznych, jak i całego środowiska geograficznego, można podzielić na: opisowe, bonitacyjne i modelowe.

Metody opisowe są chronologicznie najstarszymi metodami oceny środowiska. Podają one ocenę w formie tekstu, ilustrowanego często przykładami liczbowymi. Opisowa ocena warunków bioklimatycznych jest stosowana także obecnie. Większość bioklimatycznych monografii uzdrowisk ma właśnie taki charakter.

Metody bonitacyjne mają w porównaniu z opisowymi tę zaletę, że posługując się odpowiednio skonstruowaną skalą punktową, ocenia się przydatność danego elementu środowiska geograficznego, w tym także warunków bioklimatycznych, dla określonych potrzeb. Obok niewątpliwych zalet, metody te mają też pewne wady. Na przykład, przyjmowanie przedziałów elementów meteorologicznych czy wskaźników biometeorologicznych, scharakteryzowanych przez jedną wartość punktową, nie zawsze jest wskazane. Skale punktowe obejmują też niekiedy mało precyzyjne określenia, np. dolina inwersyjna, zbocze nasłonecznione (Siemiątkowska i Kaczmarska 1968; Czarnecki 1970).

W przypadku metod modelowych chodzi o wybranie lub stworzenie takiego modelu, który najpełniej scharakteryzuje funkcjonowanie środowiska geograficznego. Przez model należy rozumieć pewnego rodzaju schemat (logiczny, graficzny, matematyczny lub fizyczny), w którym uwzględnia się możliwie jak najwięcej zmiennych charakteryzujących dane zjawisko, proces czy też zagadnienie (*Models...* 1968; Kostrowicki 1970; Warszńska 1971; Bartkowski 1972; Błażejczyk 1979, 1980, 1983).

7.1. Kryterium i ogólny model oceny

Podstawowym kryterium oceny warunków bioklimatycznych winna być przydatność poszczególnych elementów środowiska geograficznego do przebywania i pracy człowieka oraz dla lecznictwa klimatycznego, wypoczynku czy turystyki. Ważną rolę w tym zakresie odgrywają takie elementy środowiska geograficznego, jak: klimat, warunki sanitarne powietrza, rzeźba terenu i zagospodarowanie terenu.

Biorąc pod uwagę złożony charakter środowiska geograficznego, jego ilościowo-jakościową strukturę, do oceny warunków bioklimatycznych można wykorzystać dwa modele. Podstawowym modelem jest model funkcji wykładniczej:

$$y = x^z \quad [62]$$

W modelu tym podstawa funkcji (x) charakteryzuje ilościowe cechy danego elementu środowiska geograficznego, natomiast wykładnik (z) — jego cechy jakościowe. Wartości y zmieniają się w przedziale od 0 do 1, przy czym wartość 0 oznacza całkowity brak korzystnych cech środowiska, a 1 — stan idealny, nie stwarzający żadnych przeszkód w przebywaniu człowieka na wolnym powietrzu. Aby przyjęty wyżej warunek mógł być spełniony, wartości x muszą także znajdować się w obszarze zmienności od 0 do 1, z może natomiast przyjmować dowolne wartości od 0 do $+\infty$: $z < 1$ będzie zwiększało wartości x , a $z > 1$ — zmniejszało. Przy $z = 0$ (to znaczy przy maksymalnie korzystnych cechach jakościowych) funkcja przyjmuje wartość 1, bez względu na wartość x .

Do oceny parametrów ilościowych i jakościowych cząstkowych wskaźników oceny można posłużyć się również fizycznym modelem opartym na prawie Ohma:

$$y_i = \frac{P_i}{O_i} \quad [63]$$

gdzie y_i oznacza wartość danego parametru oceny. Jako potencjał (P_i) traktuje się korzystne cechy środowiska, a jako opór (O_i) — takie warunki, które utrudniają lub wręcz uniemożliwiają dłuższe przebywanie na wolnym powietrzu (Kostrowicki 1970; Błażejczyk 1980, 1983). Przy stosowaniu podanego wyżej modelu zachodzi konieczność takiego doboru wartości liczbowych, aby w przypadku cech ilościowych wartość y_i zawierała się w przedziale od 0 do 1. W odniesieniu do cech jakościowych jako korzystne określone są takie warunki, w których $y_i > 1$. Łącząc powyższy model z modelem funkcji wykładniczej, należy więc przyjąć dla cech jakościowych $z = 1/y_i$. Tak więc ostateczny model oceny warunków bioklimatycznych ma postać:

$$y = \left(\frac{P_x}{O_x} \right) \left(\frac{O_z}{P_z} \right) \quad [64]$$

gdzie: P_x — potencjał cech ilościowych, O_x — opór cech ilościowych, P_z — potencjał cech jakościowych, O_z — opór cech jakościowych.

Model ten został wykorzystany do oceny przydatności środowiska geograficznego dla lecznictwa klimatycznego w 19 uzdrowiskach polskich, położonych w różnych regionach fizycznogeograficznych (Błażejczyk 1983).

7.2. Przykłady cząstkowych modeli oceny niektórych elementów środowiska geograficznego

Przedstawione poniżej przykłady cząstkowych modeli oceny niektórych elementów środowiska geograficznego zostały zaczerpnięte z pracy K. Błażejczyka (1983), dotyczącej uzdrowisk polskich. Do cząstkowych modeli oceny można oczywiście wprowadzić inne wielkości (cechy) niż w podanych przykładach. Wybór użytych wielkości (cech) zależy w każdym przypadku od posiadanych informacji o środowisku geograficznym.

7.2.1. Ocena warunków klimatycznych i bioklimatycznych

W przypadku warunków klimatycznych cechami ilościowymi oceny jest częstość występowania w danym miesiącu (lub w innym odcinku czasowym) poszczególnych grup przydatności pogody (por. rozdz. II.4.3). Jako potencjał (P_x) traktuje się częstość korzystnych, a jako opór (O_x) — częstość niekorzystnych typów pogody:

$$x = \frac{cA_1 + 0,75 \cdot cA_2 + 0,5 \cdot cA_3 + 0,2 \cdot cA_4}{1 + cC} \quad [65]$$

Cechy jakościowe warunków klimatycznych określić można parametrami zmienności pogody z dnia na dzień. Służy do tego poniższa formuła:

$$z = \frac{1 + i_d}{1 + i_m} \cdot \frac{1 + s_d}{1 + s_m} \cdot \frac{1 + P_C}{1 + P_A} \quad [66]$$

Po podstawieniu poszczególnych członów (x , z) do modelu ogólnego ostateczny wzór na określenie bezwymiarowego *wskaźnika oceny warunków klimatycznych (Kl)* przyjmuje postać:

$$Kl = \left(\frac{cA_1 + 0,75 \cdot cA_2 + 0,5 \cdot cA_3 + 0,2 \cdot cA_4}{1 + cC} \right) \left(\frac{1 + i_d}{1 + i_m} \cdot \frac{1 + s_d}{1 + s_m} \cdot \frac{1 + P_C}{1 + P_A} \right) \quad [67]$$

Wartościom wskaźnika *Kl* przypisana jest następująca ocena warunków klimatycznych:

| <i>Kl</i> | Warunki klimatyczne: |
|-------------|----------------------|
| < 0,200 | — niekorzystne |
| 0,201-0,400 | — mało korzystne |
| 0,401-0,600 | — przeciętne |
| 0,601-0,800 | — korzystne |
| > 0,801 | — bardzo korzystne. |

Do zaprezentowanej ogólnej postaci modelu oceny można zamiast przyjętych charakterystyk warunków pogodowych zastosować inne parametry ilościowe i jakościowe klimatu (np. częstość dni z charakterystycznymi temperaturami ekstremalnymi, dni z opadem, dni parne, dni z silnymi wiatrami oraz ich zmienność). Wymaga to jednak odpowiedniego przekonstruowania podanych powyżej klas oceny.

7.2.2. Ocena rzeźby terenu

Do bioklimatycznej oceny rzeźby terenu mogą być użyte mapy rozkładu względnych wartości bezpośredniego promieniowania słonecznego. Na względne wartości bezpośredniego promieniowania Słońca w różnych częściach terenu wpływają ekspozycja i nachylenie zboczy (por. rozdz. III.2.2). Mapy takie winny być wykonane zarówno dla poszczególnych miesięcy, jak i dla wartości średnich rocznych (Strużka 1959; Kozłowska-Szczęsna, red., 1985; Styszyńska 1995).

Cechą ilościową *wskaźnika oceny rzeźby terenu (Rt)* jest średnia ważona wartość względna bezpośredniego promieniowania słonecznego (wyrażona w częściach jedności) dla badanego obszaru. Jako cechy jakościowe można traktować udział terenów o promieniowaniu bezpośrednim mniejszym lub większym od padającego na powierzchnię poziomą.

Formuła oceny rzeźby terenu (Rt) ma postać:

$$Rt = \left[0,005 \cdot \sum_{i=1}^n (Nw_i \cdot s_i) \right] \left(\frac{1 + Nw_{<0}}{1 + Nw_{>0}} \right) \quad [68]$$

gdzie: Nw_i — środek i -tego przedziału wartości bezpośredniego promieniowania Słońca (w %), s_i — udział terenów i -tego przedziału względnego bezpośredniego promieniowania Słońca w powierzchni badanego obszaru, n — przyjęta liczba przedziałów promieniowania słonecznego, $Nw_{<0}$, $Nw_{>0}$ — udział terenów o promieniowaniu bezpośrednim Słońca mniejszym lub większym od padającego na powierzchnię poziomą.

Wartości bezwymiarowego wskaźnika Rt można pogrupować w przedziały o różnej przydatności rzeźby terenu:

| Rt | Rzeźba terenu: |
|---------------|---------------------|
| $< 0,250$ | — niekorzystna |
| $0,251-0,500$ | — mało korzystna |
| $0,501-0,750$ | — przeciętna |
| $0,751-0,850$ | — korzystna |
| $> 0,851$ | — bardzo korzystna. |

7.2.3. Ocena zagospodarowania terenu

Podstawą bioklimatycznej oceny zagospodarowania terenu winny być mapy zagospodarowania terenu. Na mapach tych, jako główne elementy, należy wyznaczyć zasięgi zwartej budowy miejskiej i przemysłowej oraz zasięgi obszarów porośniętych przez roślinność wysoką (lasy, parki, sady). Jako potencjał cech ilościowych *wskaźnika oceny zagospodarowania terenu* (Zt) należy traktować udział w ogólnej powierzchni stref zieleni wysokiej (Zw), a jako opór — udział zwartej zabudowy miejskiej i przemysłowej (Zm). Za potencjał cech jakościowych można uznać występowanie strefy o zwiększonej zawartości w powietrzu aerozolu morskiego (współczynnik Am), a jako opór cech jakościowych przyjąć współczynnik zanieczyszczenia powietrza (Zp).

Wzór bezwymiarowego *wskaźnika oceny zagospodarowania terenu* (Zt) ma postać:

$$Zt = \left(\frac{Zw}{1 + Zm} \right) \left(\frac{Zp}{Am} \right) \quad [69]$$

Współczynnik Am dotyczy jedynie miejscowości nadmorskich oraz tych, gdzie znajdują się teżnie rozpylające aerozol solankowy (Ciechocinek, Inowrocław, Konstancin); w pozostałych miejscowościach $Am = 1$. Współczynnik Am liczony jest według wzoru:

$$Am = \frac{1}{1 - Sa} \quad [70]$$

gdzie S_a oznacza udział powierzchni strefy o zwiększonej zawartości w powietrzu aerozolu morskiego w ogólnej powierzchni danej miejscowości.

Współczynnik charakteryzujący zanieczyszczenie powietrza (Z_p) jest zależny od rocznej sumy opadającego pyłu oraz od zmian opadu pyłu w przebiegu rocznym. Można uznać, że opad pyłu powyżej $100 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ znacznie osłabia walory bioklimatyczne miejscowości. Jeśli chodzi o sezonowe zmiany ilości opadającego pyłu, to — biorąc pod uwagę średnie wartości sum miesięcznych i sum rocznych dla 19 miejscowości — przyjęto następujące wagi dla kolejnych miesięcy: styczeń — 0,79, luty — 0,82, marzec — 1,00, kwiecień — 1,10, maj — 1,18, czerwiec — 1,19, lipiec — 1,17, sierpień — 1,15, wrzesień — 1,03, październik — 1,07, listopad — 0,89, grudzień — 0,74 (Błażejczyk 1983). Współczynnik Z_p wyznacza się następująco:

$$Z_p = 0,01 \cdot (\text{opad pyłu}) \cdot (\text{waga zależna od miesiąca}) \quad [71]$$

Gdy wartość Z_p jest mniejsza od 1, należy przyjąć $Z_p = 1$.

Uzyskane wartości wskaźnika Z_t można pogrupować w przedziały o różnej przydatności zagospodarowania terenu:

| Z_t | Zagospodarowanie terenu: |
|-------------|--------------------------|
| < 0,200 | — niekorzystne |
| 0,201-0,300 | — mało korzystne |
| 0,301-0,400 | — przeciętne |
| 0,401-0,500 | — korzystne |
| > 0,501 | — bardzo korzystne. |

7.2.4. Kompleksowa ocena warunków bioklimatycznych

W kształtowaniu warunków życia człowieka udział biorą trzy główne elementy środowiska geograficznego: klimat, zagospodarowanie terenu i rzeźba terenu. Podstawowe znaczenie mają jednak dwa pierwsze elementy. W przypadku rzeźby terenu na wartość wskaźnika oceny (R_t) poza czynnikami lokalnymi (ekspozycja i nachylenie zboczy), wpływają także czynniki astronomiczne i geograficzne. Dlatego też do kompleksowej oceny warunków bioklimatycznych przyjmuje się wartość równą połowie R_t . Formuła bezwymiarowego wskaźnika kompleksowej oceny warunków bioklimatycznych (B_k) ma postać:

$$B_k = \frac{K_1 + Z_t + 0,5 \cdot R_t}{3} \quad [72]$$

Wartości wskaźnika B_k można pogrupować w przedziały o różnej przydatności warunków bioklimatycznych dla człowieka (Błażejczyk 1983).

| B_k | Warunki bioklimatyczne: |
|---------|-------------------------|
| < 0,175 | — niekorzystne |

| | |
|-------------|---------------------|
| 0,176-0,317 | — mało korzystne |
| 0,318-0,459 | — przeciętne |
| 0,460-0,574 | — korzystne |
| ≥ 0,575 | — bardzo korzystne. |

Dzięki zastosowaniu powyższego modelu uzyskano obiektywną ocenę warunków bioklimatycznych. Wskaźniki oceny otrzymane dla różnych miejscowości są ze sobą porównywalne. Metoda ta pozwala także na dokładne określenie zmienności walorów środowiska geograficznego w przebiegu rocznym i wydzielenie okresów o różnej przydatności dla człowieka. Daje ona również możliwość badania wieloletnich zmian warunków bioklimatycznych w danej miejscowości. Stosując identyczne kryteria, można dokonać oceny walorów środowiska geograficznego miejscowości w różnych przekrojach czasowych i dzięki temu poznać tendencję przemian wywołanych głównie urbanizacyjną działalnością człowieka.

Część III

BADANIA ZRÓŻNICOWANIA PRZESTRZENNEGO WARUNKÓW. BIOKLIMATYCZNYCH

W poprzedniej części książki omówiono metody opracowywania i praktycznego wykorzystania danych obserwacyjnych pochodzących ze stacji meteorologicznych sieci państwowej, a także z pomiarów własnych. Analiza taka pozwala przede wszystkim na ogólne poznanie bioklimatu badanego obszaru, wyznaczenie sezonów klimatoterapeutycznych i wypoczynkowych. Jednakże dla racjonalnego wykorzystania właściwości bioklimatu konieczne jest także zbadanie jego zróżnicowania przestrzennego. Metody badania zróżnicowania przestrzennego klimatu i bioklimatu można podzielić na dwie grupy:

- metody pomiarowe,
- metody kameralne.

Poniżej zostaną przedstawione metody służące do badań bioklimatycznych prowadzonych zarówno w skali lokalnej (topoklimatycznej), jak i regionalnej (mezoklimatycznej).

1. Metody pomiarowe

1.1. Cel i zakres badań

Pomiary terenowe różnych elementów meteorologicznych i wskaźników biometeorologicznych pozwalają na poznanie lokalnych warunków bioklimatycznych w różnych typach środowiska geograficznego. Chodzi głównie o zbadanie zróżnicowania przestrzennego tych elementów i wskaźników, które dają istotne wskazówki zarówno co do możliwości dłuższego przebywania człowieka w tych środowiskach, jak i prawidłowego zagospodarowania badanego obszaru.

Zakres badań winien więc obejmować pomiary podstawowych elementów meteorologicznych, takich jak: promieniowanie słoneczne, temperatura i wilgotność powietrza, prędkość wiatru, temperatura podłoża, a także wskaźników biometeorologicznych, jak np. *wielkość ochładzająca powietrza* i *wskaźnik*

odczucia ciepła. Należy również prowadzić obserwacje wielkości i rodzaju zachmurzenia oraz zjawisk meteorologicznych (np. mgła, burza, opad itp.). Wyniki badań terenowych mogą służyć do obliczenia innych wskaźników biometeorologicznych oraz składników bilansu cieplnego człowieka.

Innym, rzadziej podejmowanym, celem badań terenowych jest poznanie zmienności w czasie warunków meteorologicznych. Posterunki pomiarowe są zakładane w miejscowościach, gdzie nie ma stacji sieci państwowej, na okres co najmniej kilku miesięcy, a niekiedy nawet kilku lat. Zakres pomiarów jest zbliżony do obserwacji prowadzonych na stacjach Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

1.2. Organizacja badań

Zależnie od konfiguracji i wielkości terenu badań oraz od liczby i rodzaju posiadanej aparatury pomiarowej, a także liczby obserwatorów, można zastosować jeden z kilku sposobów rozmieszczenia stanowisk pomiarowych. Ogólnie biorąc, winny one być tak usytuowane, aby reprezentowały możliwie wszystkie albo co najmniej najpowszechniej występujące, typy środowiska geograficznego na danym terenie (Kozłowska-Szczęśna, red., 1985).

W terenach o wyraźnej, zróżnicowanej rzeźbie lub też o pasmowym ułożeniu różnych typów środowiska geograficznego (np. doliny górskie, wybrzeże morskie i jeziorne) punkty pomiarowe można rozmieścić wzdłuż wytyczonych profili. W miarę możliwości powinny one być zlokalizowane nad jednakową powierzchnią czynną (najlepiej nad trawą o wysokości 5-10 cm). Na obszarach o małym zróżnicowaniu rzeźby terenu oraz tam, gdzie nie występuje pasmowa struktura środowiska geograficznego, a także w górach (poza wyraźnie zaznaczonymi dolinami) stanowiska pomiarowe zakłada się po dokładnym rozpoznaniu miejscowych warunków środowiskowych (stosunków wodnych, rodzaju podłoża, szaty roślinnej, użytkowania terenu). Punkty pomiarowe nie muszą być rozmieszczone równomiernie na badanym obszarze, ale powinny reprezentować możliwie jak najwięcej charakterystycznych typów środowiska geograficznego (fot. 2).

Organizacja pomiarów jest w dużej mierze zależna od celu i zakresu prowadzonych obserwacji. Istnieje kilka sposobów prowadzenia pomiarów w terenie: synchronicznie, przemienne (wahadłowo) lub patrolowo.

Pomiary synchroniczne polegają na jednoczesnym wykonywaniu obserwacji na wszystkich założonych stanowiskach. Obserwacje należy wykonywać w regularnych odstępach czasu (nie rzadziej niż co godzinę). Pomiar poszczególnych elementów meteorologicznych i wskaźników biometeorologicznych wykonywane są na każdym stanowisku w ściśle określonej kolejności, dokładnie o tej samej godzinie (w czasie dni o zmiennym zachmurzeniu — wtedy, gdy nie dysponujemy ciągłą rejestracją danych — nawet minutowe różnice w rozpoczęciu obserwacji mogą prowadzić do nieporównywalności uzyskanych wyników, zwłaszcza natężenia promieniowania słonecznego i wielkości ochładzającej powietrza).

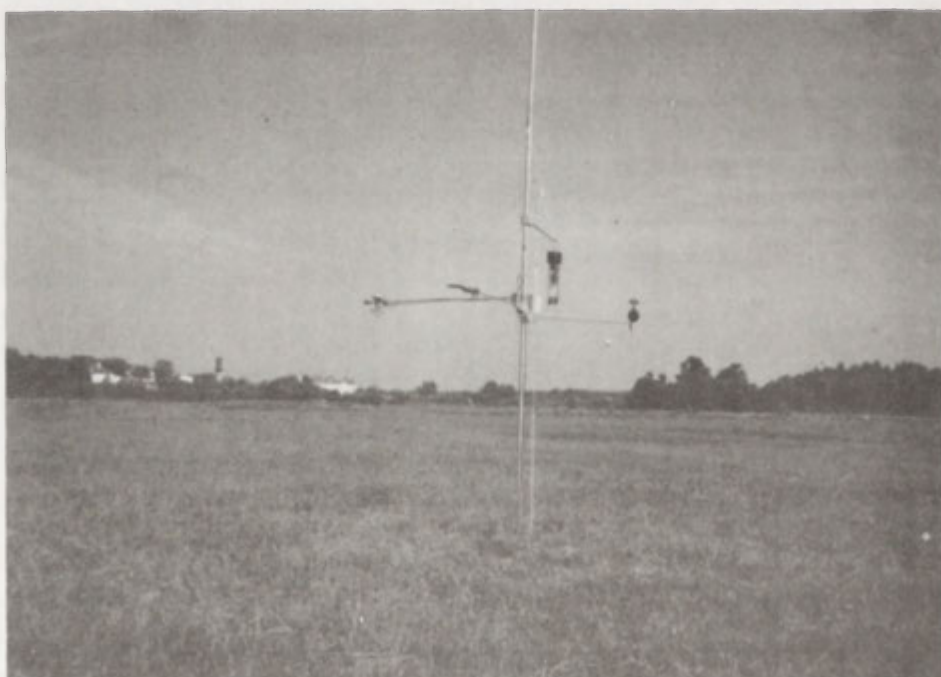
Pomiary synchroniczne są najlepszym sposobem badań terenowych. Do prowadzenia ich potrzebna jest, jak już wspomniano, odpowiednia liczba sprzętu i obserwatorów. W przypadku gdy warunki te nie mogą być spełnione, należy zastosować inne sposoby prowadzenia badań.

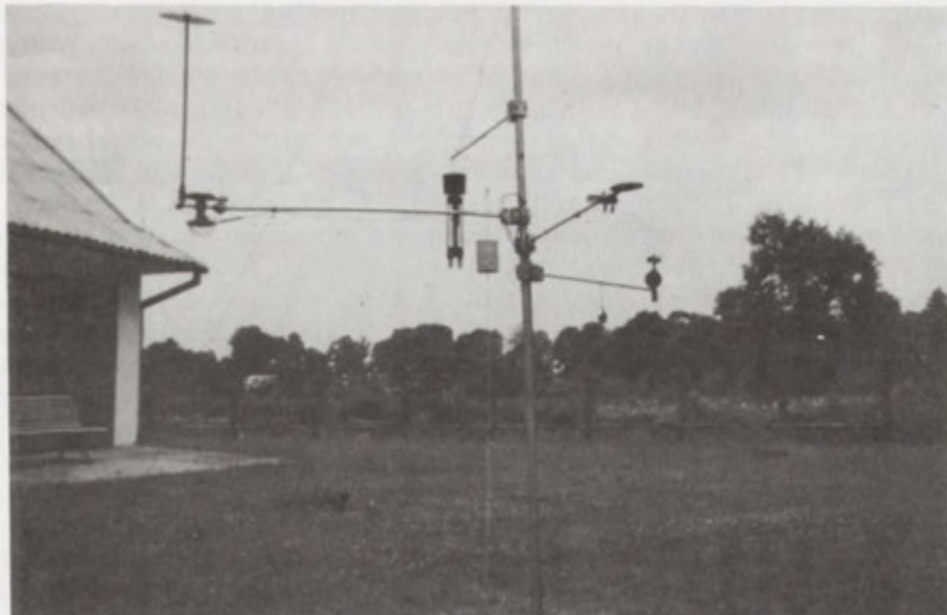
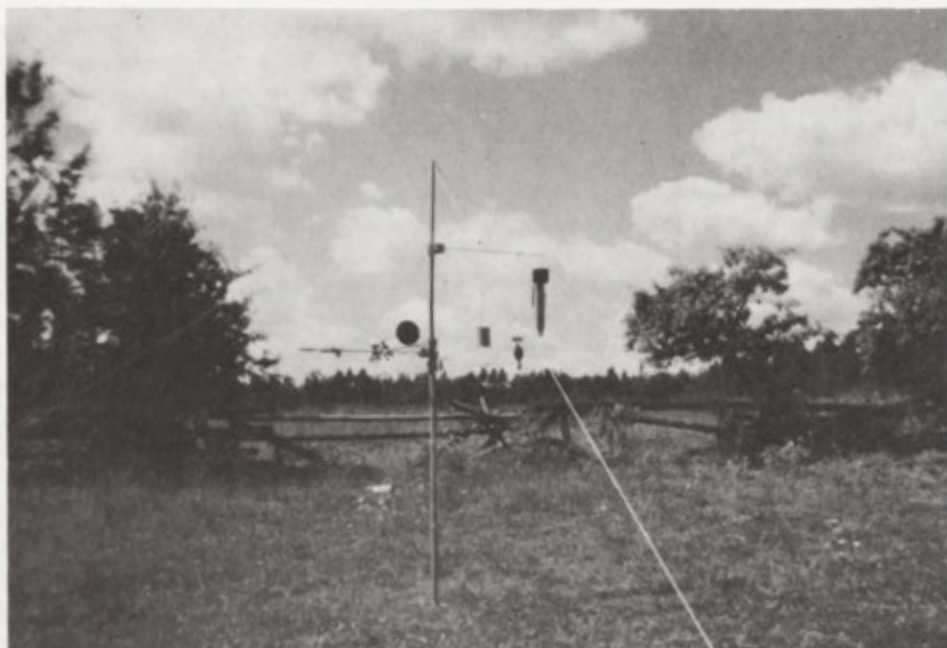
Jednym z nich są **pomiary przemienne**, polegające na tym, że w ciągu całego okresu badań działają w sposób ciągły 1-2 stanowiska. Na pozostałych punktach pomiary prowadzone są przemiennie, np. co drugą godzinę lub co drugi dzień. Wyniki uzyskane na poszczególnych stanowiskach, działających w systemie przemiennym, nie mogą być bezpośrednio porównywane między sobą. Konieczne jest porównanie ich względnych wartości (lub odchyżeń) w stosunku do zanotowanych na stacji bazowej.

Ostatnim z powszechnie stosowanych sposobów prowadzenia badań terenowych są **pomiary patrolowe**. Wykonuje się je w przypadku, gdy dysponuje się tylko 1-2 zestawami przyrządów lub 1-2 obserwatorami, a jednocześnie zróżnicowane środowisko geograficzne danego obszaru wymaga większej liczby stanowisk obserwacyjnych. Możliwe są dwie wersje prowadzenia pomiarów patrolowych. W pierwszym przypadku zakładamy jedną stację bazową, na której wykonuje się w regularnych, ustalonych odstępach czasu pełny zakres pomiarów. Z drugim zestawem pomiarowym przenosimy się na kolejne punkty pomiarowe i o oznaczonych godzinach prowadzimy obserwacje elementów i zjawisk meteorologicznych. Porównanie wyników pomiarów odbywa się poprzez odniesienie ich do danych ze stacji bazowej. W drugim przypadku, gdy dysponujemy jedynie jednym zestawem przyrządów, punkty pomiarowe winny tworzyć zamknięty ciąg. Obserwacje wykonuje się w wyznaczonych miejscach w regularnych, ściśle określonych odstępach czasu. Pomiar w punkcie początkowym powtarza się po zakończeniu całego ciągu. Należy przy tym pamiętać, że pomiary patrolowe winny się odbyć w stosunkowo krótkim czasie i w porze dnia o najmniejszych zmianach mierzonych elementów meteorologicznych (godziny 10-15). Wyniki pomiarów patrolowych zawsze dają wyrywkowe informacje o zróżnicowaniu topoklimatycznym terenu i dlatego winny być wykonywane tylko w wyjątkowych przypadkach.

1.3. Lokalny wpływ środowiska geograficznego na warunki klimatyczne i bioklimatyczne

Wyniki badań terenowych tylko w nielicznych przypadkach pozwalają na opracowanie map rozkładu poszczególnych elementów meteorologicznych czy wskaźników biometeorologicznych. Rzadko bowiem dysponujemy aż tak gęstą siecią punktów, która pozwoliłaby na wykonanie tego rodzaju map. Badania te dają jednak wiele cennych informacji o wpływie różnych komponentów środowiska geograficznego na wartości poszczególnych elementów meteorologicznych. Wyniki takich badań pozwalają na opracowanie szeregu empirycznych modeli (schematów) określających wartości temperatury, wilgotności powietrza, prędkości i kierunku wiatru itp. w różnych typach środowiska





Fot. 2. Przykład lokalizacji topoklimatycznych stanowisk pomiarowych na obszarze Supraśla (tło topograficzne miejscowości znajduje się na ryc. 18); stanowiska reprezentują główne typy rzeźby i zagospodarowania terenu: a — wysoczyzna, b — dno rozległej doliny, c — polana śródleśna, d — zabudowa miejska; stanowiska reprezentują główne typy rzeźby i zagospodarowania terenu

geograficznego (modele te zostaną przedstawione w dalszej części rozdziału). Tytułem wprowadzenia do dalszych rozważań zostanie pokrótce omówiony wpływ różnych elementów środowiska geograficznego (rzeźby terenu, szaty roślinnej, rodzaju podłoża i zagospodarowania terenu) na podstawowe elementy meteorologiczne i wskaźniki biometeorologiczne. Wszelkie, zamieszczone poniżej, porównania ich wartości odnoszą się do płaskiego, otwartego terenu, porośniętego trawą o wysokości około 10 cm.

Rzeźba terenu. Poszczególne formy i elementy rzeźby terenu w różny sposób modyfikują warunki klimatyczne. Promieniowanie słoneczne osiąga największe natężenie i sumy na zboczach o ekspozycji południowej, południowo-zachodniej i południowo-wschodniej. Zmniejszone wartości promieniowania słonecznego obserwuje się na zboczach o wystawie północnej, północno-wschodniej i północno-zachodniej. W dolnych partiach zboczy i w dnach wąskich, głęboko wciętych dolin dopływ promieniowania słonecznego jest zmniejszony na skutek dużego zakrycia horyzontu przez okoliczne wzniesienia.

Z promieniowaniem słonecznym skorelowane są wartości temperatury powietrza. Uprzywilejowane termicznie są zbocza południowe; zbocza północne charakteryzują się natomiast niższą temperaturą niż tereny płaskie. Z najbardziej kontrastowymi warunkami termicznymi należy liczyć się w dnach obniżeni. W dzień często występuje tu temperatura najwyższa, a nocą — najniższa na danym terenie. Amplitudy dobowe temperatury są tu więc największe. Często obserwuje się w obniżeniach terenu inwersje temperatury powietrza.

Rzeźba terenu w istotny sposób modyfikuje kierunek i prędkość wiatru. Wiatry najsilniejsze obserwuje się w górnych partiach zboczy i na stokach dowietrznych. Na zboczach odwietrznych są one niewielkie. Na każde 100 m wzniesienia prędkość wiatru w warstwie przygruntowej zwiększa się w przybliżeniu o $1-1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Porównując doliny o różnej wielkości B. Krawczyk i K. Błażejczyk (1982) stwierdzili, że silniejsze wiatry wieją w dolinach szerokich niż wąskich, przy czym w każdym przypadku przeważają wiatry wiejące wzdłuż osi dolin.

Wielkość ochładzająca powietrza (H) jest ważnym, mierzonym w terenie, wskaźnikiem biometeorologicznym. Na jej wartość w dużym stopniu wpływa ruch powietrza. Dlatego też można stwierdzić, że wartości *H* są wprost proporcjonalne do przedstawionych wyżej zmian prędkości wiatru. Stwierdzono (Krawczyk i Błażejczyk 1982), że dna dolin charakteryzują się większymi i częstszymi zmianami ochładzania niż partie zboczowe i grzbietowe, a w związku z tym — większą bodźcowością warunków klimatycznych.

Rzeźba terenu oddziałuje także na składniki bilansu cieplnego człowieka. Ogólnie można stwierdzić, że w dnach dolin i zagłębieniach organizm jest, bardziej niż na wyniesieniach, narażony na zakłócenia w oddawaniu ciepła do otoczenia i na przegrzanie (Błażejczyk 1993).

Szaty roślinna. Standardowe pomiary meteorologiczne są prowadzone nad jednolitą powierzchnią trawiastą. W stosunku do tej powierzchni w obszarach zadrzewionych (las, parki, sady) obserwuje się następujące odchylenia podstawowych elementów meteorologicznych (Puchalski i Prusinkiewicz 1975):

- bezpośrednio promieniowanie słoneczne docierające do przygruntowej warstwy powietrza jest zmniejszone o 50-90%,
- temperatura powietrza w ciągu dnia jest niższa o 2-5°C, mniejsze są też jej amplitudy dobowe i roczne,
- wilgotność względna powietrza jest wyższa o 5-10%,
- prędkość wiatru jest mniejsza o 40-90%,
- ilość opadu pod koronami drzew jest mniejsza o 50%,
- *wielkość ochładzająca powietrza* jest mniejsza o 30-70%,
- temperatury odczuwalne są wyższe o 5-10°C.

Lasy i parki modyfikują również wymianę ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem. W dni ciepłe i słoneczne łagodzą one obciążenia układu termoregulacyjnego. W dniach chłodnych przebywanie w lasach może potęgować odczucie zimna, natomiast w dniach gorących mogą wystąpić poważne zakłócenia w oddawaniu ciepła do otoczenia oraz niebezpieczeństwo przegrzania organizmu (Błażejczyk 1993).

Charakter podłoża, to znaczy rodzaj gruntu i jego wilgotność, w sposób istotny modyfikuje takie elementy meteorologiczne, jak temperatura i wilgotność powietrza. Obszary o małej wilgotności podłoża, piaszczyste i pylaste, bardzo silnie pochłaniają ciepło w ciągu dnia, nocą natomiast oddają je szybko do atmosfery. W związku z tym mogą na tych terenach występować duże kontrasty temperatury powietrza w ciągu doby. Wilgotność powietrza przybiera wartości stosunkowo niskie. Należy się również spodziewać dużych kontrastów dobowych temperatur odczuwalnych.

Na obszarach bardzo wilgotnych, z gruntami organicznymi, z wodą podskórną lub powierzchniową następuje wolne nagrzewanie się podłoża w ciągu dnia i wolne jego wychładzanie nocą. Amplitudy dobowe temperatury powietrza są niewielkie.

Oddzielnym problemem jest oddziaływanie na klimat sztucznych powierzchni w miastach (jezdnie, chodniki, płyty betonowe). Modyfikują one klimat podobnie jak grunty suche. Powierzchnie betonowe silnie odbijają promieniowanie słoneczne, gdyż ich albedo wynosi ponad 25% (Kozłowska-Szczęśna 1973). Powoduje to, że *obciążenie cieplne organizmu* człowieka jest na tych obszarach większe niż na terenach wiejskich, a nawet w mniej zabudowanych częściach miasta (Terjung 1970; Terjung i in. 1970; Morgan i Baskett 1974; Błażejczyk 1996).

Zagospodarowanie i użytkowanie terenu. Przez rodzaj zagospodarowania i użytkowania terenu należy rozumieć z jednej strony roślinność naturalną, z drugiej zaś — uprawy rolne i obszary silnie zurbanizowane.

W sposób specyficzny wyróżniają się także strefy brzegowe morza i zbiorników wodnych. Bioklimat tych stref charakteryzuje się przede wszystkim dużymi prędkościami wiatru i znaczną *wielkością ochładzającą powietrza* oraz zwiększoną wilgotnością i obniżoną temperaturą powietrza (w porównaniu z obszarami w głębi lądu).

Uprawy rolne, zależnie od ich rodzaju i fazy rozwojowej, modyfikują temperaturę powietrza, jego wilgotność, prędkość wiatru oraz ilość promieniowania odbitego.

W obszarach zurbanizowanych obserwuje się duże kontrasty dobowe temperatury powietrza oraz zmienną, zależną od sieci ulic, prędkość wiatru. Wiatr wiejący prostopadle do osi ulic ulega znacznemu wytłumieniu (do 90%), a wiejący równoległe — 2-3-krotnemu przyspieszeniu (Wyszkowski 1985). Ilość promieniowania słonecznego docierającego do gruntu jest zmienna, zależnie od wysokości i zwartości zabudowy. Dodatkowo obserwuje się tu duże fizyczne i chemiczne zanieczyszczenie powietrza oraz znaczne natężenie poziomu dźwięku (nadmierny hałas) (Błażejczyk i Lipska 1980; Kozłowska-Szczęsna i in. 1995, 1996).

Zagospodarowanie terenu silnie oddziałuje na bilans cieplny człowieka. Najmniejsze obciążenia gospodarki cieplnej człowieka są obserwowane na wyniesionych obszarach rolniczych. Na terenach zurbanizowanych, na skutek dużego zróżnicowania przestrzennego cech fizycznych terenu, obciążenia układu termoregulacyjnego są bardzo duże (Błażejczyk 1992, 1996).

2. Metody kameralne

Metody kameralne polegają na wykorzystaniu rzeczywistych lub uogólnionych wyników badań terenowych, lub też danych z państwowej sieci meteorologicznej, do wykonania map rozkładu wybranych elementów meteorologicznych i wskaźników biometeorologicznych, zwanych dalej także mapami biotopoklimatycznymi.

Mapy takie, zależnie od sposobu wykonania, można podzielić na dwie grupy:

- mapy wykonane metodą izolinii,
- mapy wykonane metodą powierzchniową (zasięgów).

2.1. Mapy wykonane metodą izolinii

Do wykreślenia map izoliniowych konieczna jest dość gęsta sieć równomiernie rozmieszczonych punktów. Mapy izoliniowe wykonywane są głównie dla prezentacji rozkładu badanych zjawisk w skali regionalnej i globalnej. Bardzo rzadko spotyka się mapy izoliniowe wykonane w skali lokalnej. Wynika to ze wspomnianych już trudności w prowadzeniu badań terenowych, podczas których pracowałaby gęsta sieć stanowisk pomiarowych. Na potrzeby bioklimatologii człowieka metodą izolinii wykonywane są np. mapy sum opadającego pyłu, natężenia poziomu dźwięku, przewietrzania.

Wykonanie tego rodzaju mapy można podzielić na dwa etapy:

- wprowadzenie danych na mapę podkładową i ustalenie cięcia izolinii,
- interpolacja przebiegu izolinii.

Przy ustaleniu cięcia izolinii powinno się wybrać takie wartości graniczne badanego elementu, aby mapa ilustrowała rzeczywisty jego rozkład. W tym celu można zagęszczać liczbę progów w dolnym lub górnym zakresie wartości danego elementu.

Jednym z najprostszych sposobów interpolacji izolinii między sąsiednimi punktami jest metoda proporcjonalna. Polega ona na tym, że linię prostą, łączącą dwa sąsiednie punkty, dzielimy na liczbę odcinków proporcjonalną do różnicy wartości występujących na tych punktach. Należy jednak pamiętać, że interpolacja nie może być prowadzona w sposób całkowicie mechaniczny. Wyznaczając przebieg izolinii, powinno się uwzględnić lokalne lub regionalne różnicowanie rzeźby terenu i zagospodarowania terenu, które mogą modyfikować rozkład przestrzenny badanego zjawiska lub elementu (np. dolina Biebrzy — w skali regionalnej — lub dzielnice śródmiejskie miast — w skali lokalnej).

Poniżej przedstawiono kilka przykładów map izoliniowych w skali lokalnej.

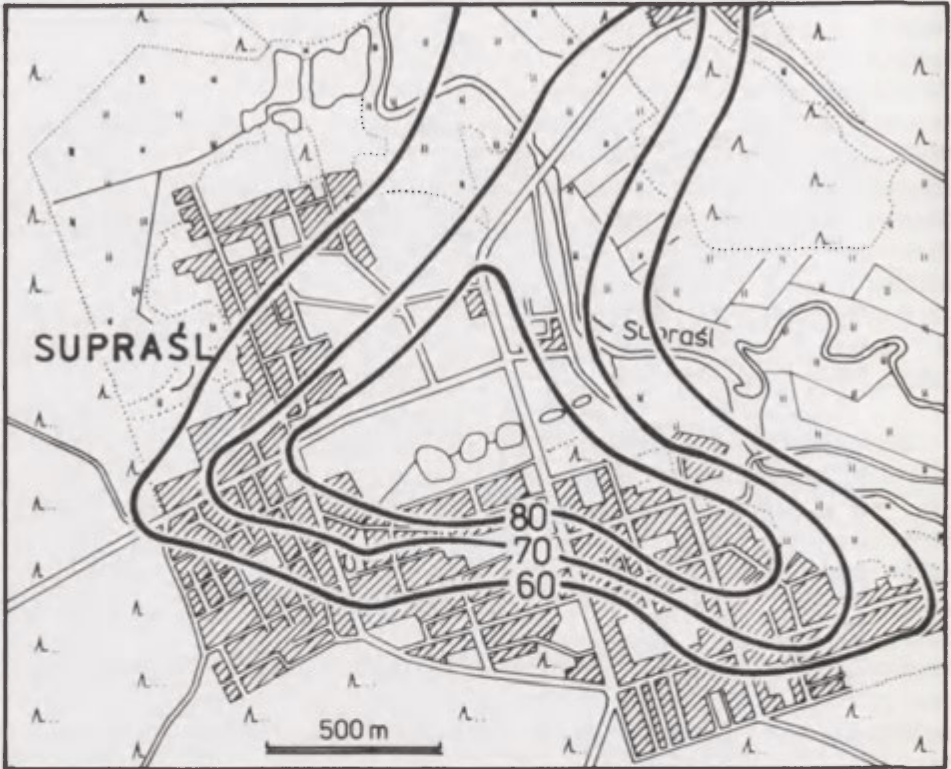
2.1.1. Zanieczyszczenie powietrza

Zanieczyszczenie powietrza jest ważnym czynnikiem w środowisku życia człowieka, ograniczającym możliwość klimatoterapii, wypoczynku i turystyki oraz powodującym znaczną uciążliwość życia w obszarach zurbanizowanych. Metodą izolinii są najczęściej wykonywane mapy rozkładu opadu pyłu. Pozwala na to stosunkowo gęsta sieć punktów pomiarowych stacji sanitarno-epidemiologicznych. Wykonując mapy opadającego pyłu, dysponuje się z reguły gotowymi sumami miesięcznymi lub rocznymi dla konkretnych punktów. Przy prowadzeniu izolinii należy uwzględnić lokalne źródła zanieczyszczeń oraz przebieg tras komunikacyjnych. Przykładem może być mapa opadu pyłu wykonana dla Supraśla, niewielkiej miejscowości w pobliżu Białegostoku (ryc. 18). Największymi źródłami zanieczyszczeń pyłowych w Supraślu są ruch samochodowy i paleniska domowe. Na mapie zaznacza się więc wyraźnie strefa zwiększonego zanieczyszczenia w centrum miejscowości i wzdłuż głównej ulicy (Kozłowska-Szczęсна i in. 1995).

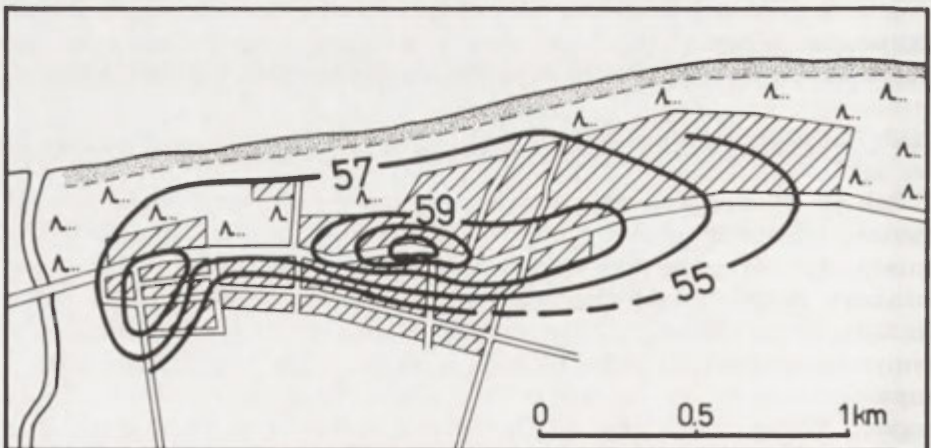
Zanieczyszczenia gazowe (np. SO_2 , NO_x) są badane stosunkowo rzadko, w niewielu punktach pomiarowych i w dodatku nie w sposób ciągły. Dlatego też, poza nielicznymi wyjątkami, dane z tych pomiarów nie mogą być wykorzystane do wykreślenia map zanieczyszczeń gazowych w skali lokalnej.

2.1.2. Natężenie poziomu dźwięku

Fale dźwiękowe w powietrzu wywołują chwilowe zmiany jego ciśnienia. Przyrost ciśnienia spowodowany falą dźwiękową nazywa się ciśnieniem akustycznym. W przypadku zbyt dużej intensywności dźwięku jest on niepożądany, uciążliwy lub szkodliwy dla zdrowia (patrz rozdz. II.3.2). Z powyższych uwag wynika, że badania różnicowania intensywności dźwięku są cennym uzupełnieniem badań bioklimatycznych, czego przykładem może być mapa natężenia hałasu na terenie Dźwirzyna, niewielkiej miejscowości nadmorskiej (Błażejczyk i Lipska 1980). Widać wyraźnie, że największe natężenie hałasu występuje w centrum miejscowości, wzdłuż głównej trasy komunikacyjnej (ryc. 19).



Ryc. 18. Średni roczny opad pyłu ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$) na terenie Supraśla (Kozłowska-Szczęśna i in. 1995)



Ryc. 19. Nateżenie noziomu dźwięku (dB) w Dźwirzynie (Błażejczyk i Lipska 1980)

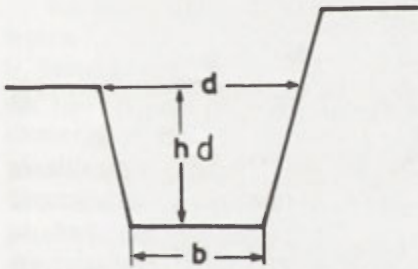
2.1.3. Przewietrzanie efektywne dolin górskich

Mapy przewietrzania efektywnego wykreśla się na podstawie wartości wyliczonych ze wzoru dla gęstej, geometrycznej sieci punktów. Sposób określenia przewietrzania dolin zaproponował E. Kaps (1955). Podstawą metody jest założenie, że możliwości przewietrzania doliny są zależne od jej głębokości, szerokości i odległości pomiędzy grzbietami otaczających wzniesień. Praktycznie przy charakteryzowaniu możliwości przewietrzania doliny operuje się wielkościami: pola przekroju pionowego oraz odległością między krawędziami doliny (na danym przekroju). Biorąc za podstawę dolinę o przekroju w kształcie trapezu, wzór na wielkość przewietrzania przyjmuje postać:

$$D_l = \frac{d^2}{(d+b) \cdot hd} \quad [73]$$

Na rycinie 20 podano sposób wyznaczania poszczególnych wielkości.

W metodzie swej E. Kaps proponuje wykonanie i analizowanie map wartości D_l dla 4 głównych kierunków przepływu powietrza (N-S, W-E, NE-SW, NW-SE). Metoda ta nie uwzględnia natomiast prędkości wiatru, która ma duże znaczenie w usuwaniu z dolin zanieczyszczonego powietrza. Niedogodne jest także korzystanie z kilku map (dla każdej pary kierunków wiatru jedna mapa) dla badanego obszaru. Dlatego też K. Błażejczyk (1975) wprowadził modyfikacje do metody Kapsa poprzez powiązanie wielkości przewietrzania z prędkością wiatru oraz zaproponował wykonanie jednej tylko mapy przewietrzania danego obszaru.



Ryc. 20. Parametry morfometryczne doliny do wyznaczania wielkości przewietrzania (Błażejczyk 1975) hd — głębokość doliny, d — odległość między krawędziami doliny, b — szerokość dna doliny

Przyjęto założenie, że dla niewielkiego obszaru prędkość wiatru z określonego kierunku jest w przybliżeniu jednakowa w każdym miejscu. *Efektywne przewietrzanie doliny* (De) jest więc proporcjonalne do wielkości przewietrzania i prędkości wiatru (v):

$$De = D_l \cdot v \quad [74]$$

Wyliczony w ten sposób wskaźnik jest wartością bezwymiarową, którą można sklasyfikować następująco:

| | |
|-----------|------------------|
| De | Przewietrzanie: |
| < 15,0 | — skrajnie słabe |
| 15,1-30,0 | — bardzo słabe |

| | |
|-------------|-----------------|
| 30,1-60,0 | — słabe |
| 60,1-90,0 | — dostateczne |
| 90,1-120,0 | — dość silne |
| 120,1-150,0 | — silne |
| > 150 | — bardzo silne. |

Aby wykonać mapę przewietrzania efektywnego, należy:

— Wykreślić na mapie topograficznej co 200 m profile dla każdej z par kierunków wiatru (N-S, E-W, NE-SW, NW-SE) oraz obliczyć dla nich wartości

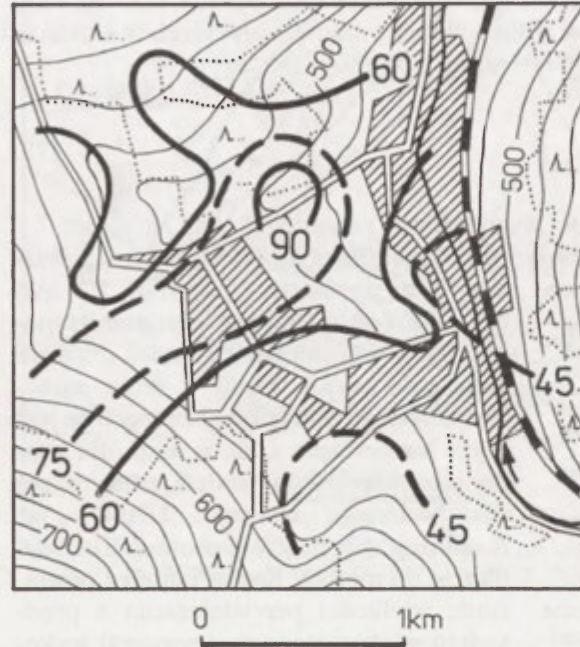
D_i . Następnie należy dla każdego z kierunków wiatru obliczyć wartość D_e .

— Dla punktów przecięcia poszczególnych profili oblicza się *średnią ważoną wartość przewietrzania efektywnego* (D_e), gdzie wagą jest częstość występowania wiatru z danego kierunku (c_w):

$$D_e = 0,01 \cdot \frac{\sum (D_i \cdot c_w)}{\sum c_w} \quad [75]$$

— Między punktami z obliczonymi wartościami D_e prowadzi się izolinie o wartościach granicznych dla klas przewietrzania, to znaczy: 15, 30, 60, 90, 120, 150.

Przykładem zastosowania powyższej metody może być mapa przewietrzania



Ryc. 21. Rozkład średnich wartości przewietrzania efektywnego (D_e) w Świeradowie Zdroju (Błażejczyk 1975)

efektywnego Świeradowa, niedużego uzdrowiska sudeckiego (ryc. 21). Najlepiej przewietrzany jest obszar położony na przecięciu się doliny głównej z dolinami bocznymi (Błażejczyk 1975).

2.2. Mapy wykonane metodą zasięgów

Do wykreślania map metodą zasięgów wykorzystywane są w skali lokalnej uogólnione wyniki badań topoklimatycznych. Na mapach tych zaznacza się obszary, na których należy oczekiwać występowania pewnych określonych wartości danego elementu meteorologicznego czy wskaźnika bioklimatycznego (np. zasięg partii zboczy o jednakowym dopływie promieniowania słonecznego

lub tereny o jednakowych wartościach temperatury powietrza, ochładzania itp.). Wytyczając te obszary kierujemy się jednorodnością cech fizycznych podłoża (rodzaj gruntu, jego wilgotność, albedo, szorstkość), podobieństwem zagospodarowania i użytkowania terenu, jak również wspólnymi cechami rzeźby terenu. O ile mapy wykonane metodą izolinii pokazują stopniowe zmiany wartości badanych elementów meteorologicznych, o tyle na mapach opracowanych metodą zasięgów zmiany te mogą być skokowe, a nawet mogą ze sobą sąsiadować obszary o znacznie różniących się wartościach danego elementu czy wskaźnika.

W badaniach zróżnicowania biotopoklimatycznego można metodą zasięgów wykonywać mapy: promieniowania słonecznego, teoretycznie możliwego usłonecznienia, względnych wartości temperatur ekstremalnych powietrza, wilgotności względnej gleby, prędkości wiatru, temperatur odczuwalnych, obciążeń cieplnych organizmu, struktury bilansu cieplnego człowieka czy też natężenia pochłoniętego promieniowania słonecznego.

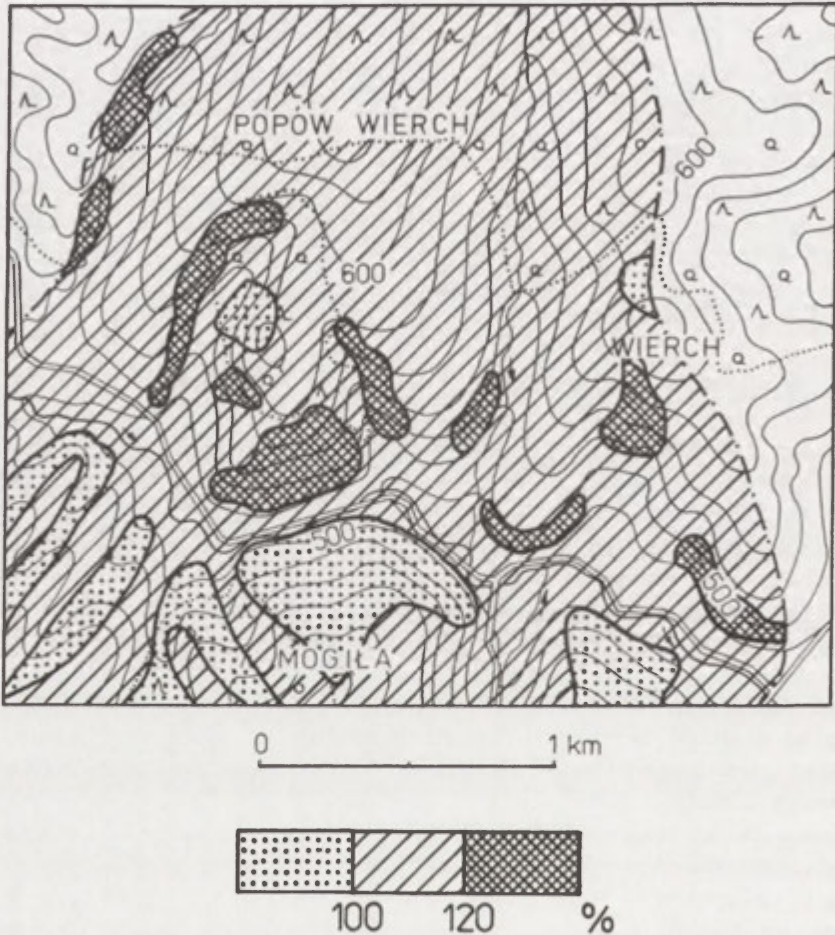
2.2.1. Promieniowanie słoneczne

Rozkład, w skali lokalnej, promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię terenu można przedstawić dwoma metodami. Tradycyjna metoda V. Strużki (1956, 1959; patrz także T. Kozłowska-Szczęśna, red., 1985) pozwala na określenie względnych wartości (w %) bezpośredniego promieniowania słonecznego w różnych częściach terenu. Powierzchnią odniesienia jest teren płaski, gdzie promieniowanie bezpośrednie ma wartość względną równą 100%. Stosując metodę Strużki, należy w pierwszej kolejności wykonać dwie mapy pomocnicze: mapę spadków terenu oraz mapę ekspozycji zboczy. Następnie, dla każdego fragmentu terenu o jednorodnym spadku i ekspozycji określamy względną wartość bezpośredniego promieniowania słonecznego (tab. 16). Przykład tak wykonanej mapy dla uzdrowiska Komańcza przedstawia rycina 22 (Krawczyk 1980b).

Można także, mając do dyspozycji mikrokomputer klasy PC, zastosować metodę opracowaną przez A. Styszyńską (1995). Metoda ta określa bezwzględne wartości całkowitego promieniowania słonecznego w przyjętych polach podstawowych. Uwzględnia ona geograficzne i geometryczne parametry poszczególnych fragmentów terenu oraz wysokości bezwzględne narożników pola podstawowego. Wartości promieniowania słonecznego mogą być określone dla dowolnego okresu (doba, miesiąc, rok). A. Styszyńska, podobnie jak V. Strużka, nie uwzględnia wprawdzie zasłonięcia (w danym punkcie) horyzontu fizycznego przez otaczające wzniesienia, jednak metoda przez nią opracowana pozwala na szybką i pozbawioną subiektywnych błędów charakterystykę zróżnicowania przestrzennego promieniowania słonecznego. Opis metody znajduje się w załączniku 3.

Osoby dysponujące komputerami o dużej mocy obliczeniowej, pracującymi w systemie UNIX mogą podjąć próbę zastosowania metody M. Funka (1982), która poza cechami geometrycznymi danego fragmentu terenu (nachylenie,

ekspozycja) uwzględnia także zasłonięcie horyzontu w danym punkcie przez okoliczne wzniesienia. Należy jednak dodać, że z uwagi na problemy techniczne metody tej nie udało się dotychczas zastosować w żadnym z ośrodków naukowych w Polsce.



Ryc. 22. Względne wartości bezpośredniego promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni terenu — w stosunku to terenu płaskiego — (wyznaczone metodą Strużki) w Komańczy (Krawczyk 1980b)

Tabela 16. Względne wartości bezpośredniego promieniowania słonecznego na zboczach o różnych nachyleniach i ekspozycjach (teren płaski = 100%) (wg Strużki 1956)

| Nachylenie | Ekspozycja | | | | | | | | |
|------------|------------|--------------|------------|--------------|----------|--------------|------------|--------------|-----|
| | S | SSW i SSE | SW i SE | WSW i ESE | W i E | WNW i ENE | NW i NE | NNW i NNE | N |
| 5° | 108 | 107 | 107 | 105 | 104 | 103 | 101 | 100 | 100 |
| 10° | 114 | 114 | 113 | 110 | 107 | 104 | 102 | 100 | 99 |
| 15° | 120 | 119 | 118 | 114 | 110 | 105 | 101 | 99 | 97 |
| 20° | 125 | 124 | 122 | 117 | 111 | 105 | 100 | 97 | 95 |
| 25° | 129 | 127 | 125 | 119 | 112 | 105 | 98 | 94 | 91 |
| 30° | 132 | 131 | 127 | 120 | 112 | 103 | 96 | 90 | 87 |
| 35° | 134 | 132 | 128 | 120 | 111 | 101 | 92 | 86 | 83 |
| 40° | 135 | 133 | 129 | 120 | 109 | 98 | 88 | 82 | 78 |
| 45° | 135 | 133 | 128 | 118 | 106 | 94 | 84 | 76 | 72 |
| 50° | 134 | 132 | 126 | 116 | 103 | 90 | 78 | 70 | 66 |
| 55° | 131 | 129 | 124 | 112 | 98 | 85 | 72 | 64 | 59 |
| 60° | 128 | 126 | 120 | 108 | 94 | 79 | 66 | 57 | 52 |
| 65° | 124 | 122 | 116 | 103 | 88 | 73 | 59 | 49 | 44 |
| 70° | 119 | 117 | 110 | 97 | 81 | 66 | 52 | 41 | 36 |
| 75° | 113 | 111 | 104 | 91 | 74 | 58 | 44 | 33 | 28 |
| 80° | 107 | 104 | 97 | 83 | 67 | 50 | 36 | 25 | 19 |
| 85° | 99 | 96 | 89 | 75 | 59 | 42 | 27 | 16 | 10 |
| 90° | 91 | 88 | 81 | 67 | 50 | 33 | 18 | 8 | 2 |

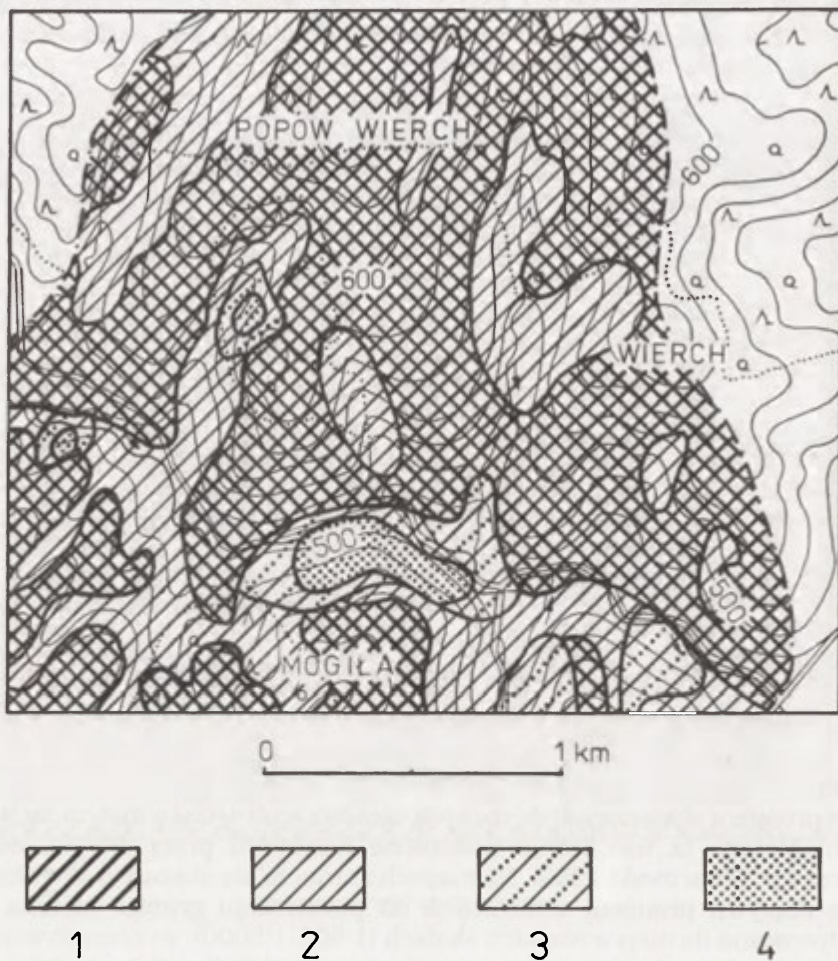
2.2.2. Teoretycznie możliwe usłonecznienie

Mapy teoretycznie możliwego usłonecznienia opierają się na analizie dopływu promieni słonecznych do różnych części terenu w dni o małym zachmurzeniu. Metoda ta uwzględnia zasłonięcie horyzontu przez drzewa, domy, wzgórza itp. (Twarowski 1964). Na mapach zaznacza się obszary o określonym czasie dopływu promieni słonecznych do powierzchni gruntu. Metoda jest przystosowana do map w wielkich skalach (1:500-1:5000), wykorzystywanych przez architektów i urbanistów przy planowaniu lokalizacji budynków (np. szpitali i sanatoriów). Przykład mapy teoretycznie możliwego usłonecznienia, wykonanej dla uzdrowiska Komańcza, zawiera rycina 23 (Krawczyk 1980b).

2.2.3. Temperatura minimalna powietrza

Wyniki badań topoklimatycznych prowadzonych przez wiele lat w zachodniej części byłego ZSRR (Białoruś, Ukraina, Mołdawia, republiki nadbałtyckie, rejon Sankt Petersburga) przez Główne Obserwatorium Geofizyczne (GGO) w Sankt Petersburgu posłużyły do opracowania modeli określenia różnicowania: temperatury minimalnej powietrza, wilgotności gleby i prędkości wiatru, spowodowanych lokalnymi warunkami środowiska geograficznego (Romanova 1977; *Rukovodstvo po izučenju mikroklimata...* 1979).

W pracy *Rukovodstvo po izučenju mikroklimata...* (1979) zamieszczone są tabele pozwalające na określenie (w °C) odchyień — w stosunku do terenu



Ryc. 23. Mapa nasłonecznienia Komańczy opracowana metodą Twarowskiego (Krawczyk 1980b)

1 — tereny o bardzo dużym usłonecznieniu możliwym: > 5 godz. w dniu 21 XII (przynajmniej od 9³⁰ do 14³⁰) i > 10 godz. w okresie od 21 III do 23 IX (przynajmniej od 7⁰⁰ do 17⁰⁰) — norma dla budownictwa sanatoryjnego, 2 — tereny o dużym usłonecznieniu możliwym: 4-5 godz. w dniu 21 XII (przynajmniej od 10⁰⁰ do 14⁰⁰) i 8-10 godz. w okresie od 21 III do 23 IX (przynajmniej od 8⁰⁰ do 16⁰⁰) — norma dla budownictwa czasowego, 3 — tereny o małym usłonecznieniu możliwym: 4 godz. w dniu 21 XII i 8 godz. w okresie od 21 III do 23 IX, 4 — tereny o bardzo małym usłonecznieniu możliwym: < 4 godz. w dniu 21 XII i < 8 godz. w okresie od 21 III do 23 IX

płaskiego — temperatury minimalnej powietrza w różnych formach rzeźby terenu i w różnych okresach roku. W tabeli 17 zamieszczono jedynie te charakterystyki, które są istotne z punktu widzenia bioklimatologii człowieka. Możliwość wystąpienia przymrozków podana jest w skali punktowej (od 1 do 5); im większa liczba punktów, tym większe jest niebezpieczeństwo wystąpienia przymrozków.

Tabela 17. Zmiany temperatury minimalnej powietrza w różnych formach rzeźby terenu (zestawienie wg *Rukowodstvo po izučenyu mikro-klimata... 1979*)

| Forma rzeźby terenu | | Odchylenie temperatury powietrza (°C) | | Możliwość wystąpienia przymrozków (w punktach) |
|---------------------|--|---------------------------------------|----------------|--|
| | | lipiec | wiosna, jesień | |
| 1. | Wierzchołki, górne i środkowe części stromych zboczy ($hd > 50$ m, nachylenie 10°) | 1,5...2,0 | 3,0...5,0 | 1 |
| 2. | Wierzchołki i górne części zboczy łagodnych ($hd < 50$ m, nachylenie $3-10^\circ$) | 1,0...1,5 | 1,0...3,0 | 2 |
| 3. | Równiny, płaskie wierzchowiny, dna szerokich (> 1 km), odsłoniętych dolin (w ich części centralnej) | 0,0 | 0,0 | 3 |
| 4. | Środkowe części łagodnych zboczy (nachylenie $3-10^\circ$) | 0,0 | 0,0 | 3 |
| 5. | Dno i dolne części zboczy wąskich dolin o dużym spadku podłużnym | 1,5 | 3,0...5,0 | 1 |
| 6. | Jak wyżej, lecz o umiarkowanym spadku podłużnym | - | 1,0...3,0 | 2 |
| 7. | Doliny dużych rzek, brzegi zbiorników wodnych | 0,5...1,0 | 2,0...4,0 | 2 |
| 8. | Dno i dolne części zboczy niezbyt szerokich, głębokich dolin z dużym spadkiem podłużnym | 0,0 | 0,0 | 3 |
| 9. | Jak wyżej, lecz z małym spadkiem podłużnym | -0,5...-1,5 | -2,0...-3,0 | 4 |
| 10. | Dno i dolne części zboczy niezbyt szerokich, krętych lub zamkniętych dolin | -1,5...-2,0 | -3,0...-5,0 | 5 |
| 11. | Kotliny | -2,0...-2,5 | -4,0...-6,0 | 5 |
| 12. | Dolne części zboczy i sąsiadujące z nimi części den szerokich dolin | -1,0...-1,5 | -3,0...-5,0 | 4 |
| 13. | Zamknięte, szerokie, płaskodenne doliny | -2,0...-2,5 | -4,0...-6,0 | 5 |
| 14. | Wilgotne niziny z glebą mineralną | -1,5...-2,0 | -3,0...-7,0 | 4 |

Konstrukcja mapy polega na wydzieleniu na mapie topograficznej wskazanych w tabeli 17 form rzeźby terenu, a następnie zaznaczeniu podanych odchyżeń temperatury minimalnej oraz możliwości wystąpienia przymrozków.

2.2.4. Wilgotność gleby

Znajomość różnicowania wilgotności gleby jest w bioklimatologii człowieka przydatna dla określenia obszarów o dużym parowaniu, które charakteryzują się podwyższoną wilgotnością powietrza oraz możliwością powstawania mgieł przygruntowych.

W tabeli 18 zamieszczono współczynniki zmian wilgotności gleby w różnych porach roku w stosunku do wilgotności występującej na płaskim, rozległym obszarze. Współczynniki te są różne dla różnych rodzajów gleby. E.N. Ro-

manova (1977) przyjmuje, że gleby silnie uwilgocone to takie, których całkowita pojemność wodna* wynosi 70-90%, w glebach średnio uwilgoconych 50-70%, a w glebach słabo uwilgoconych < 50%. Do gleb o dużej pojemności wodnej można zaliczyć gleby rozwinięte na glinach i iłach; do gleb średnio uwilgoconych — na piaskach gliniastych i glinach spiaszczonych oraz pyłach. Gleby słabo uwilgocone rozwinięte są przeważnie na piaskach i żwirach.

Tabela 18. Wskaźniki zmian wilgotności gleby (wg Romanovej 1977)

| Forma rzeźby terenu | Wiosna | Lato | Jesień | Zima |
|--|--------|------|--------|------|
| Gleby silnie uwilgocone | | | | |
| Zbocza o profilu wklęsłym | | | | |
| 1. Wierzchołki | 0,65 | 0,52 | 0,72 | 0,63 |
| 2. Zbocza północne | | | | |
| - część górna | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 1,00 |
| - część środkowa | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| - część dolna | 1,60 | 1,50 | 1,60 | 1,57 |
| - podnóże zbocza | 2,18 | 1,88 | 1,99 | 2,02 |
| 3. Zbocza południowe | | | | |
| - część górna | 0,62 | 0,53 | 0,69 | 0,61 |
| - część środkowa | 0,66 | 0,57 | 0,65 | 0,63 |
| - część dolna | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| - podnóże zbocza | 1,45 | 1,30 | 1,34 | 1,38 |
| 4. Miejsca płaskie, odkryte | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Gleby średnio i słabo uwilgocone | | | | |
| Zbocza o profilu prostym i wklęsłym | | | | |
| 5. Wierzchołki | 0,54 | 0,46 | 0,42 | 0,47 |
| 6. Zbocza północne | | | | |
| - część górna | 1,00 | 0,86 | 0,98 | 0,95 |
| - część środkowa | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| - część dolna | 1,50 | 1,49 | 1,08 | 1,36 |
| - podnóże zbocza | 2,00 | 1,50 | 1,60 | 1,70 |
| 7. Zbocza południowe | | | | |
| - część górna | 0,45 | 0,41 | 0,37 | 0,41 |
| - część środkowa | 0,62 | 0,50 | 0,48 | 0,53 |
| - część dolna | 0,93 | 0,93 | 0,96 | 0,95 |
| - podnóże zbocza | 1,22 | 1,20 | 1,14 | 1,19 |
| Zbocza o profilu wypukłym | | | | |
| 8. Zbocza północne | | | | |
| - część górna | 0,96 | 0,97 | 0,98 | 0,97 |
| - część środkowa | 1,03 | 1,00 | 1,00 | 1,01 |
| - część dolna | 1,03 | 0,92 | 0,82 | 0,92 |
| - podnóże zbocza | 0,85 | 1,88 | 1,99 | 2,02 |
| 9. Zbocza południowe | | | | |
| - część górna | 0,85 | 0,82 | 0,76 | 0,81 |
| - część środkowa | 0,73 | 0,77 | 0,71 | 0,74 |
| - część dolna | 0,78 | 0,72 | 0,66 | 0,72 |
| - podnóże zbocza | 1,22 | 1,18 | 1,14 | 1,18 |

* Całkowita pojemność wodna jest to największa objętość wody, jaka może być zgromadzona w glebie, przy całkowitym wypełnieniu wszystkich przestrzeni międzyziarnowych. Zależy ona od składu mechanicznego i struktury gleby. Wielkość tę podaje się w % ogólnej objętości gleby.

Do konstrukcji mapy zróżnicowania wilgotności gleby konieczna jest mapa gleb (wykonana przez specjalistę — gleboznawcę) z danymi dotyczącymi całkowitej pojemności wodnej. Należy także wydzielić, opierając się na mapie topograficznej, podane w tabeli 18 partie zboczy. Zbocza o ekspozycji wschodniej i zachodniej mają wartości pośrednie do wymienionych w tabeli. W tych partiach zboczy wilgotność gleby jest odpowiednio mniejsza lub większa niż w terenie odniesienia.

2.2.5. Prędkość wiatru

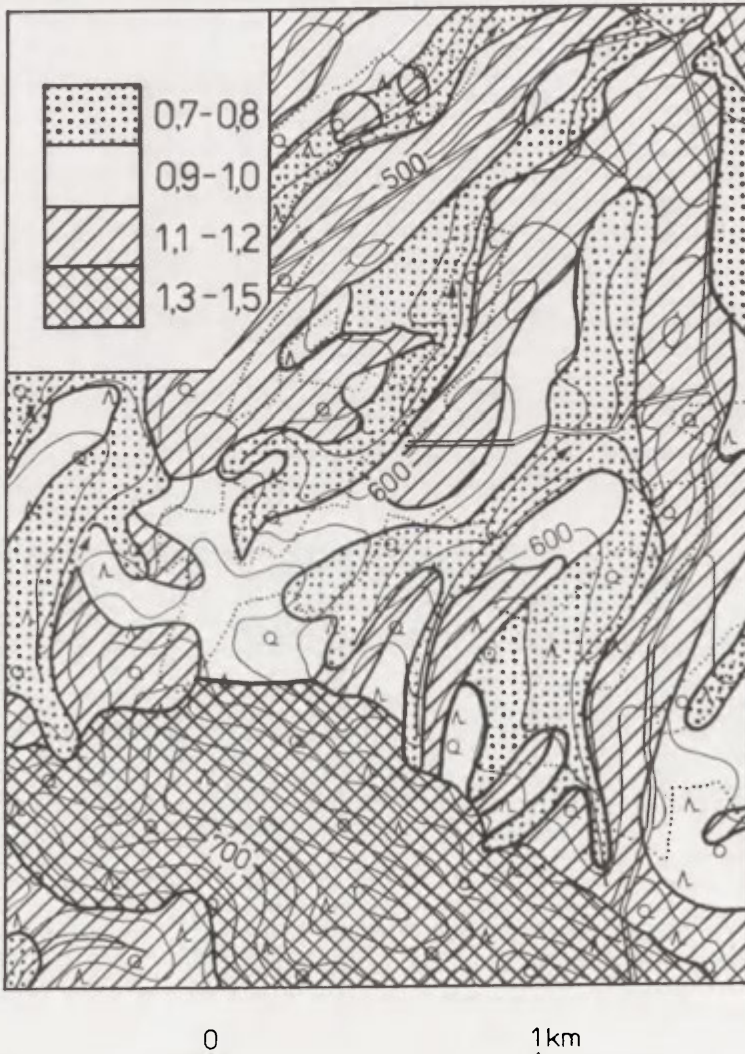
Spośród naturalnych czynników lokalnych modyfikujących prędkość wiatru duże znaczenia ma rzeźba terenu. E.N. Romanova (1977) opracowała, na podstawie uogólnionych wyników badań terenowych, współczynniki zmian prędkości wiatru (K_w). Odnoszą się one do prędkości wiatru w terenie płaskim i odsłoniętym, na wysokości 2 m nad gruntem, przy chwiejnej lub stałej stratyfikacji termicznej (tab. 19). Współczynnik K_w nie uwzględnia wpływu roślinności wysokiej, zabudowy i innych form zagospodarowania terenu na zmiany prędkości wiatru.

Tabela 19. Współczynniki zmian prędkości wiatru (K_w) w różnych typach rzeźby terenu (wg Romanovej 1977)

| Forma rzeźby terenu | K_w |
|--|---------|
| 1. Teren płaski odsłonięty | 1,0 |
| 2. Odkryte wzniesienia | |
| – wierzchołki, różnica wzniesień do podnoża > 50 m | 1,4-1,5 |
| – wierzchołki, różnica wzniesień do podnoża < 50 m | 1,3-1,4 |
| 3. Stoki dowietrzne o nachyleniu > 3° | |
| – część górna | 1,2-1,3 |
| – część środkowa | 1,0-1,1 |
| – część dolna | 1,0 |
| 4. Stoki równoległe do wiatru o nachyleniu > 3° | |
| – część górna | 1,1-1,2 |
| – część środkowa | 0,9-1,0 |
| – część dolna | 0,8-0,9 |
| 5. Stoki odwietrzne o nachyleniu > 3° | |
| – część górna | 0,8-0,9 |
| – część środkowa | 0,8-0,9 |
| – część dolna | 0,7-0,8 |
| 6. Wzniesienia z płaskimi wierzchołkami i poлогіe zbocza | |
| – wierzchołki, górne części dowietrznych i odwietrznych zboczy o nachyleniu 1-3° | 1,2-1,4 |
| – środkowe i dolne części dowietrznych i równoległych do wiatru zboczy o nachyleniu > 4° | 1,1-1,2 |
| – środkowe i dolne części odwietrznych zboczy o nachyleniu > 3° | 0,7-0,9 |
| 7. Doliny, parowy, wąwozy | |
| – dno i dolne części zboczy dolin, parowów, wąwozów | |
| – równoległych do wiatru | 1,1-1,2 |
| – prostopadłych do wiatru | 0,7-0,8 |
| – zamkniętych | <0,6 |
| – środkowe i górne części zboczy dolin, parowów, wąwozów | |
| – równoległych do wiatru | 1,2-1,3 |
| – prostopadłych do wiatru | 0,8-0,9 |
| – zamkniętych | < 0,6 |

Mapy współczynnika zmian prędkości wiatru sporządza się dla 2-3 przeważających kierunków wiatru. Wykonanie mapy obejmuje dwa etapy. W pierwszym należy wydzielić wyróżnione w tabeli 19 elementy rzeźby terenu i przypisać im odpowiednie wartości współczynnika K_w . W etapie drugim zaznacza się na mapie zasięgi obszarów o jednakowych współczynnikach zmian prędkości wiatru. Przykład takiej mapy, wykonanej dla niewielkiej miejscowości Czarna w Bieszczadach, przedstawia rycina 24 (Krawczyk 1980a).

Nie publikowane materiały E.N. Romanovej pozwalają także na określenie zmian prędkości wiatru spowodowanych przez lasy. W tabeli 20 zamieszczono



Ryc. 24. Względne prędkości wiatru (w stosunku do terenu odsłoniętego i wyniesionego) w Czarnie koło Ustrzyk Dolnych (Krawczyk 1980a)

Tabela 20. Osłabienie prędkości wiatru (w stosunku do terenu otwartego) po odwietrznej stronie lasu (Romanova — materiały rękopiśmienne 1983)

| Typ lasu | Prędkość wiatru po odwietrznej stronie lasu w odległości | | | |
|---------------|--|------|------|------|
| | 3 H | 10 H | 15-H | 20-H |
| przewiewne | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,85 |
| ażurowe | 0,35 | 0,40 | 0,60 | 0,80 |
| nieprzewiewne | 0,25 | 0,60 | 0,85 | 0,90 |

H — wysokość drzew w lesie

Tabela 21. Współczynniki zmniejszenia prędkości wiatru (θ) w obrębie różnych zbiorowisk leśnych (Romanova — materiały rękopiśmienne 1983)

| Charakterystyka zbiorowiska leśnego | | θ |
|-------------------------------------|--|----------|
| 1. | Las mieszany lub liściasty o wysokości drzew 6,5-8,5 m | 0,02890 |
| 2. | Las iglasty, bardzo gęsty, z niższym piętrzem drzew i poszyciem | 0,02275 |
| 3. | Las mieszany lub liściasty o wysokości drzew 15-17 m | 0,02112 |
| 4. | Las iglasty, dość gęsty, wysokość drzew 10-11 m | 0,02012 |
| 5. | Las iglasty o mniejszej gęstości niż w p. 4 | 0,01147 |
| 6. | Las sosnowy, bardzo rzadki, bez niższego piętra drzew i poszycia, o wysokości drzew około 20 m | 0,00971 |
| 7. | Las pozbawiony liści, z niższym piętrzem drzew i poszyciem | 0,00790 |
| 8. | Las pozbawiony liści, z bardzo rzadkim niższym piętrzem drzew i poszyciem | 0,00725 |
| 9. | Rzadki wysoki las jodłowy bez poszycia i niższego piętra drzew | 0,00725 |

współczynniki zmiany prędkości wiatru po stronie zawietrznej kompleksu leśnego, a w tabeli 21 — w obrębie niektórych typów lasu. Prędkość wiatru wewnątrz kompleksu leśnego (v_1 w $m \cdot s^{-1}$) oblicza się według wzoru:

$$v_1 = v \cdot \exp(-\theta \cdot x) \quad [76]$$

gdzie: θ — współczynnik zmniejszenia prędkości wiatru (tab. 21),
 x — odległość od brzegu lasu w jego głąb (m).

Znając rozkład przestrzenny typów lasu można tą metodą opracować mapę rozkładu prędkości wiatru wewnątrz kompleksów leśnych.

2.2.6. Warunki odczuwalne

Dla człowieka przebywającego w danym miejscu ważne jest określenie, w jaki sposób warunki termiczne otoczenia są przez niego odczuwane. Na podstawie wyników wieloletnich badań na litewskim wybrzeżu Bałtyku A.P. Gricjute (1983) opracowała tzw. katalog pól termodynamicznych. Charakteryzują one warunki odczuwane przez ludzi różnie ubranych, podczas różnej aktywności fizycznej oraz różnych warunków pogodowych. Autorka wydzieliła pola termodynamiczne oddzielnie dla okresu letniego i okresu zimowego (tab. 22 i 23). Metoda ta może być zastosowana dla polskiego wybrzeża Bałtyku. Konstruując mapy, należy w pierwszej kolejności wyznaczyć odpowiednie typy terenu, a następnie przypisać im podane w tabelach 22 i 23 charakterystyki odczuć cieplnych człowieka.

Tabela 22. Przeważające odczucia cieplne człowieka w różnych typach terenu strefy brzegowej Bałtyku w okresie letnim (V-IX) (wg Gricjute 1983)

| Typ terenu | Człowiek ubrany normalnie | | | | Człowiek obnażony | | | |
|--|--|-------------|-------------|-------------|--|-------------|-------------|-------------|
| | w cieniu lub podczas pogody pochmurnej | | w słońcu | | w cieniu lub podczas pogody pochmurnej | | w słońcu | |
| | Pogoda | | | | Pogoda | | | |
| | wietrzna | bezwietrzna | wietrzna | bezwietrzna | wietrzna | bezwietrzna | wietrzna | bezwietrzna |
| Plaża | c, d (b, e) | e, f | d, e, f | g (f) | a, b (c, d) | e, f | d, e (c, f) | f, g |
| Szczyt wydm | c, d (b, e) | e, f | f (d, e, g) | g (f) | a, b (c, d) | e, f | d, e (c, f) | f, g |
| Obniżenie na grzbiecie wydm | d, e (c) | e, f | f (d, e, g) | g (f) | a, b, (c, d) | e, f | d, e (c, f) | f, g |
| Podnóże wydm | | | | | | | | |
| po stronie północnej | d, e (c) | e, f | f (d, e, g) | g (f) | c, d (a, b, c) | e, f | d, e (c, f) | f, g |
| Podnóże wydm | | | | | | | | |
| po stronie południowej | d, e, f (c) | e, f | f, g | g (f) | c, d, e | e, f | f (e, g) | f, g |
| Płaskie zaplecze wydm | | | | | | | | |
| (w odległości > 50 m od wydm) | d, e, f (c) | e, f | f (e, g) | g (f) | d, e (c) | e, f | e (d, f) | f, g |
| Południowe zbocze wydm | d, e (f) | e, f | f (e, g) | f, g | b, c, d | e, f | d, e (f) | f, g |
| Płaskie, południowe zaplecze lasu nadbrzeżnego (do 1 km) | | | | | | | | |
| Łąka > 1 km na południe od wydm i lasu | d, e (f, c) | e, f | f (d, e, g) | f, g | c, d, e | e, f | d, e (f, c) | f, g |
| Młody las sosnowy | | | | | | | | |
| o zwartości koron ok. 90% | d, e, f (c) | e, f | d, e | e, f | a, b, c, d | e, f | c, d (b, e) | e, f |
| Stary las sosnowy | | | | | | | | |
| o zwartości koron ok. 70% | d, e, f (c) | e, f | d, e, f | f, g | c, d, e | f, g | e (d, f) | f (e) |
| Polana w lesie | d, e, f (c) | e, f | f (d, e, g) | f, g | c, d (b, e) | e, f | e (d, f) | f (g) |

Odczucia cieplne: a — bardzo zimno, b — zimno, c — chłodno, d — komfortowo, e — ciepło, f — gorąco, g — bardzo gorąco

Tabela 23. Surowość warunków pogodowych w strefie brzegowej Bałtyku w okresie zimowym (X-IV) w różnych typach terenu (wg Gricjute 1983)

| Typ terenu | Miesiące | | | | | | | |
|---|----------|----|-----|---|----|-----|----|------|
| | X | XI | XII | I | II | III | IV | X-IV |
| Plaża | A | C | E | E | E | C | C | C |
| Szczyt wydmy | A | C | E | E | E | C | C | C |
| Obniżenie na grzbiecie wydmy | A | C | C | C | C | C | B | C |
| Podnóże wydmy po stronie północnej | A | B | C | C | C | C | A | C |
| Podnóże wydmy po stronie południowej | A | A | B | B | B | B | A | B |
| Płaskie zaplecze wydmy (> 50 m od wydmy) | A | B | C | C | C | B | A | B |
| Południowe zbocze wydmy | A | B | C | C | C | B | A | B |
| Płaskie, południowe zaplecze lasu i wydym nadbrzeżnych (do 0,5 km) | A | B | B | B | B | B | A | B |
| Łąka > 0,5 km na południe od wydym i lasu | A | C | D | D | E | C | C | C |
| Młody las sosnowy o zwartości koron ok. 90% | A | B | B | B | B | B | A | B |
| Stary las sosnowy o zwartości koron ok. 70% | A | A | B | B | B | B | A | B |
| Polana w lesie | A | B | B | B | B | B | A | B |

Surowość warunków pogodowych:

- A — warunki bardzo łagodne
- B — warunki łagodne
- C — warunki mało surowe
- D — warunki średnio surowe
- E — warunki surowe

3. Mapy wykonane metodami Systemu Informacji Geograficznej (GIS)

Zmienność przestrzenną warunków klimatycznych i bioklimatycznych można także badać, stosując metody Systemu Informacji Geograficznej (GIS). Przedstawione w tym rozdziale propozycje są efektem pierwszego etapu badań, mających na celu stworzenie komputerowej bazy danych o środowisku fizycznogeograficznym Warszawy. Baza ta jest tworzona za pomocą programu IDRSI (Błażejczyk 1996; Kozłowska-Szczęsna i in. 1996). Podstawą bazy danych jest sieć pól podstawowych o wymiarach 250×250 m. Obszar Warszawy został podzielony na 7983 takie pola, zajmujące łączną powierzchnię 493,32 km². Każde pole podstawowe zawiera cyfrową informację o różnych cechach środowiska fizycznogeograficznego. Na obecnym etapie badań są to informacje dotyczące: roślinności rzeczywistej, głównych jednostek rzeźby terenu, wartości (względnych i absolutnych) podstawowych elementów meteorologicznych.

Obejmują one także pewne charakterystyki bioklimatyczne (dominujące odczucia ciepłe, obciążenia ciepłe organizmu, ilość pochłoniętego promieniowania słonecznego).

3.1. Podstawy tworzenia systemu informacji

Doświadczenia uzyskane podczas wykonywania map cyfrowych Warszawy można z powodzeniem przenieść na inne obszary. Rozmiar pola podstawowego jest zależny od skali opracowania. Do badań w skali mikroklimatycznej optymalny wydaje się kwadrat o bokach 50×50 m, dla skali topoklimatycznej — 250×250 m, a dla skali mezoklimatycznej — 1000×1000 m. Dla map opracowywanych w skali całego kraju rozmiar pola podstawowego może wynosić 5×5 km.

Każde pole podstawowe powinno zawierać cyfrowe informacje o względnych wartościach podstawowych elementów meteorologicznych, np. temperaturze powietrza, prędkości wiatru i całkowitym promieniowaniu słonecznym. Wartości względne tych elementów należy odnieść do pola podstawowego, na którego terenie leży stacja meteorologiczna, reprezentująca warunki klimatyczne typowe dla obszarów pozamiejskich. Dane z takiej stacji są głównym źródłem informacji o warunkach pogodowych panujących w danym regionie; w przypadku Warszawy była to stacja Warszawa-Okęcie.

Do wykonania map względnych wartości całkowitego promieniowania słonecznego oraz prędkości wiatru można zastosować uogólnione wyniki badań topoklimatycznych i mikroklimatycznych, prowadzonych w różnych typach terenu. Względne wartości tych elementów można podzielić na 6 klas. W przypadku promieniowania słonecznego, jego wartości względne zmieniają się od 0,2 (we wnętrzu lasów) do 1,1 (w obrębie wielkoblokowych osiedli mieszkaniowych oraz na plażach i brzegach zbiorników wodnych). Względne wartości prędkości wiatru zmieniają się od 0,1 we wnętrzu lasów do 1,0 na terenach otwartych.

Źródłem danych dla mapy względnych wartości temperatury powietrza mogą być bądź to wyniki pomiarów naziemnych, bądź też obrazy satelitarne temperatury podłoża atmosfery. Temperaturę podłoża (T_g) należy wtedy przeliczyć na temperaturę powietrza (t). Można w tym celu wykorzystać uogólnione wyniki licznych badań topoklimatycznych prowadzonych w Zakładzie Klimatologii IGiPZ PAN (Błażejczyk 1996). Po przeanalizowaniu różnic $T_g - t$ — obserwowanych w różnych warunkach pogodowych cieplej połowy roku, w zakresie T_g od 10 do 40°C — stwierdzono, że wartość bezwzględna $T_g - t$ zmienia się wprawdzie zależnie od temperatury, niemniej jednak ma ona stałą proporcję w stosunku do temperatury podłoża. Podczas pogody bezchmurnej i z małym zachmurzeniem stosunek $(T_g - t)/T_g$ wynosi średnio 0,2 (dla powierzchni naturalnych) i 0,25 (dla nawierzchni sztucznych). Tak więc temperaturę powietrza w każdym polu podstawowym można obliczyć, dla podanych wyżej warunków pogodowych, korzystając z następujących wzorów redukcyjnych:

$t = 0,8 T_g$ — dla powierzchni naturalnych i zabudowy luźnej — oraz $t = 0,75 T_g$ — dla zabudowy zwartej. Przetworzenie obrazu satelitarnego temperatury podłoża polega na określeniu średniej wartości T_g dla przyjętych pól podstawowych. Następnie przelicza się ją na wartości temperatury powietrza i porównuje z wartością t występującą w polu podstawowym. Uzyskane wartości względne temperatury powietrza można pogrupować w 9 klas, od 0,85 we wnętrzu ciemnych, wilgotnych lasów do 1,3 w obrębie zabudowy przemysłowej.

Mapy względnych wartości temperatury powietrza i prędkości wiatru są podstawą do wykonania map przewidywanego rozkładu tych elementów na badanym terenie przy założeniu, że na bazowej stacji meteorologicznej (w polu odniesienia) będą one miały określone wartości (np. t — 10, 20 i 30°C oraz v — 2, 4 i 8 m·s⁻¹). Mapy przewidywanych wartości t i v pozwalają następnie na obliczenie dla każdego pola podstawowego wartości salda wymiany ciepła oraz określenie innych charakterystyk bioklimatycznych (dominujące odczucia ciepłe człowieka i obciążenie ciepłe organizmu) dla różnych warunków pogodowych.

3.2. Pochłonięte promieniowanie słoneczne

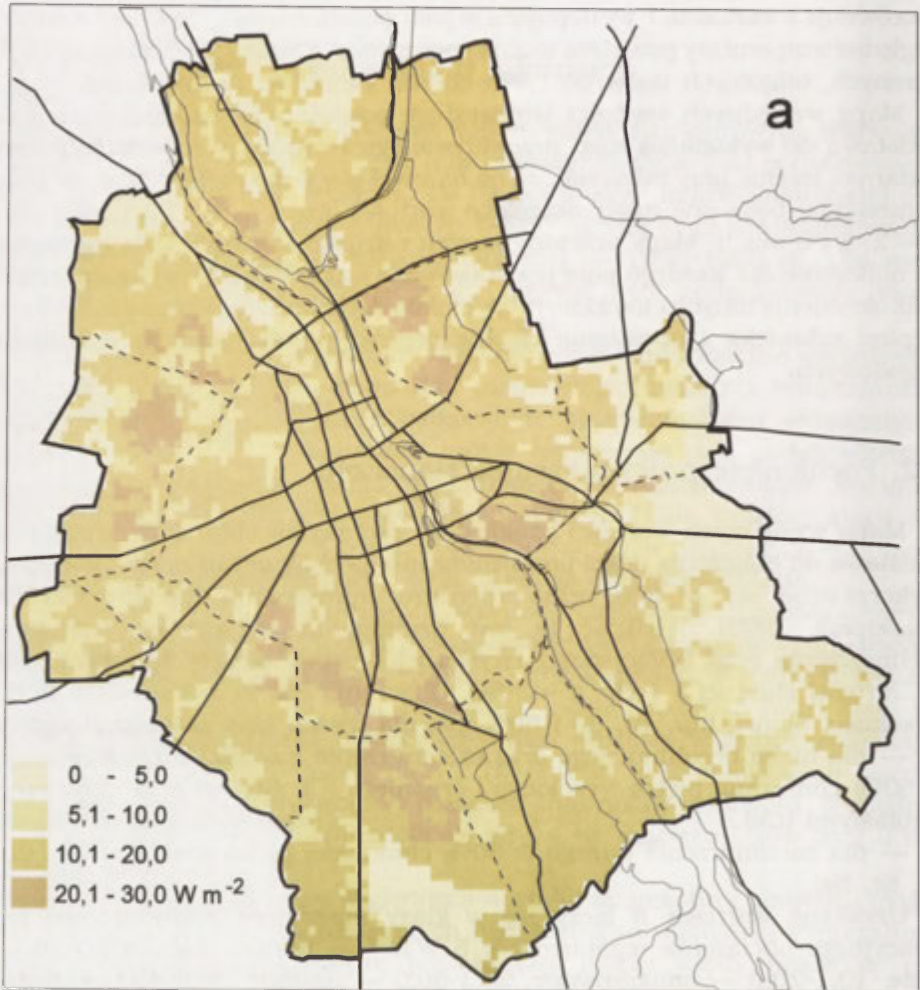
Mapa względnych wartości całkowitego promieniowania słonecznego jest podstawą do obliczenia ilości promieniowania pochłoniętego przez człowieka. Wykorzystuje się w tym celu procedurę uproszczoną modelu MENEX (Błażejczyk 1993). Wielkość ta jest uzależniona od wysokości Słońca, zachmurzenia oraz izolacyjności termicznej i barwy odzieży (przyjmuje się tu wartości stałe $I_{cl} = 1$ clo, $\alpha = 30\%$). Obliczenia należy wykonać dla kilku wysokości Słońca (np. 10, 30 i 50°) oraz dla dwóch klas zachmurzenia:

- dla nieba bezchmurnego oraz zachmurzenia małego i umiarkowanego (< 50%) chmurami piętra wysokiego i średniego (Ci, Cc, Ac) oraz chmurami kłębiastymi (Cu),
- dla zachmurzenia dużego (> 80%) chmurami piętra niskiego (Cu, Cb, Sc, St, Ns).

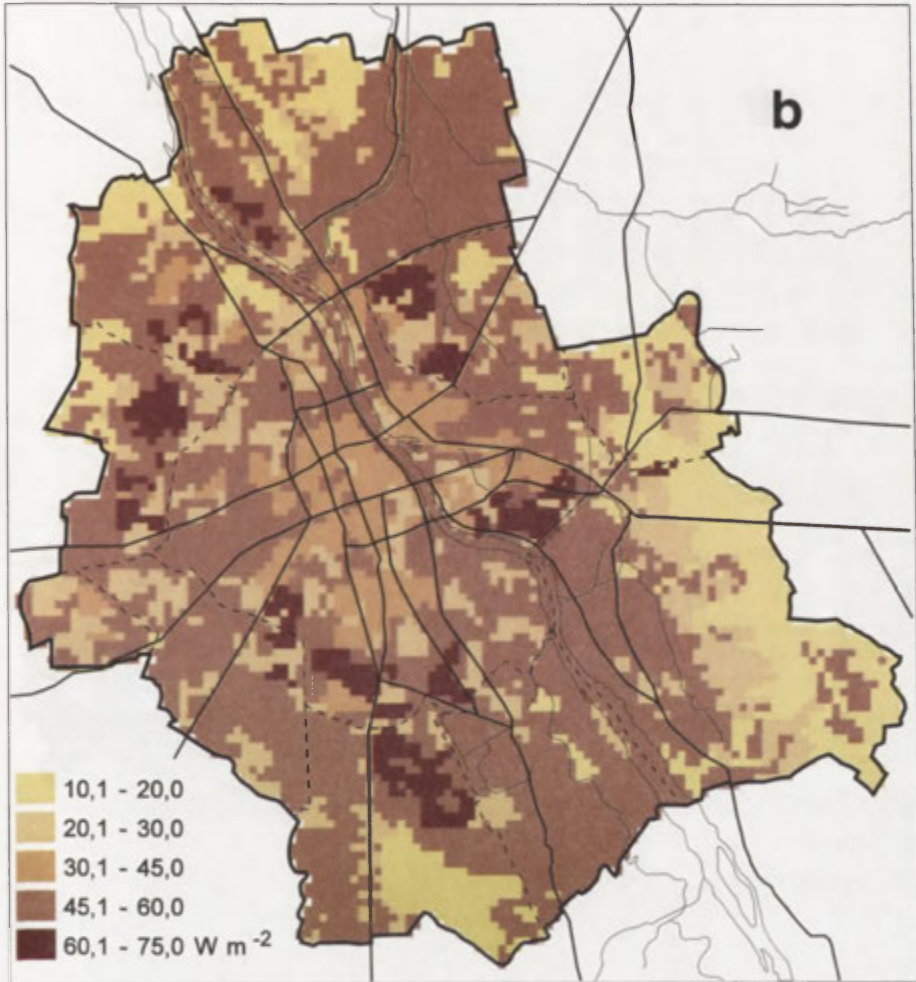
Uzyskane wartości R łączy się w klasy ilustrujące różny stopień insolacyjnego obciążenia organizmu: < 5 W m⁻² — bardzo małe, 5,1-10,0 — małe, 10,1-20,0 — umiarkowane, 20,1-30,0 — znaczne, 30,1-45,0 — duże, 45,1-60,0 — bardzo duże, 60,1-75,0 — nadmierne. Rozkład wartości pochłoniętego promieniowania słonecznego na obszarze Warszawy w dwóch scenariuszach zachmurzenia ilustruje rycina 25.

3.3. Odczucia ciepłe człowieka

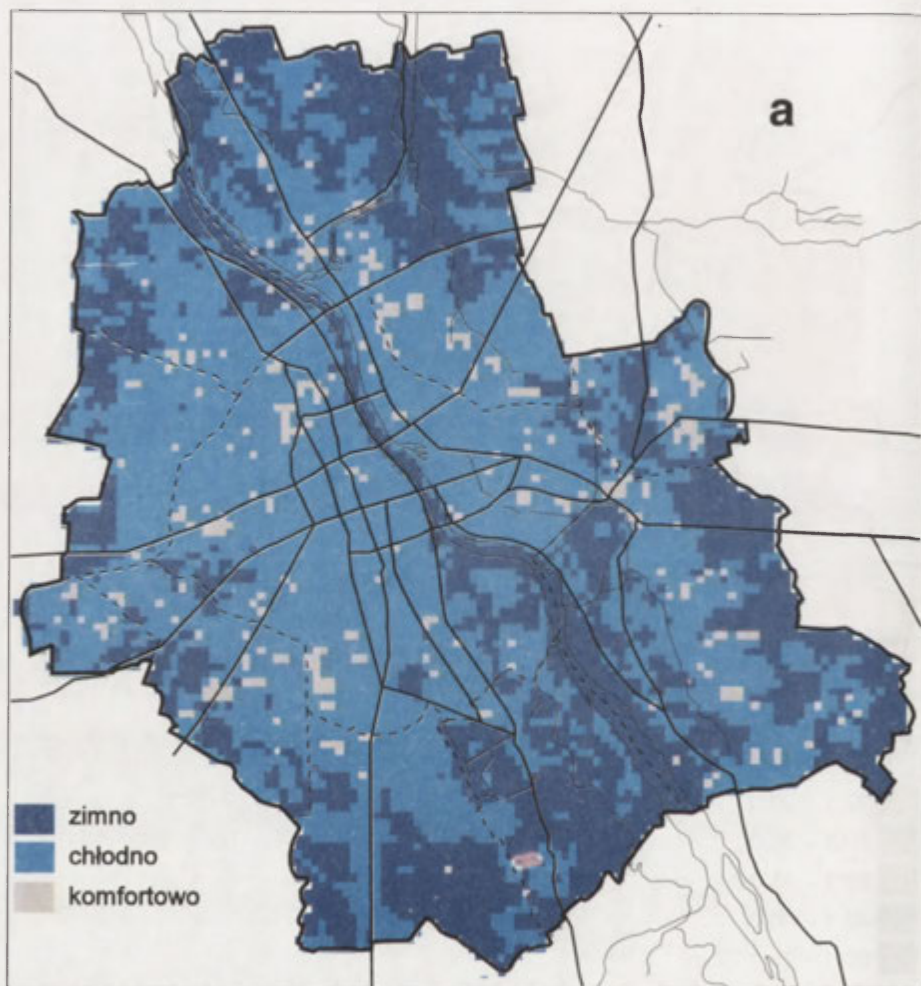
Odczucia ciepłe człowieka określa się na podstawie salda wymiany ciepła (Sp). Przybliżoną jego wartość oblicza się, korzystając z uproszczonej procedury modelu MENEX (Błażejczyk 1993). Obliczenia wykonuje się dla człowieka



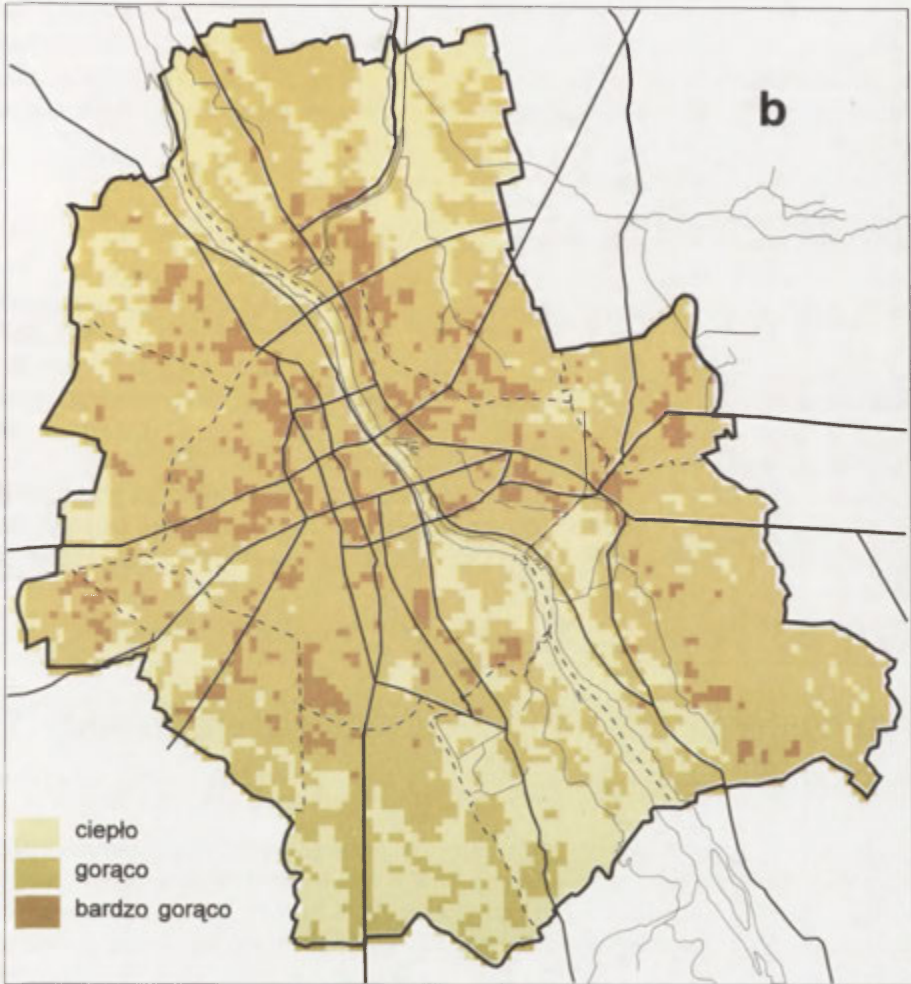
Ryc. 25 a. Promieniowanie słoneczne pochłonięte przez człowieka na obszarze Warszawy, wartości prognozowane dla: a — $h = 30^\circ$, $N > 90\%$ (wg Błażejczyka 1996)



Ryc. 25 b. Promieniowanie słoneczne pochłonięte przez człowieka na obszarze Warszawy, wartości prognozowane dla: $b - h = 50^\circ$, $N < 50\%$ (wg Błażejczyka 1996)



Ryc. 26 a. Odczucia ciepłne człowieka w Warszawie, w różnych warunkach pogodowych obserwowanych na stacji Okęcie: a — $t = 10^{\circ}\text{C}$, $v = 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $N < 70\%$ (wg Błażejczyka 1996)



Ryc. 26 b. Odczucia cieplne człowieka w Warszawie, w różnych warunkach pogodowych obserwowanych na stacji Okęcie: b — $t = 30^{\circ}\text{C}$, $v = 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, N 70% (wg Błażejczyka 1996)

stojącego, ubranego w odzież o termoizolacyjności 1 clo, dla zachmurzenia małego i umiarkowanego oraz dla różnych warunków termicznych i wietrznych (np. $t = 10, 20, 30^{\circ}\text{C}$, $v = 2, 4, 8 \text{ m s}^{-1}$).

Odczucia ciepłe określa się na podstawie skali zamieszczonej w rozdziale II.6.4.1. Przykładowe mapy dominujących odczuć ciepłych (ryc. 26) występujących na terenie Warszawy wskazują, że w centrum miasta odczucia te są przesunięte o 1-3 klasy w górę skali. We wnętrzu lasów oraz wzdłuż koryta Wisły odczucia są natomiast przesunięte w dół skali odczuć ciepłych.

3.4. Obciążenie ciepłe organizmu

Kolejną charakterystyką pozwalającą na ocenę oddziaływania warunków meteorologicznych i środowiska miejskiego na organizm człowieka jest *obciążenie ciepłe organizmu (HL)*. Wielkość tę wyznaczono, opierając się na wartościach salda wymiany ciepła oraz promieniowania słonecznego pochłoniętego przez człowieka (por. rozdz. II.6.4.3). *HL* określono dla różnych warunków insolacyjnych, termicznych i wietrznych.

Zmienność i rozkład obciążeń ciepłych człowieka w mieście są podobne do obserwowanych w przypadku odczuć ciepłych. „In plus” wyróżniają się centralne części Warszawy oraz rejony dużych zakładów przemysłowych, natomiast „in minus” — otoczenie koryta Wisły i wnętrza lasów (ryc. 27).

4. Klimatologiczno-fizjologiczna typologia klimatów lokalnych

Dotychczas przedstawiono różne metody wykonywania topoklimatycznych map analitycznych, tzn. map dotyczących poszczególnych elementów meteorologicznych lub wskaźników biometeorologicznych. Syntezą informacji zawartych na mapach analitycznych jest mapa, na której zaznaczone są obszary o jednorodnych cechach klimatycznych lub/i bioklimatycznych. W odniesieniu do zagadnień bioklimatycznych mapy takie noszą nazwę biotopoklimatycznych (Błażejczyk 1984, 1985, 1990a, 1990b, 1992).

W klimatologii do wydzielenia topoklimatów coraz częściej stosowana jest metoda oparta na analizie wielkości i struktury bilansu ciepłego powierzchni czynnej (Paszyński 1980; Grzybowski 1983, 1986). W bioklimatologii człowieka powierzchnią czynną jest powierzchnia ciała (patrz rozdz. II.5).

W celu określenia lokalnego zróżnicowania bilansu ciepłego człowieka rozpatruje się z jednej strony natężenie i strukturę strat ciepła z organizmu (z pominięciem strat ciepła na oddychanie, które ma niewielkie i mało zróżnicowane natężenie — $5-10 \text{ W m}^{-2}$):

$$\frac{C}{C+E+L} + \frac{E}{C+E+L} + \frac{L}{C+E+L} = 1 \quad [77]$$

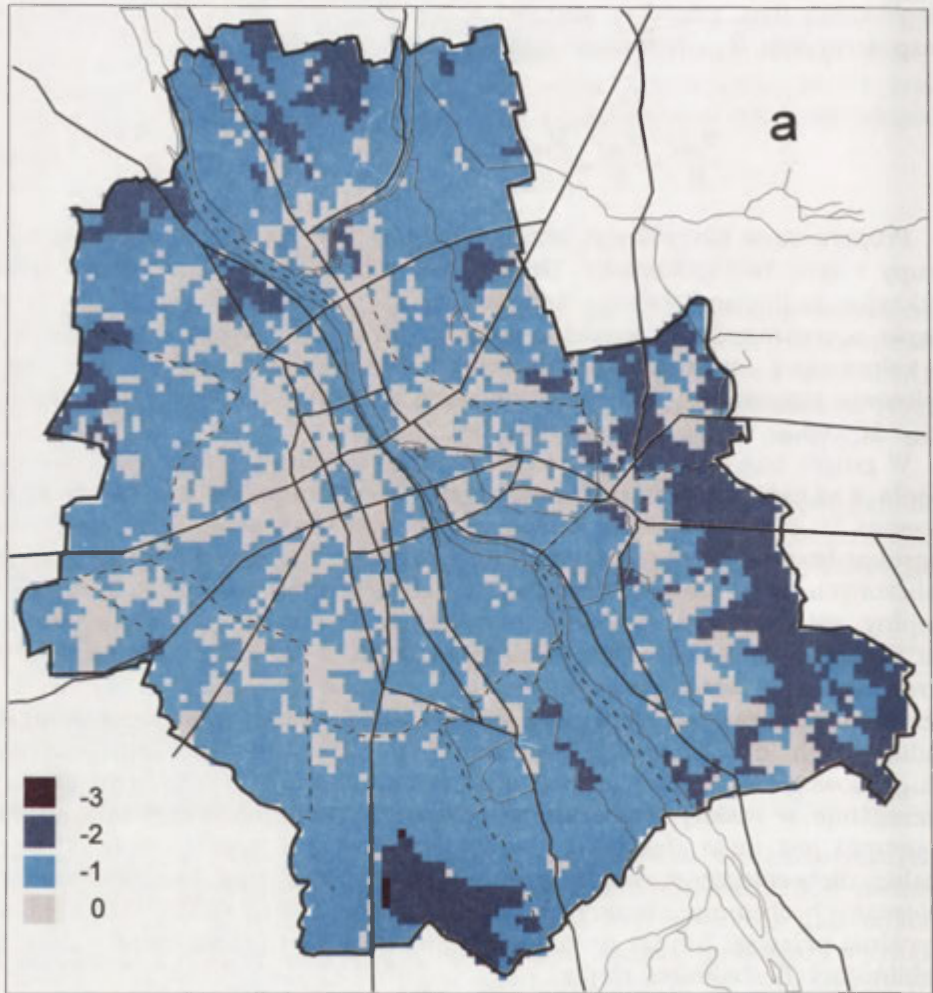
z drugiej natomiast — natężenie i strukturę pochłoniętego promieniowania słonecznego (tzn. udział w wartości R pochłoniętych ilości promieniowania bezpośredniego R_{dir} , rozproszonego R_{dif} i odbitego R_{ref}):

$$\frac{R_{dir}}{R} + \frac{R_{dif}}{R} + \frac{R_{ref}}{R} = 1 \quad [78]$$

Proponowana klasyfikacja biotopoklimatów jest dwustopniowa, obejmuje grupy i typy biotopoklimatu. Grupy biotopoklimatów (ewaporacyjne, konwekcyjne, radiacyjne, mieszane) charakteryzują się jednorodną strukturą strat ciepła z organizmu. W każdej z grup wydziela się 4 typy biotopoklimatu o jednorodnej strukturze pochłoniętego promieniowania słonecznego (refleksowy, insolacyjny, dyfuzyjny, zmienny). W sumie klasyfikacja obejmuje więc 16 typów biotopoklimatu (tab. 24).

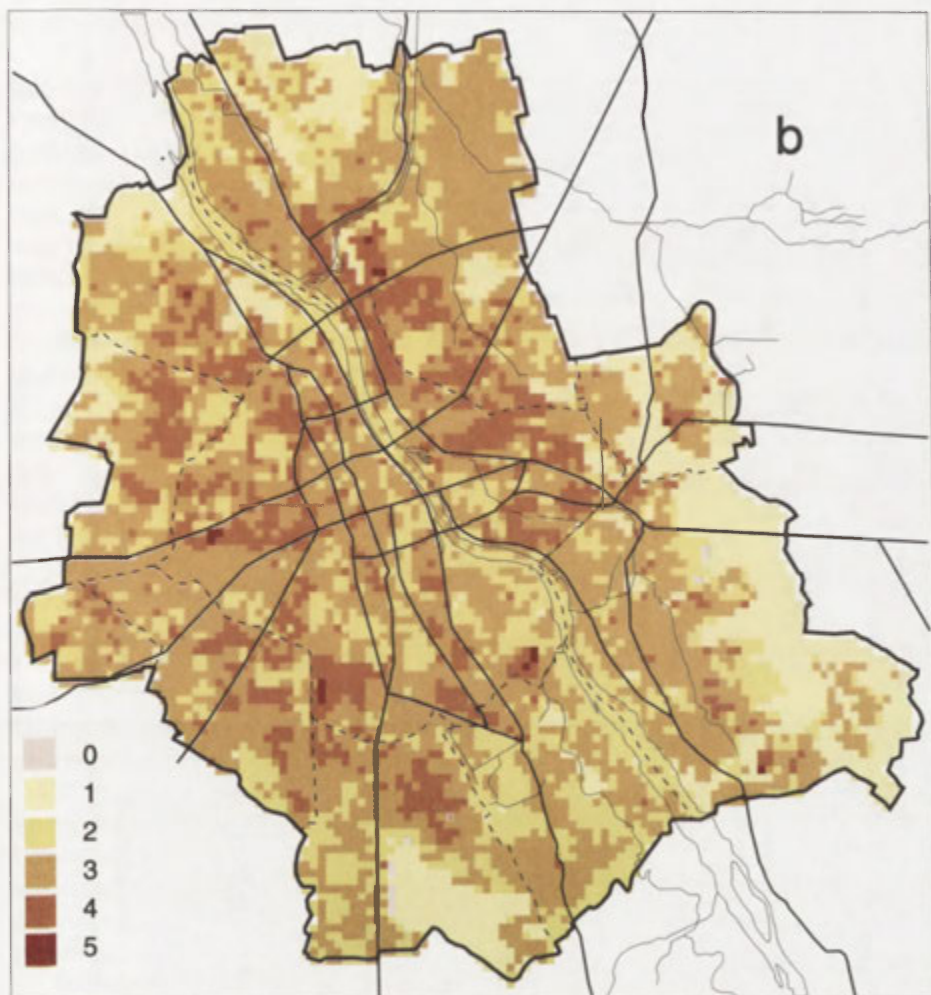
W grupie biotopoklimatów ewaporacyjnych dominującą formą oddawania ciepła z organizmu jest parowanie potu z powierzchni ciała. Strumień E stanowi 50-80% strat ciepła w stosunkowo wysokiej temperaturze otoczenia i jest bardzo sprawnym regulatorem równowagi cieplnej ustroju. Na obszarach zaliczonych do tej grupy biotopoklimatów obserwuje się zrównoważony bilans cieplny człowieka. W grupie biotopoklimatów konwekcyjnych dominuje turbulencyjne unoszenie ciepła jawnego; strumień C stanowi 50-80% ogólnych strat ciepła. W stosunkowo niskiej temperaturze powietrza należy się tu liczyć z przewagą strat ciepła nad jego przychodem. Grupa biotopoklimatów radiacyjnych charakteryzuje się znacznym udziałem wypromieniowania długofalowego w stratach ciepła; strumień L stanowi 30-60% strat ciepła, szczególnie w niskiej temperaturze otoczenia. Ta forma oddawania ciepła z ustroju jest mało efektywna i w sytuacji dużego dopływu ciepła istnieje realne niebezpieczeństwo przegrzania organizmu. Grupa biotopoklimatów mieszanych obejmuje obszary, na których żadna z form strat ciepła nie ma wyraźnej przewagi lub też następują częste, czasowe i przestrzenne wahania dominujących strumieni ciepła.

Typy biotopoklimatu wiążą się z natężeniem i strukturą pochłoniętego promieniowania słonecznego (R). W typie refleksowym dominuje bezpośrednio promieniowanie słoneczne (40-60%), a właściwości podłoża sprawiają, że duży jest także udział promieniowania odbitego (> 20%). Latem, podczas pogody słonecznej, natężenie R osiąga 110-120 W m⁻². W typie insolacyjnym dominuje bezpośrednio promieniowanie słoneczne (50-70%); latem, przy pogodzie słonecznej R osiąga natężenie 90-100 W m⁻². W typie dyfuzyjnym przeważa promieniowanie rozproszone przez drzewa i inne obiekty (50-90%); natężenie R może osiągnąć jedynie 30-60 W m⁻². W typie zmiennym obserwuje się duże zmiany czasowe i przestrzenne dominujących strumieni promieniowania



stres chłodu: -3 - umiarkowany, -2 - mały, -1 - bardzo mały
0 - warunki termoneutralne

Ryc. 27 a. Obciążenie cieplne człowieka w Warszawie, w różnych warunkach pogodowych obserwowanych na stacji Okęcie: a — $t = 20^{\circ}\text{C}$, $v = 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $h = 50^{\circ}$, $N < 50\%$, (wg Błażejczyka 1996)



0 - warunki termoneutralne

stres ciepła: 1 - bardzo mały, 2 - mały, 3 - umiarkowany, 4 - znaczny, 5 - duży

Ryc. 27 b. Obciążenie cieplne człowieka w Warszawie, w różnych warunkach pogodowych obserwowanych na stacji Okęcie: b — $t = 20^{\circ}\text{C}$, $v = 8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $h = 50^{\circ}$, $N < 50\%$ (wg Błażejczyka 1996)

Tabela 24. Klasyfikacja biotopoklimatów oparta na strukturze bilansu ciepłego człowieka (Błażejczyk 1990a)

| Typy biotopoklimatu | Grupy biotopoklimatów | | | |
|--|--|--|---|--|
| | Biotopoklimaty ewaporacyjne (straty ciepła na parowanie stanowią 50-80% całych strat ciepła) | Biotopoklimaty konwekcyjne (straty ciepła przez unoszenie stanowią 50-80% całych strat ciepła) | Biotopoklimaty radiacyjne (straty ciepła przez wypromieniowanie długofalowe stanowią 30-60% strat ciepła) | Biotopoklimaty mieszane (częste zmiany dominującej formy strat ciepła z organizmu) |
| Biotopoklimaty refleksowe (pochłonięte promieniowanie słoneczne osiąga do 120 W m ⁻² ; promieniowanie odbite przekracza 20% tej wartości) | 1.1. Biotopoklimat ewaporacyjno-refleksowy | 2.1. Biotopoklimat konwekcyjno-refleksowy | 3.1. Biotopoklimat radiacyjno-refleksowy | 4.1. Biotopoklimat mieszany refleksowy |
| Biotopoklimaty insolacyjne (pochłonięte promieniowanie słoneczne osiąga do 100 W m ⁻² ; promieniowanie bezpośrednie wynosi 60-80% tej wartości) | 1.2. Biotopoklimat ewaporacyjno-insolacyjny | 2.2. Biotopoklimat konwekcyjno-insolacyjny | 3.2. Biotopoklimat radiacyjno-insolacyjny | 4.2. Biotopoklimat mieszany insolacyjny |
| Biotopoklimaty dyfuzyjne (pochłonięte promieniowanie słoneczne wynosi 30-60 W m ⁻² ; promieniowanie rozproszone wynosi do 80% tej wartości) | 1.3. Biotopoklimat ewaporacyjno-dyfuzyjny | 2.3. Biotopoklimat konwekcyjno-dyfuzyjny | 3.3. Biotopoklimat radiacyjno-dyfuzyjny | 4.3. Biotopoklimat mieszany dyfuzyjny |
| Biotopoklimaty zmienne (pochłonięte promieniowanie słoneczne waha się od 30 do 120 W m ⁻² ; częste zmiany dominującego strumienia promieniowania) | 1.4. Biotopoklimat ewaporacyjny zmienny | 2.4. Biotopoklimat konwekcyjny zmienny | 3.4. Biotopoklimat radiacyjny zmienny | 4.4. Biotopoklimat mieszany zmienny |

pochłoniętego; natężenie R może latem podczas pogody słonecznej wahać się do 30 do 120 $W \cdot m^{-2}$.

Na podstawie opracowań termofizjologicznych (patrz rozdz. II.5.1) oraz wyników badań prowadzonych w różnych rodzajach środowiska geograficznego można określić charakterystyki poszczególnych klas biotopoklimatu (tab. 25).

Przystępując do wykonania mapy biotopoklimatycznej, należy dokonać jak najdokładniejszego kartowania terenu, zaznaczając jednorodne, charakterystyczne fragmenty rzeźby terenu, elementy zagospodarowania i użytkowania terenu, rodzaj podłoża i szaty roślinnej. Następnie, wykorzystując przedstawione w pierwszej części rozdziału metody, należy dla tych jednostek określić wartości temperatury powietrza i prędkości wiatru. Na podstawie wartości t i v można teraz, korzystając z uproszczonych formuł modelu MENEX (Błażejczyk 1993; zał. 1, zał. 2), obliczyć przybliżone natężenie poszczególnych strumieni i salda wymiany ciepła oraz określić strukturę jego strat.

Wśród form rzeźby terenu należy zaznaczyć przede wszystkim wąskie, głęboko wcięte doliny i zagłębienia oraz zbocza o ekspozycji południowej. W dolinach i zagłębieniach, na skutek utrudnionego ruchu powietrza, występują warunki sprzyjające panowaniu biotopoklimatów radiacyjnych (3.1, 3.2, 3.3, 3.4). Na zboczach o ekspozycji południowej, w wyniku silnego nagrzewania się podłoża i przygruntowej warstwy powietrza, występują warunki sprzyjające przewadze biotopoklimatów ewaporacyjnych (1.1, 1.2, 1.3, 1.4).

Warunki wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem są najsilniej modyfikowane przez lokalne różnice zagospodarowania i użytkowania terenu. Największe zróżnicowanie bilansu cieplnego występuje w obrębie zabudowy. Na przykład w luźnej zabudowie wiejskiej i podmiejskiej występuje biotopoklimat mieszany insulacyjny (4.2), a w zabudowie śródmiejskiej biotopoklimat radiacyjno-refleksowy (3.1), który najsilniej obciąża układ termoregulacyjny człowieka.

W przypadku szaty roślinnej istotne są: rodzaj, gęstość, wysokość i zwartość koron drzew. Ogólnie biorąc, wewnątrz lasów, parków i zadrzewień przeważają biotopoklimaty dyfuzyjne lub zmienne. Warunki biotopoklimatyczne mogą zmieniać się od radiacyjno-dyfuzyjnego (3.3) w młodnikach i lasach wilgotnych do mieszanego zmiennego (4.4) w starych parkach i w świetlistych lasach porastających brzegi zbiorników wodnych.

Istotne jest wyznaczenie obszarów zajętych przez świeże, wilgotne łąki, luźne, jasne piaski, powierzchnie betonowe oraz powierzchnie wodne. Te rodzaje podłoża charakteryzują się dużymi zdolnościami odbijania promieni słonecznych powodując, że w ich obrębie można się spodziewać występowania typów refleksowych biotopoklimatu.

Różnorodność środowiska geograficznego Polski jest bardzo duża i nie sposób jest podać charakterystyk biotermicznych każdego z jego typów. Niemniej, liczne badania prowadzone w różnych warunkach lokalnych pozwalają na podanie kilku przykładów struktury bilansu cieplnego człowieka (tab. 25). Przykład mapy biotopoklimatycznej krajobrazu pojeziernego (fragment Suwalskiego Parku Krajobrazowego) zawiera rycina 28.

Tabela 25. Charakterystyki termofizjologiczne poszczególnych biotopoklimatów (wg Błażejczyka 1990 b)

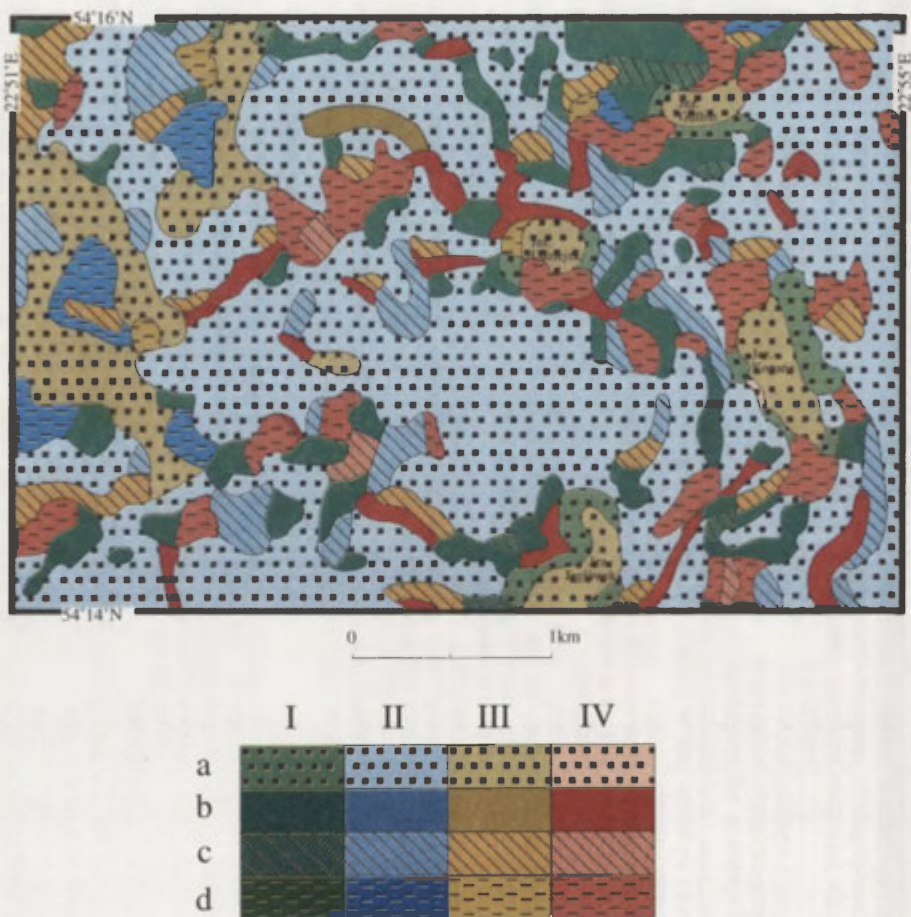
| Biotopoklimat | Reakcje fizjologiczne organizmu | Stan równowagi cieplnej organizmu | Dominujące odczucia cieplne | Obciążenie cieplne organizmu | Przykład występowania |
|---------------|---|---|--------------------------------|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1.1. | Intensywny przepływ krwi obwodowej przy bardzo dużym rozszerzeniu peryferycznych naczyń krwionośnych. Bardzo intensywne wydzielanie potu i jego parowanie. Temperatura skóry (T_s) znacznie wyższa od przeciętnej*. | wystarczająca fizjologiczna regulacja bilansu cieplnego | od ciepło do bardzo gorąco | mały lub umiarkowany stres gorąca | wydmy, wybetonowane place, polany śródleśne, równiny piaszczyste, świeże łąki w szerokich dolinach |
| 1.2. | Znaczne rozszerzenie peryferycznych naczyń krwionośnych i zwiększenie przepływu krwi. Intensywne wydzielanie i parowanie potu. T_s wyższa od przeciętnej. | jak w typie 1.1. | ciepło-gorąco | warunki termoneutralne lub bardzo mały stres gorąca | zbocza południowe, hałdy przemysłowe |
| 1.3. | Niewielkie rozszerzenie peryferycznych naczyń krwionośnych i zwiększenie przepływu krwi. Wydzielanie i parowanie potu oraz T_s nieco powyżej przeciętnej. | jak w typie 1.1. | komfortowo-ciepło | warunki termoneutralne lub bardzo mały stres zimna | suche bory i bory mieszane, zabudowa śródleśna |
| 1.4. | Częste zmiany ciśnienia tętniczego oraz intensywności wydzielania i parowania potu. T_s wyższa od przeciętnej. | jak w typie 1.1. | od komfortowo do bardzo gorąco | zmienne: od umiarkowanego stresu zimna do umiarkowanego stresu gorąca | parki leśne, zabudowa willowa |
| 2.1. | Ciśnienie tętnicze, przepływ krwi oraz wydzielanie i parowanie potu zbliżone do przeciętnych. T_s nieco niższa od przeciętnej. | niezbędny niewielki, dodatkowy dopływ ciepła | chłodno-komfortowo | warunki termoneutralne lub bardzo mały stres zimna | plaże piaszczyste, rozległe wyrobiska ziemne |
| 2.2. | Zwężenie peryferycznych naczyń krwionośnych i zmniejszenie przepływu krwi. Behawioralne zwiększenie metabolizmu. T_s niższa od przeciętnej. | niezbędny znaczny, dodatkowy dopływ ciepła | zimno-chłodno | mały do umiarkowanego stres zimna | rozległe pola, nieużytki lub suche murawy |
| 2.3. | Znaczne zmniejszenie przepływu krwi i zwężenie naczyń krwionośnych. Pojawia się drżenie mięśniowe i behawioralne zwiększenie metabolizmu. T_s znacznie niższa od przeciętnej. | okresowo niezbędny dodatkowy dopływ ciepła | od bardzo zimno do chłodno | umiarkowany, duży a nawet bardzo duży stres zimna | bory i bory mieszane porastające brzegi zbiorników wodnych |
| 2.4. | Częste zmiany ciśnienia tętniczego i przepływu krwi. Okresowe, behawioralne zwiększenie metabolizmu. T_s niższa od przeciętnej. | okresowo niezbędny dodatkowy dopływ ciepła | od komfortowo do bardzo zimno | zmienne: od bardzo małego do bardzo dużego stresu zimna | świetliste lasy nadbrzeżne |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|--|--|-----------------------------|--|--|
| 3.1. | Ciśnienie tętnicze, przepływ krwi i wydzielanie potu znacznie wyższe od przeciętnych**. Zakłócenia parowania potu. T_s znacznie wyższa od przeciętnej. | niebezpieczeństwo przegrzania organizmu, konieczne stosowanie wentylacji | gorąco-bardzo gorąco | duży a nawet bardzo duży stres gorąca | zabudowa śródmiej-ska i przemysłowa, świeże łąki w dnach wąskich dolin |
| 3.2. | Ciśnienie tętnicze, przepływ krwi i wydzielanie potu nieco wyższe od przeciętnych. Zakłócenia parowania potu. T_s wyższa od przeciętnej. | konieczne stosowanie wentylacji | ciepło-gorąco | umiarkowany lub duży stres gorąca | zabudowa wiejska, dna wąskich dolin i zagłębi |
| 3.3. | Ciśnienie tętnicze, przepływ krwi i wydzielanie potu oraz T_s zbliżone do przeciętnych. | jak w typie 1.1. | komfortowo-ciepło | warunki termoneutralne | świeże i wilgotne bory, bory mieszane i lasy |
| 3.4. | Stosunkowo niewielkie wahania parametrów fizjologicznych. Możliwe znaczne, chwilowe zmiany temperatury skóry. | okresowo niezbędne jest stosowanie wentylacji | od komfortowo do gorąco | zmiennie: od warunków termoneutralnych do dużego stresu gorąca | światliste bory i lasy, podmiejska zabudowa niska |
| 4.1. | Częste zmiany temperatury skóry i fizjologicznych reakcji organizmu na poziomie wyższym od przeciętnych. | okresowo konieczny dodatkowy dopływ ciepła lub stosowanie wentylacji | od chłodno do bardzo gorąco | zmiennie: od umiarkowanego stresu do dużego stresu gorąca | zwarta zabudowa miejska |
| 4.2. | Częste zmiany temperatury skóry i fizjologicznych reakcji organizmu na poziomie zbliżonym do przeciętnych. | fizjologiczna regulacja bilansu ciepłego jest w zasadzie wystarczająca | od chłodno do gorąco | zmiennie: od umiarkowanego stresu zimna do umiarkowanego stresu gorąca | pola z pasowymi zadrzewieniami, luźna zabudowa miejska |
| 4.3. | Częste zmiany temperatury skóry i fizjologicznych reakcji organizmu na poziomie niższym od przeciętnych. | jak w typie 4.2. | od zimno do ciepło | zmiennie: od dużego stresu zimna do umiarkowanego stresu gorąca | sady |
| 4.4. | Częste i duże zmiany temperatury skóry i fizjologicznych reakcji organizmu. | konieczne zmiany aktywności fizycznej i dostosowywanie odzieży do warunków otoczenia | od zimno do bardzo gorąco | zmiennie: od dużego stresu zimna do dużego stresu gorąca | zabudowa wielkoblokowa |

Podane w tabeli charakterystyki odnoszą się do sytuacji, gdy na odsłoniętej stacji meteorologicznej, podczas pogody słonecznej, panuje temperatura powietrza 18-24°C i prędkość wiatru 2-4 m·s⁻¹.

* Przeciętna, „komfortowa” temperatura skóry waha się w warunkach niestacjonarnych od 28 do 30°C.

** Przeciętne stany fizjologiczne odnoszą się do człowieka, który odczuwa warunki otoczenia jako „komfortowe”.

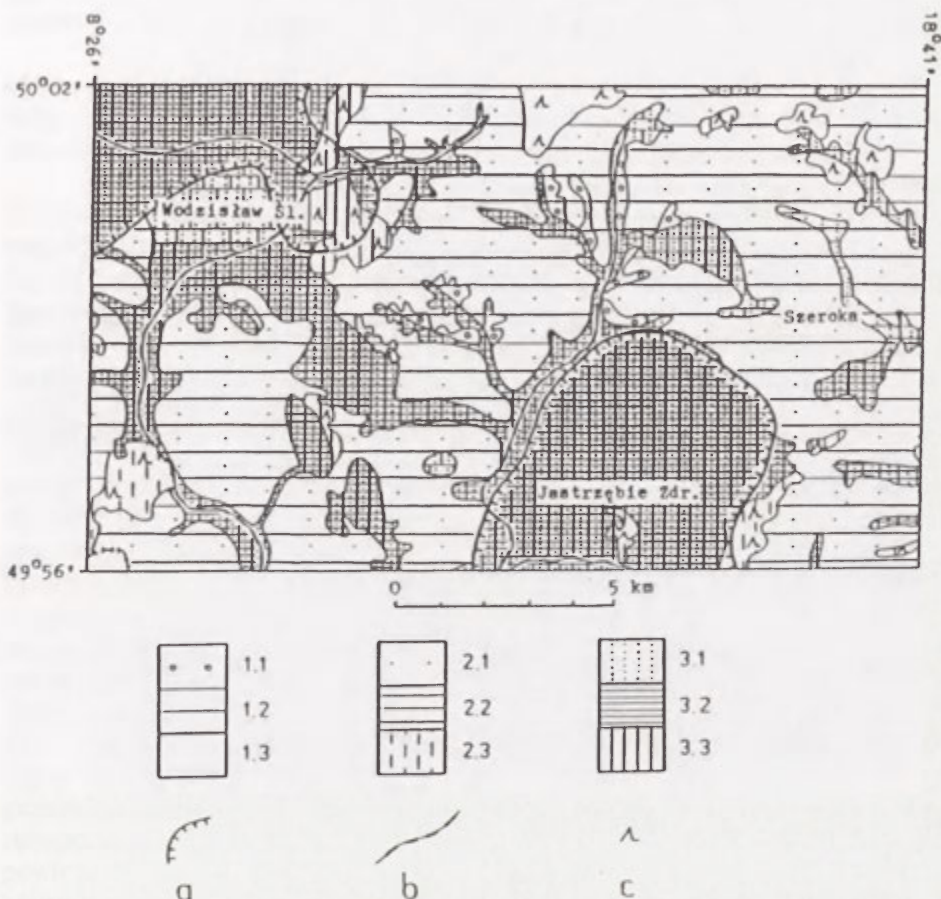


Ryc. 28. Jednostki biotopoklimatyczne na obszarze Suwalskiego Parku Krajobrazowego (Błażejczyk 1993)

I-IV — grupy biotopoklimatów: I — ewaporacyjne, II — konwekcyjne, III — radiacyjne, IV — mieszane;
a-d — typy biotopoklimatu: a — refleksowy, b — insolacyjny, c — dyfuzyjny, d — zmienny

5. Ocena lokalnych warunków bioklimatycznych

Ocena lokalnych warunków bioklimatycznych składa się z dwóch elementów: oceny warunków biotermicznych różnych części terenu oraz oceny specyficznych cech środowiska geograficznego. Oceny tych obydwóch elementów dokonuje się z punktu widzenia konkretnych potrzeb człowieka.



Ryc. 29. Topoklimatyczna mapa oceniająca okolice Jastrzębia Zdroju (Kozłowska-Szczęśna i in. 1983)

Obszary korzystne dla potrzeb: 1.1. — rolnictwa, 1.2. — mieszkalnictwa, 1.3. — rekreacji; obszary umiarkowanie korzystne dla potrzeb: 2.1. — rolnictwa, 2.2. — mieszkalnictwa, 2.3. — rekreacji; obszary niekorzystne dla potrzeb: 3.1. — rolnictwa, 3.2. — mieszkalnictwa, 3.3. — rekreacji; a — granica obszarów najbardziej zanieczyszczonych, b — najbardziej zanieczyszczone cieki rzeczne, c — obszary leśne

Lista tych potrzeb jest długa i ciągle uzupełniana. Do podstawowych należą jednak:

- warunki pracy,
- warunki życia i codziennej rekreacji na wolnym powietrzu,
- warunki wypoczynku pobytowego,
- warunki leczenia klimatycznego.

W zależności od szczegółowego celu badań, ocena lokalnego zróżnicowania warunków bioklimatycznych może być dokonywana także z punktu widzenia innych potrzeb.

Najczęściej stosowana jest 5-stopniowa skala oceny: warunki bardzo przydatne, warunki przydatne, warunki umiarkowanie przydatne, warunki mało przydatne i warunki nieprzydatne.

Istnieje wiele propozycji wykonania map oceniających lokalne warunki bioklimatyczne. W dużej mierze propozycje te zależą od rodzaju materiałów obserwacyjnych i kartograficznych, jakimi się dysponuje, oraz od doświadczenia autora w tym zakresie.

Wydaje się jednak, że najlepszą podstawą do wykonania mapy oceniającej jest połączenie informacji dotyczących z jednej strony obciążeń cieplnych i gospodarki cieplnej człowieka, z drugiej natomiast — występowania w różnych częściach terenu specyficznych cech środowiska geograficznego (zanieczyszczenia, obszary zastoiskowe chłodnego powietrza, substancje pochodzenia roślinnego itp). Przykład takiej mapy, wykonanej dla fragmentu Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, przedstawia rycina 29 (Kozłowska-Szczęsna 1990b). Ocena ta została wykonana z punktu widzenia potrzeb mieszkalnictwa, wypoczynku pobytowego oraz rolnictwa.

1. Wykorzystanie danych obserwacyjnych

Podstawowym materiałem służącym do oceny warunków bioklimatycznych badanego obszaru są wyniki wieloletnich obserwacji stacji i posterunków meteorologicznych sieci państwowej. Długość okresu obserwacyjnego, który należy przyjąć w opracowaniach bioklimatycznych, zależy przede wszystkim od realnych możliwości. Światowa Organizacja Meteorologiczna (WMO) zaleca, aby był on trzydziestoletni, np. 1961-1990, a w przypadku braku tak długiej jednorodnej serii obserwacyjnej, co najmniej dziesięcioletni, obejmujący lata rozpoczynające się na 1 i kończące na 0, np. 1961-1970. Przystępując do badań w skali regionalnej napotykamy wiele trudności w zgromadzeniu danych z jednorodnej długiej serii pomiarowej dla dużej liczby stacji. Oto najważniejsze z nich:

— Liczba stacji i posterunków meteorologicznych ulega ciągłym zmianom, mają one zatem różny okres obserwacji (systematyczne pomiary meteorologiczne są obecnie wykonywane na 64 stacjach i 260 posterunkach meteorologicznych). Ponadto na wielu posterunkach nie mierzy się wilgotności powietrza — elementu niezbędnego do obliczania niektórych wskaźników biometeorologicznych.

— Terminy pomiarów zostały w ostatnich latach zmienione dwukrotnie w 1971 i 1996 r. Do końca 1970 r. pomiary były wykonywane według miejscowego czasu słonecznego (3 razy na dobę) odpowiadającego godzinie 7 (I termin obserwacyjny), 13 (II termin obserwacyjny) i 21 (III termin obserwacyjny). Natomiast od 1 stycznia 1971 r. obserwacje prowadzone są w czasie urzędowym, tzn. w godzinach 7, 13, 19 (w zimie) i 8, 14, 20 (w lecie) oraz o godz. 1 lub 2 z samopisów.

— Dnia 1 stycznia 1996 r. nastąpiła zmiana w metodyce obserwacji, polegająca na wycofaniu stosowanych dotychczas termografów i higrografów. Terminy i zakres innych (poza samopisami) wykonywanych dotychczas obserwacji zostały zachowane.

— Zmianom ulegał też sposób liczenia średnich dobowych wartości temperatury powietrza (*Dies t*) i innych elementów meteorologicznych (*Dies x*).

Do roku 1966 wartości *Dies t* oraz *Dies x* obliczano na stacjach meteorologicznych według wzorów:

$$\text{Dies } t = \frac{t_{07} + t_{13} + 2 \cdot t_{21}}{4} \quad [79]$$

$$\text{Dies } x = \frac{x_{07} + x_{13} + 2 \cdot x_{21}}{3} \quad [80]$$

gdzie t_{07} , t_{13} , t_{21} — temperatura powietrza o godzinie 7, 13 i 21, x_{07} , x_{13} , x_{21} — wartości innych elementów meteorologicznych o godzinie 7, 13 i 21.

Wartości terminowe mierzono wtedy w czasie prawdziwym słonecznym.

Od 1 stycznia 1966 r. na stacjach meteorologicznych wartości średnie dobowe liczone na podstawie 8 obserwacji wykonywanych co 3 godziny, a średnie miesięczne z 4 obserwacji co 6 godzin (o 1, 7, 13, 19 czasu środkowoeuropejskiego, tzn. w głównych terminach międzynarodowych o 00, 6, 12, 18 GMT).

Na posterunkach meteorologicznych zmiany nastąpiły od 1 stycznia 1971 r.; średnia dobowa temperatura i wilgotność powietrza obliczane były na podstawie 4 obserwacji (wprowadzono dodatkowy odczyt z termohigrogramu z godz. 1). Po wycofaniu samopisów wprowadzono z dniem 1 stycznia 1996 r. nowe wzory do obliczania średniej dobowej temperatury (*Dies t*) i wilgotności względnej (*Dies f*) powietrza:

$$\text{Dies } t = \frac{t_{\min} + t_{\max} + t_{07} + t_{19}}{4} \quad [81]$$

$$\text{Dies } f = \frac{2 \cdot f_{07} + f_{13} + f_{19}}{4} \quad [82]$$

gdzie f_{07} , f_{13} , f_{19} — wilgotność względna powietrza o godzinie 7, 13 i 19.

W czasie urzędowym letnim są to godziny 8, 14 i 20.

— Korzystając z danych odnoszących się do zachmurzenia, należy pamiętać, że od 1966 r. podawane jest ono w oktantach (w skali 9-stopniowej — 0-8), a nie jak poprzednio w skali 11-stopniowej (od 0 do 10). Aby materiał obserwacyjny dotyczący zachmurzenia był porównywalny, należy stosować odpowiedni przelicznik.

— Kolejną trudnością jest wreszcie fakt, że nie wszystkie materiały i nie ze wszystkich stacji obserwacyjnych są opublikowane (brak jest np. lat: 1924, 1938-1948, 1950-1953, 1969-1972, 1977-1980). W ostatnich latach (od 1982 r.) IMGW zaniechał wydawania roczników meteorologicznych. Luki w materiałach publikowanych wymagają uzupełnienia w archiwach. Ceny stosowane w IMGW za udostępnienie danych archiwalnych są tak wysokie, że przekraczają możliwości ich zakupu przez placówki naukowe.

O ile wspomniane wyżej zmiany w terminach obserwacji i sposobie liczenia wartości średnich dobowych dość poważnie zakłócają zasadę jednorodności

danych w opracowaniach klimatologicznych, to w odniesieniu do studiów bioklimatycznych znaczenie tych zmian jest mniejsze. W opracowaniach bioklimatycznych główną uwagę zwraca się bowiem na ocenę warunków odczuwalnych, która wykonywana jest na podstawie wartości terminowych, a nie wartości średnich dobowych. Najczęściej wykorzystywane są wartości codzienne poszczególnych elementów meteorologicznych, mierzonych w południowym terminie obserwacyjnym. Istotna, z bioklimatycznego punktu widzenia, jest także częstość występowania zjawisk meteorologicznych oddziałujących na organizm człowieka. Za dzień z danym zjawiskiem przyjmuje się taki, w którym było ono zanotowane przynajmniej w jednym terminie obserwacyjnym.

Warunki bioklimatyczne Polski badano metodami przedstawionymi w II części opracowania. Wykorzystano wieloletnie studia metodyczne i badania poznawcze autorów w tym zakresie. Podstawą opracowania były materiały zawarte w dwóch pracach zespołowych *Wyniki badań bioklimatu Polski*, cz. I i II (Kozłowska-Szczęśna, red., 1986, 1991). Uwzględniono również wyniki badań — o charakterze syntetycznym — poszczególnych członków zespołu (Kozłowska-Szczęśna i in. 1983; Błażejczyk 1985, 1990d; Kozłowska-Szczęśna 1987a, 1987b, 1988, 1991; Krawczyk 1988, 1991; Kozłowska-Szczęśna i Krawczyk 1990; Błażejczyk i in. 1994). Ilustracją opisu są mapy rozkładu przestrzennego niektórych elementów meteorologicznych i wskaźników biometeorologicznych w miesiącach, w których występują ich wartości skrajne w przebiegu rocznym. Charakterystykę warunków bioklimatycznych oparto na danych dziesięcioletnich, 1961-1970, uznając je za reprezentatywne. W dziesięcioleciu tym wystąpiły bowiem lata o ekstremalnych warunkach pogodowych: z gorącym latem w 1963 r. oraz chłodnym latem w 1962 i 1965 r., z mroźnymi zimami 1962/63, 1969/70 i łagodną zimą 1960/61, z zimami śnieżnymi 1962/63, 1963/64, 1964/65, 1969/70 i zimą najmniej śnieżną 1960/61 oraz z mokrym latem 1966 i 1970 r., a także z suchym latem 1964 i 1969 r.

W literaturze zagranicznej nie ma zbyt wielu przykładów syntetycznych opracowań bioklimatu większych obszarów. Z istniejących wymienić należy np. studium Hiszpanii (Kozuchowski i Marciniak 1978), Litwy (Gricjute i in. 1979), Niemiec (Becker i Wagner 1972; Jendritzky 1990) oraz różnych obszarów byłego Związku Radzieckiego (Povolockaja 1975; Rusanov 1976; Rybin 1983; Daniłowa 1988). Jeżeli chodzi o opracowania krajowe, to podobnie jak w literaturze światowej, większość z nich odnosi się do miast, okręgów przemysłowych oraz uzdrowisk. Opracowań większych obszarów jest niewiele (np. Gregorczyk 1968, 1970; Dubaniewicz i in. 1971; Dubaniewicz 1974; Kozłowska-Szczęśna i in. 1983; Kozłowska-Szczęśna 1990; Obrębska-Starłowa i in. 1991).

2. Zróznicowanie fizycznogeograficzne Polski a warunki bioklimatyczne

Jednym z najważniejszych czynników kształtujących klimat, a zatem i bioklimat, jest położenie geograficzne. Polska leży w środku Europy, w strefie klimatu umiarkowanego, pomiędzy 49°00' a 54°50' szerokości geograficznej północnej. Położenie w tych szerokościach geograficznych decyduje o kącie padania promieni słonecznych w różnych porach roku. W związku z rozciągłością południkową (649 km) występuje różnica w czasie trwania najkrótszego i najdłuższego dnia w roku między północnymi i południowymi krańcami Polski. W lecie (21 VI) obszary północne kraju mają dzień o mniej więcej o godzinę dłuższy, a zimą (23 XII) o godzinę krótszy niż Polska południowa. Te różnice wpływają na czas usłonecznienia, na powstawanie pewnych niedoborów i nadmiarów energii otrzymywanej od Słońca.

Kolejnym czynnikiem klimatotwórczym jest oddalenie Polski od Oceanu Atlantyckiego i położenie na największym kontynencie kuli ziemskiej — Europie. Sprawia to, że nad Polską ścierają się wpływy oceaniczne z Europy Zachodniej z wpływami kontynentalnymi z Europy Wschodniej. Dlatego klimat naszego kraju uważany jest za przejściowy, o cechach bardziej kontynentalnych w części wschodniej i bardziej oceanicznych w części zachodniej. Dalsze modyfikacje klimatyczne zależne są od lokalnych czynników geograficznych, takich jak: rzeźba terenu, rodzaj podłoża, szata roślinna, stosunki wodne i użytkowanie terenu.

Urozmaiczone ukształtowanie powierzchni sprzyja zróżnicowaniu bodźców, a zatem i warunków bioklimatycznych, wynikających zarówno ze stanu atmosfery, jak i z różnych właściwości fizycznych podłoża. Główne cechy bioklimatu Polski omówiono w ramach jednostek fizycznogeograficznych J. Kondrackiego (1988), nawiązując do różnych krajobrazów w nich występujących.

Niziny przylegające do Morza Bałtyckiego (Pobrzeża Południowobałtyckie) charakteryzują się specyficznymi warunkami klimatycznymi, związanymi z położeniem tej jednostki na północnych krańcach Polski i podlegającej bezpośredniemu wpływom morza. Na nizinach nadmorskich wyróżniają się krajobrazy wydmore, deltowe i jeziorno-bagiennie. Charakteryzują się one intensywnym dopływem promieniowania słonecznego, dużą wietrznością, stosunkowo wysoką wilgotnością powietrza, niezbyt wysokimi dobowymi i rocznymi amplitudami temperatury oraz ocieplającym wpływem Bałtyku jesienią, a oziębiającym wiosną (Paszyński 1976, 1983). Silną bodźcowością odznaczają się plaże nadmorskie i wydmy niezalesione. Wybitnie niekorzystne warunki bioklimatyczne panują w obrębie krajobrazów bagiennych, są one nieprzydatne dla klimatoterapii.

Osobliwością tych obszarów jest występowanie w powietrzu korzystnego dla człowieka aerozolu morskiego; największa zawartość cząstek wody morskiej w powietrzu występuje na plażach. Należy także zwrócić uwagę na bryzy lądowe i morskie. Są one typowymi wiatrami lokalnymi, powstającymi w wy-

niku różnego nagrzewania się lądu i morza. Bryza morska występuje głównie w cieplej połowie roku. Częstość jej występowania na polskim wybrzeżu Bałtyku wynosi około 25 dni w roku. Zasięg bryzy jest stosunkowo niewielki; rzadko tylko dociera ona w głąb lądu na odległość większą niż kilkanaście kilometrów (Dubaniewicz 1974; Paszyński 1983). Bryza może pojawiać się zarówno przy ciszy lub słabym wietrze, jak też podczas stosunkowo silnych wiatrów wiejących od lądu. W tym drugim przypadku bryza ma charakter lokalnego frontu chłodnego i wkracza na ląd dopiero w godzinach okołopołudniowych, przynosząc ze sobą nagłe ochłodzenie, co po okresie nagrzania może spowodować zaburzenia gospodarki cieplnej organizmu człowieka. To gwałtowne ochłodzenie — niekiedy aż o 10°C — trwa zwykle do nocy. Natomiast przy ciszy lub słabym wietrze bryza wkracza na ląd już wcześniej rano, uniemożliwiając nagrzanie się powietrza nad lądem (Michalczewski 1965).

W miarę przemieszczania się w głąb lądu najszybciej maleje zawartość w powietrzu aerozolu morskiego, nieco wolniej prędkość wiatru, natomiast wpływ morza na temperaturę i wilgotność powietrza oraz całkowite promieniowanie słoneczne sięga kilku kilometrów (Flemming 1983). Bodźcowość klimatu obszarów nadmorskich może być zmieniana poprzez lasy i zadrzewienia, a także przez odpowiednie urządzenia, takie jak: pawilony, werandy, kosze plażowe, solaria, ścieżki zdrowia itp.

Na południe od wybrzeża Bałtyku rozciągają się Pojezierza Południowo-bałtyckie i Wschodniobałtyckie o urozmaiconym krajobrazie: równin i wzniesień morenowych, pagórów i sandrów, zalewowych den dolin oraz tarasów z wydmami. Oddalenie od Bałtyku sprawia, że panują tu, ogólnie biorąc, łagodniejsze niż nad morzem warunki bioklimatyczne. Silniejsze bodźce występują okresowo w dolinach rzecznych, we wklęsłych formach terenu, szczególnie o podmokłym dnie, a także na polanach śródleśnych. Im większy jest udział na danym obszarze terenów podmokłych, tym gorsze warunki bioklimatyczne ze względu na zwiększoną wilgotność powietrza oraz prawdopodobieństwo wystąpienia stanów parności podczas gorących dni letnich. Łagodny bioklimat wzniesień ulega zmianom spowodowanym ekspozycją do słoneczną i dowietrzną zboczy, zróżnicowaniem rzeźby, rodzajem podłoża i pokrycia terenu. Wody śródładowe wykazują podobne efekty bioklimatyczne jak morze, jednak w mniejszej skali. Występują tu bodźce klimatyczne o natężeniu uzależnionym od wielkości zbiornika i pokrycia terenu. Różnorodność krajobrazu tej części Polski sprzyja dużej zmienności bodźców klimatycznych.

Centrum kraju to Niziny Środkowopolskie o mało urozmaiconej rzeźbie. Pozwala to na swobodne przenikanie się wpływów oceanicznych i kontynentalnych. Swobodna cyrkulacja powietrza i monotonna rzeźba terenu przyczyniają się do zniwelowania różnic w wartościach poszczególnych elementów meteorologicznych, a zatem i do złagodzenia bodźców. Niziny leżą w cieniu opadowym otaczających je wzniesień, opady są tu więc stosunkowo niewielkie. Na obszarach tych zaznacza się spadek temperatury powietrza i zwiększenie amplitud rocznych z południo-zachodu w kierunku północno-wschodnim. Charakterystycznymi dla Niziny Polskiego formami krajobrazu są doliny rzeczne,

tarasy rzeczne z wydrami i rozległe równiny akumulacyjne. W dolinach rzecznych występują okresowo silne bodźce uzależnione od rodzaju podłoża, głębokości doliny i pokrycia terenu.

Wyżyny na południu kraju (Wyżyna Śląsko-Krakowska, Wyżyna Środkowomałopolska, Wyżyna Wschodniomałopolska) cechują się łagodnym bioklimatem. W krajobrazie dominują wzniesienia i doliny rzeczne. Silniejsze bodźce występują na szczytach i zboczach wzniesień oraz w obniżeniach predysponowanych do zalegania chłodnego powietrza. W okresie zimowym pokrywa śnieżna występuje tu przeciętnie dwukrotnie dłużej aniżeli na niżu, sprzyjając sportom zimowym.

Pomiędzy Wyżynami a Karpatami znajduje się obniżenie tektoniczne obejmujące kilka kotlin (Północne Podkarpacie). W krajobrazie zaznaczają się rozległe równiny, doliny rzeczne i płaskowyże. Przeważają tu bodźce słabe, niekiedy tylko silniejsze w dolinach rzek. Charakterystyczną cechą tej jednostki fizycznogeograficznej jest wysoka temperatura powietrza w okresie letnim.

Obszary podgórskie i górskie (Sudety i Karpaty) mają warunki bioklimatyczne nieco zbliżone do wyżyn z tym jednak, że występują tu bodźce klimatyczne o większym natężeniu, związane z rzeźbą terenu. Osobliwością gór jest spadek cząstkowego ciśnienia tlenu w miarę wzrostu wysokości, wzrost intensywności promieniowania słonecznego, znaczna prędkość wiatru i niska temperatura powietrza, duża zmienność widzialności oraz zmniejszone zanieczyszczenie powietrza (szczególnie w strefie szczytów). Silne bodźce klimatyczne występują często w dolinach, na zboczach, a także na szczytach wzniesień i gór.

Z bioklimatycznego punktu widzenia na szczególną uwagę zasługują wiatry górskie typu fenowego, np. wiatr halny w Tatrach. Wiatry te powstają w wyniku dużych różnic ciśnienia atmosferycznego po obu stronach gór: wysokiego po południowej, a niskiego po stronie północnej łańcucha górskiego. Wiatry fenowe są ciepłe i suche, osiągają nieraz bardzo duże prędkości (do $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na stokach i do $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ w dolinach). W Sudetach, wobec mniejszej wysokości względnej, siła wiatru i efekty fenowe są słabsze niż w Tatrach, lecz zasięg ich jest większy niż w Karpatach, co przypisać należy przebiegowi głównych grzbietów. Wiatry fenowe występują najczęściej w okresie od października do maja, wyjątkowo mogą zdarzać się także w lecie.

Wschodnie obszary Polski podlegają wpływom klimatu kontynentalnego. Na północy (Wysoczyzny Podlasko-Białoruskie) krajobraz nizinny urozmaicają niewielkie wzniesienia oraz rozległe zabagnione obniżenia. Temperatura powietrza jest tu niska, wiatry stosunkowo silne, pokrywa śnieżna wysoka i długo zalegająca. Przesuwając się ku południowi kraju (Polesie, Wyżyna Wołyńsko-Podolska, Wschodnie Podkarpacie, Beskidy Wschodnie), krajobraz równinny zmienia się w wyżynny. Zaznacza się wyraźnie wzrost temperatury powietrza, w porównaniu z północno-wschodnimi obszarami kraju. Na Pobrzeżach Wschodniobałtyckich kontynentalne cechy klimatu są łagodzone wpływami morskimi.

Należy także poświęcić nieco uwagi krajobrazom leśnym. Lasy i zadrzewienia wywierają istotny wpływ na odczuwalne warunki klimatyczne. Wpływ ten zależy od wielkości obszaru zalesionego, od składu gatunkowego drzew, gęstości drzewostanu, struktury piętrowej lasu, rodzaju gleby i rzeźby terenu. Obszary leśne łagodzą warunki klimatyczne i bioklimatyczne (patrz rozdz. III.1.3). Odznaczają się one ponadto: czystością powietrza wzbogacającego substancjami zapachowymi (fitoncydy), zdolnością pochłaniania zanieczyszczeń gazowych i pyłowych, przechwytywaniem opadów przez korony drzew (intercepcja), wygłuszaniem hałasu oraz długim zaleganiem pokrywy śnieżnej.

Odrębnym zagadnieniem jest wpływ obszarów zabudowanych na warunki bioklimatyczne. Uprzemysłowienie, urbanizacja i komunikacja powodują wyraźne zmiany w środowisku atmosferycznym dużych aglomeracji. Natężenie poszczególnych bodźców zmienia się w przestrzeni i czasie, a zależy od wielkości miasta, rodzaju zabudowy, rzeźby terenu i stopnia zazielenienia. Najistotniejszą właściwością bioklimatu miasta jest zła jakość powietrza. W wyniku zanieczyszczeń powietrza zmniejsza się przezroczystość atmosfery i zostaje osłabiony dopływ promieniowania słonecznego, w tym także biologicznie aktywnego promieniowania nadfioletowego; wzrasta częstość występowania mgieł. W zanieczyszczonym powietrzu zwiększa się ilość drobnoustrojów chorobotwórczych. Miasta i okręgi przemysłowe oddziałują na warunki bioklimatyczne nie tylko poprzez emisję zanieczyszczeń powietrza i hałas, lecz także przez wpływ na odczuwalność ciepłą człowieka.

3. Czynniki cyrkulacyjne kształtujące warunki bioklimatyczne

3.1. Typy cyrkulacji

Nad obszar Polski napływają różne masy powietrza formowane w kilku ośrodkach działalności atmosferycznej. Należą do nich: niż islandzki, wyż azorski, niż wschodnioazjatycki i niż południowoazjatycki. Spośród wielu sytuacji synoptycznych można wydzielić pewne charakterystyczne typy cyrkulacji atmosferycznej, od których zależy kształtowanie się pogody i klimatu, a zatem i bioklimatu w naszym kraju. W Polsce najczęściej występują, według danych za lata 1961-1970 (Osuchowska-Klein 1978, 1987), następujące typy cyrkulacji: północno-wschodnia antycyklonalna (E), obejmująca 15% dni w roku, z maksimum w czerwcu, maju i sierpniu, północno-zachodnia cyklonalna (CB) — 13%, z maksimum w lipcu i grudniu, zachodnia antycyklonalna (C₂D) — 13% z maksimum w lecie, południowo-wschodnia i wschodnia antycyklonalna (E₁) — 10%, z maksimum w styczniu, jesienią i wiosną oraz zachodnia cyklonalna (A) — 9%, najczęstsza we wrześniu, listopadzie, styczniu i sierpniu. Dla zimy typowa jest północno-zachodnia cyrkulacja cyklonalna (CB — 14%), wiosną i latem przeważa północno-wschodnia cyrkulacja antycyklonalna

(E — 15% i 22%), natomiast jesienią największą częstość wykazuje południowo-wschodnia i wschodnia cyrkulacja cyklonalna (\bar{E}_1 — 13%).

Układy wyżowe (antycyklonalne) występują w Polsce przez połowę dni w roku, zwiększoną ich częstością odznacza się zwłaszcza czerwiec (59%) i październik (61% dni w miesiącu). Najmniej wyżów obserwujemy w listopadzie (40%) i w kwietniu (42%).

Nad Polską dominuje cyrkulacja zachodnia z przewagą mas powietrza polarno-morskiego napływającego z Oceanu Atlantyckiego. Adwekcja takiej masy powietrza powoduje w zimie duże zachmurzenie, opady, mgły i ocieplenie, a w lecie — ochłodzenie z opadami. Na podobne cechy ogólne klimatu Polski zwracają także uwagę J. Paszyński i T. Niedźwiedz (1991).

3.2. Masy powietrza

Z braku opublikowanych danych odnoszących się do częstości występowania mas powietrza w Polsce, posłużono się danymi za lata 1961-1970 dla Polski południowej (Niedźwiedz 1981). Masy powietrza polarno-morskiego napływają średnio w roku przez ponad 50% dni. W tej liczbie 20% to masy powietrza polarno-morskiego świeżego, ulegające po pewnym czasie zmianom pod wpływem podłoża, a 32% to masy polarno-morskie stare, przetransformowane, najczęstsze w naszych warunkach klimatycznych.

Masy powietrza polarno-kontynentalnego, spływające z obszaru Europy Wschodniej, występują średnio przez 23% dni w roku. Masom tym towarzyszy na ogół pogoda słoneczna, zimą mroźna, a latem gorąca. Powietrze arktyczne, pochodzące z lodowych obszarów Arktyki, najczęściej napływa na wiosnę, powodując spadki temperatury powietrza, niekiedy z obfitymi opadami śniegu. Udział tych mas wynosi średnio 6% dni w roku. Równie rzadko dociera nad Polskę powietrze zwrotnikowe. Jest ono wilgotne i bardzo ciepłe; latem towarzyszy mu pogoda parna i burzowa, zimą odwilżowa z mgłami i mżawką. Sytuacje, gdy w ciągu doby zmienia się masa napływającego powietrza, obejmują 9% dni w lecie, 8% na wiosnę, 7% na jesieni oraz 5% w zimie.

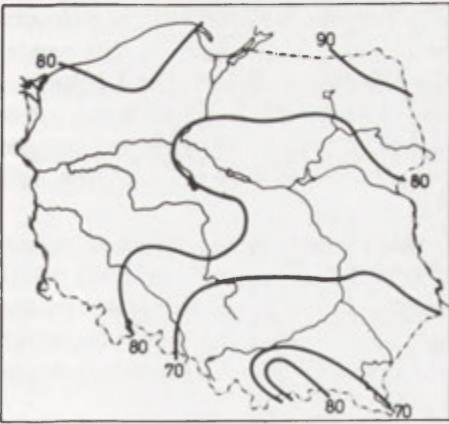
Masy powietrza, napływające nad obszar Polski, oddzielone są od siebie frontami atmosferycznymi. Przez blisko połowę dni w roku (45%) przechodzą nad Polską południową fronty atmosferyczne powodujące duże zmiany w wartościach poszczególnych elementów meteorologicznych. Największą częstością występowania odznacza się front chłodny, średnio 17%, tj. około 60 dni w roku z maksimum w lecie (19%). Jednolity typ masy powietrza (bez frontów) występuje przez ponad połowę dni w roku (55%), z maksimum od lipca do września oraz w grudniu.

3.3. Typy pogody

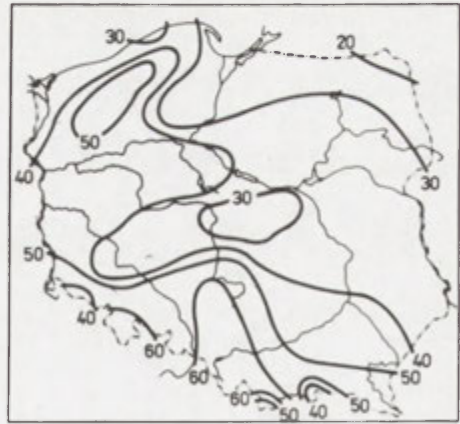
Rodzaj cyrkulacji i masa powietrza decydują o typie pogody. W warunkach klimatu przejściowego typ pogody zmienia się często, co jest cechą charak-

terystyczną klimatu Polski. Wyróżniono pewne typy pogody o ściśle określonych układach poszczególnych elementów meteorologicznych. W typologii K. Błażejczyka (1990d) wyróżnia się dwie podstawowe grupy pogody: korzystne i niekorzystne dla różnych form pracy i wypoczynku człowieka. Pogoda korzystna cechuje się małym lub umiarkowanym zachmurzeniem, odczuwalnością cieplną „komfortowo” lub „ciepło”, brakiem opadów (lub krótkotrwałymi opadami przelotnymi) oraz brakiem stanów parności i mgieł (lub krótkotrwałymi mgłami porannymi). Pogoda niekorzystna to taka, podczas której istnieje możliwość przechłodzenia lub przegrzania organizmu człowieka, jak również pogoda z całodzienną mgłą lub opadem atmosferycznym.

W przebiegu rocznym korzystne warunki pogodowe występują niemal w całej Polsce na przełomie wiosny i lata oraz na początku jesieni. W lecie zaznacza się spadek częstości pogód korzystnych, wynoszący od 5% do 15%. W górach najczęściej dni z pogodą korzystną mają miesiące od sierpnia do października. Zimowe minimum najwyraźniej widoczne jest nad morzem. W rozkładzie przestrzennym zaznacza się wzrost liczby dni z korzystnymi warunkami pogodowymi z północy ku południowi kraju, z wyłączeniem partii szczytowych gór, zarówno w roku (od ok. 75 do ponad 130 dni), jak i w półroczu chłodnym. W półroczu ciepłym natomiast pogody korzystne występują najczęściej na Pojezierzach Południowobałtyckich, Nizinach Środkowopolskich oraz na Pogórzach. Na załączonych mapach przedstawiono rozkład przestrzenny częstości pogód korzystnych w lipcu (ryc. 30) i w styczniu (ryc. 31), a więc w miesiącach o największej i najmniejszej ich liczbie w roku.

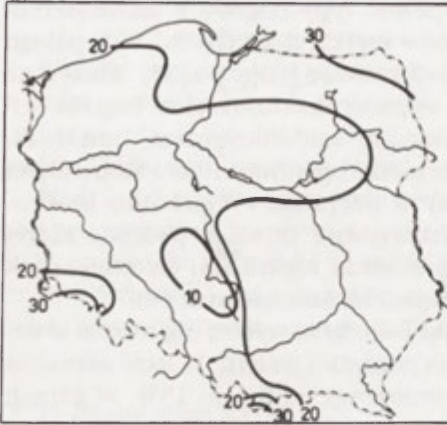


Ryc. 30. Średnia częstość (%) dni z pogodą korzystną dla człowieka w lipcu, 1961-1970 (K. Błażejczyk)

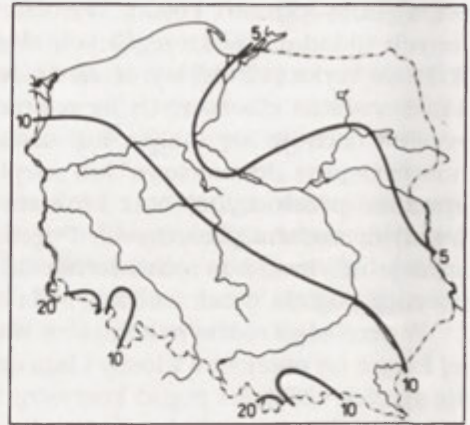


Ryc. 31. Średnia częstość (%) dni z pogodą korzystną dla człowieka w styczniu, 1961-1970 (K. Błażejczyk)

Najwięcej dni z pogodą niekorzystną pojawia się późną jesienią i zimą. Letni wzrost częstości tej grupy pogód wiąże się z częstymi opadami i stanami parności. Najmniej niekorzystnych sytuacji pogodowych występuje wiosną



Ryc. 32. Średnia częstość (%) dni z pogodą niekorzystną dla człowieka w styczniu, 1961-1970 (K. Błażejczyk)



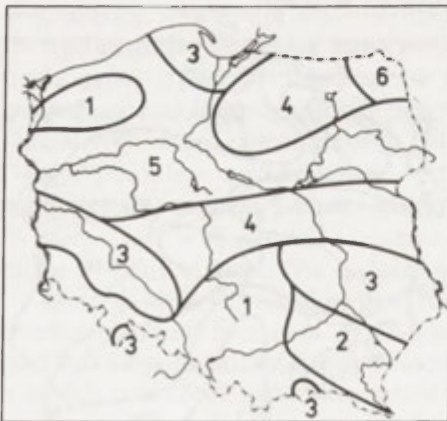
Ryc. 33. Średnia częstość (%) dni z pogodą niekorzystną dla człowieka w lipcu, 1961-1970 (K. Błażejczyk)

i na początku lata oraz wczesną jesienią. Najczęściej notuje się ją w górach (150-200 dni w roku), nad morzem, na północo-wschodzie kraju i w Kotlinie Sandomierskiej (ponad 50 dni), najrzadziej natomiast w Polsce środkowej (poniżej 30 dni). W półroczu ciepłym na Wybrzeżu Zachodnim, nad dolną i środkową Wisłą, a także na Wyżynie Śląskiej liczba dni z pogodą niekorzystną jest niewielka. Wyżyna Śląska i centrum kraju mają także najmniej dni z pogodą niekorzystną w półroczu chłodnym; najwięcej tych dni występuje na Pojezierzach Wschodniobałtyckich. Miesiącem o największej częstości pogody niekorzystnej jest styczeń (ryc. 32); najrzadziej występuje ona w lipcu (ryc. 33).

Biorąc pod uwagę częstość występowania w dziesięcioleciu 1961-1970, różnych sytuacji pogodowych, można wyróżnić w poszczególnych częściach Polski następujące, korzystne okresy pogodowe:

— nad morzem — od czerwca do września; jednakże i w tym okresie występują stosunkowo częste kontrastowe zmiany pogody z dnia na dzień, obejmujące ponad połowę dni w miesiącu,

— na obszarach nizinnych — od kwietnia do października; szczególnie



Ryc. 34. Typy terenu o różnej strukturze warunków pogodowych (K. Błażejczyk)

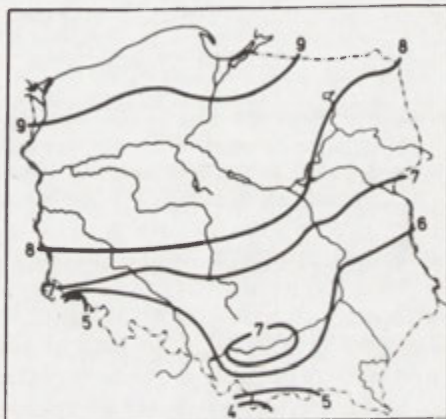
warunki pogodowe: 1 — oszczędzające od wiosny do jesieni, z małą liczbą silnie obciążających, 2 — oszczędzające od wiosny do jesieni, silnie obciążające zimą, 3 — oszczędzające latem i jesienią, silnie obciążające zimą, 4 — oszczędzające wiosną i latem, silnie obciążające zimą, 5 — oszczędzające latem, silnie obciążające zimą, 6 — oszczędzające latem, silnie obciążające zimą i wiosną

korzystnie wyróżnia się koniec wiosny i początek lata oraz początek jesieni; duże zmiany pogody z dnia na dzień obserwowane są zaledwie w ciągu kilku dni w miesiącu,

— na pogórzach i w górach — wybitnie korzystne warunki pogodowe są jesienią; duże zmiany pogody z dnia na dzień występują głównie w zimie i wczesną wiosną, obejmując mniej niż połowę dni w miesiącu.

Na mapie (ryc. 34) wyróżniono 6 typów terenu o charakterystycznej strukturze warunków pogodowych.

Pogoda związana z przechodzeniem frontów atmosferycznych i zmianą układów barycznych powoduje występowanie dużych różnic w wartościach poszczególnych elementów i wskaźników biometeorologicznych, co z kolei ma niezaprzeczalny wpływ na zdrowie i samopoczucie człowieka. Towarzyszące zmianom pogody wahania ciśnienia atmosferycznego są odczuwane przez organizm człowieka jako silny bodziec wtedy, gdy podwyższenie lub obniżenie średniej dobowej wartości ciśnienia przekracza 8 hPa. Najwięcej dni z dużymi zmianami ciśnienia atmosferycznego obserwujemy w zimie; w grudniu blisko 10 dni (ryc. 35), w styczniu około 8 dni. Najmniej dni niekorzystnych, z punktu widzenia dużych zmian ciśnienia atmosferycznego z dnia na dzień, jest w sierpniu i czerwcu (ok. 1 dnia) oraz w lipcu (ok. 2 dni). Liczba dni z dużymi zmianami ciśnienia atmosferycznego z dnia na dzień w ciągu całego roku jest największa na północy kraju (od 55 do ponad 60) i zmniejsza się ku południowi. W półroczu chłodnym liczba tych dni jest przeciętnie trzykrotnie większa niż w półroczu ciepłym, i to na całym obszarze Polski.

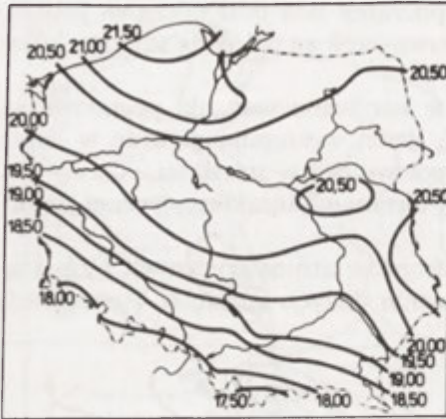


Ryc. 35. Średnia liczba dni z dużymi zmianami ciśnienia atmosferycznego > 8 hPa (z dnia na dzień) w grudniu, 1961-1970 (T. Kozłowska-Szczęsna)

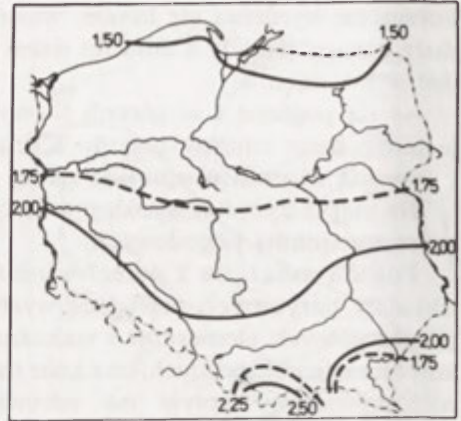
4. Stosunki radiacyjne

4.1. Promieniowanie słoneczne i usłonecznienie

Energia Słońca ma ogromne znaczenie w kształtowaniu się klimatu i związanych z nią procesów biologicznych. Polska leży w strefie optymalnego natężenia promieniowania nadfioletowego (biorąc pod uwagę tylko czynniki astronomiczne), która rozciąga się między 42° a 57° szerokości geograficznej północnej (Daniłowa 1988). Istnieje zatem możliwość praktycznego wykorzysta-



Ryc. 36. Średnie sumy całkowitego promieniowania słonecznego ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dzień}^{-1}$) w czerwcu, 1961-1970 (T. Kozłowska-Szczęsna)

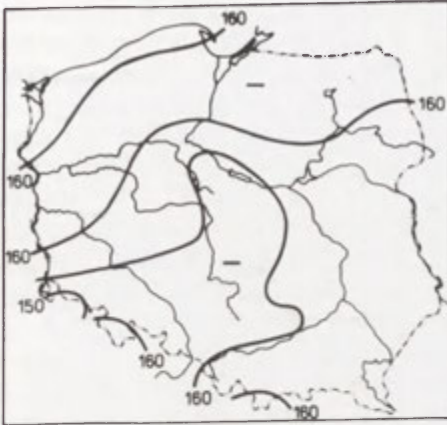


Ryc. 37. Średnie sumy całkowitego promieniowania słonecznego ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dzień}^{-1}$) w grudniu, 1961-1970 (T. Kozłowska-Szczęsna)

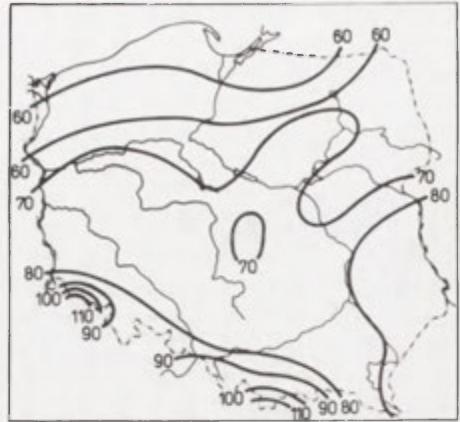
tania tego promieniowania, przede wszystkim na potrzeby klimatoterapii. Całkowite promieniowanie słoneczne osiąga najwyższe sumy w czerwcu (ryc. 36) nad morzem (do blisko $22,0 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$), a najniższe w grudniu (ok. $3,0 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) w górach (ryc. 37). W rozkładzie przestrzennym, w półroczu ciepłym osiąga ono najwyższe sumy w centrum oraz na południo-wschodzie kraju ($14,8\text{-}15,2 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$), a najniższe na zachodzie ($14,2 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). W półroczu chłodnym natomiast całkowite promieniowanie słoneczne maleje z południa ku północy, osiągając minimum na północy Polski (poniżej $5,0 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$).

Z bioklimatycznego punktu widzenia istotna jest (oprócz promieniowania nadfioletowego) ta część strumienia promieniowania całkowitego, która jest pochłonięta przez ciało człowieka i stanowi zewnętrzne źródło ciepła (R). Do wyznaczenia R przyjęto pionowy walec, jako geometryczny model człowieka (Krawczyk 1993). Średnie roczne natężenie promieniowania pochłoniętego w przedziale godzinowym (12-13) jest na obszarze Polski mało zróżnicowane. Największe wartości, $130\text{-}140 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ średnio w roku, obserwowane są w Polsce północnej i południowo-wschodniej. Najwyższe w ciągu roku wartości R ($150\text{-}170 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) występują na przeważającym obszarze kraju we wrześniu (ryc. 38). Tylko w Polsce północnej maksymalne wartości R obserwowane są w czerwcu, a w wyższych partiach gór — w marcu. Najniższe w ciągu roku natężenie promieniowania słonecznego pochłoniętego przez powierzchnię ciała człowieka na obszarze całego kraju występuje w grudniu (ryc. 39), osiągając zaledwie około $60 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ w części północnej i $70\text{-}90 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ w części środkowej i południowej.

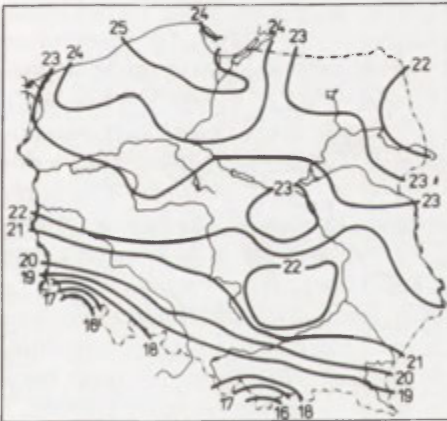
Podobne tendencje (jak promieniowanie całkowite) wykazuje usłonecznienie rzeczywiste i usłonecznienie względne (Kuczmarski i Paszyński 1981; Kuczmarski 1982, 1984, 1990; Kozłowska-Szczęsna, red., 1986, 1991; Paszyński i in. 1991), a także liczba dni ze średnim usłonecznieniem ponad 4 godziny dziennie. W dni z usłonecznieniem trwającym przez 4 godziny dziennie, przy wy-



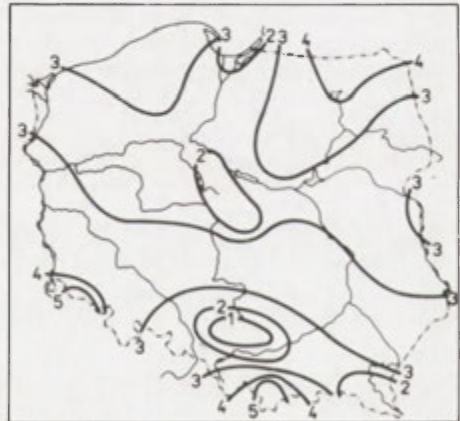
Ryc. 38. Średnie wartości promieniowania słonecznego pochłoniętego przez człowieka nie ubranego ($W m^{-2}$) we wrześniu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)



Ryc. 39. Średnie wartości promieniowania słonecznego pochłoniętego przez człowieka nie ubranego ($W m^{-2}$) w grudniu, II termin obserwacyjny, 1961-1970



Ryc. 40. Średnia liczba dni z usłonecznieniem > 4 godziny dziennie w czerwcu, 1961-1970 (T. Kozłowska-Szczęсна)



Ryc. 41. Średnia liczba dni z usłonecznieniem > 4 godziny dziennie w grudniu, 1961-1970 (T. Kozłowska-Szczęсна)

sokości Słońca 20° nad horyzontem, można spodziewać się działania biologicznego i leczniczego, a przy wysokości 30° — odpowiednich warunków dla celów helioterapii. Warunki takie w naszym kraju występują w miesiącach od kwietnia do września. Średnia liczba dni z usłonecznieniem ponad 4 godziny jest najwyższa w czerwcu (powyżej 25 nad morzem), co jest związane z najdłuższym dniem w tym miesiącu, a najniższa w grudniu (ponad 9 dni w górach). Rozkład przestrzenny liczby dni z usłonecznieniem powyżej 4 godzin w obu tych miesiącach przedstawiono na mapach (ryc. 40, 41). Naj-

korzystniejsze obszary z punktu widzenia helioterapii, zarówno w rozkładzie rocznym, jak i w półroczu ciepłym, znajdują się na Nizinie Północnopodlaskiej oraz na Nizinie Środkowomazowieckiej (140-160 dni w roku). Także obszary położone w północnej i południowo-wschodniej Polsce mogą być wykorzystywane do kąpieli słonecznych w cieplej połowie roku (szczególnie nad morzem). Na uprzywilejowanie polskiego wybrzeża pod względem usłonecznienia zwracał uwagę już w 1938 r. W. Gorczyński. W ciągu całego roku niskie wartości usłonecznienia obserwowane są na Górnym Śląsku, co jest spowodowane znacznym zanieczyszczeniem atmosfery. W Górnośląskim Okręgu Przemysłowym, w porównaniu z terenami sąsiednimi, jest średnio w roku 25 dni mniej z usłonecznieniem powyżej 4 godzin dziennie.

4.2. Zachmurzenie

Zachmurzenie jest uzupełnieniem charakterystyki warunków solarnych. W przebiegu rocznym najmniejsze zachmurzenie występuje w kwietniu, czerwcu, wrześniu i październiku, a największe w listopadzie. W rozkładzie przestrzennym najlepsze warunki pod względem zachmurzenia ma wybrzeże wschodnie wraz z Żuławami Wiślanymi. W bioklimatologii stosuje się kryterium liczby dni z zachmurzeniem poniżej połowy pokrycia nieba i z zachmurzeniem całkowitym. Najwięcej dni z zachmurzeniem < 50% (w II terminie obserwacyjnym) jest w czerwcu (ryc. 42) i wrześniu, a w górach także w październiku, najmniej zaś w listopadzie i w grudniu. W rozkładzie przestrzennym natomiast największa liczba dni z zachmurzeniem < 50% (ok. 150 w roku) występuje na Mazowszu, a najniższa na zachodzie i północo-wschodzie (ok. 80). Podobnie jest w półroczu ciepłym z tym jednak, że korzystnie wyróżnia się również wybrzeże wschodnie, a w półroczu chłodnym — poza centrum kraju — także obszary górskie.

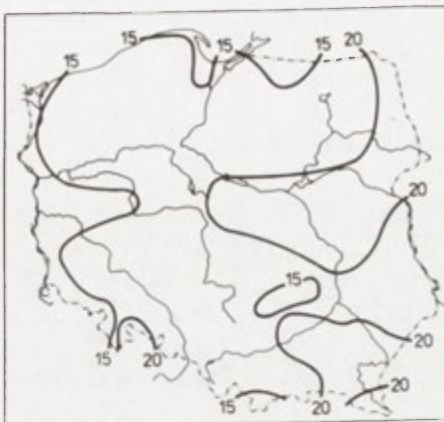


Ryc. 42. Średnia liczba dni z zachmurzeniem < 50% w czerwcu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (T. Kozłowska-Szczęsna)

Dni bezchmurnych najczęściej jest we wrześniu (Kossowski 1972, 1973, 1976), a najmniej w listopadzie. Pogoda bezchmurna z największą częstością (ponad 20%) pojawia się w pasie obejmującym wyżyny na południo-wschodzie Polski, przedłużonym do zachodniej granicy w rejonie środkowego biegu

Odry, a także w południowej części Pojezierza Mazurskiego oraz w okolicy Świnoujścia. Pogodę bezchmurną i o małym zachmurzeniu przynosi z sobą północno-wschodnia cyrkulacja antycyklonalna, a pogodę z dużym zachmurzeniem północno-zachodnia sytuacja cyklonalna.

Najmniej korzystnymi warunkami zachmurzenia wyróżnia się okres od listopada do stycznia, przy czym najczęściej występują one w grudniu (ryc. 43). Liczba dni z pełnym pokryciem nieba przez chmury w roku jest największa we wschodnich obszarach kraju oraz na Pojezierzach Południowo-bałtyckich (ok. 160), a najmniejsza na północy — na wybrzeżu morza (ok. 110) i na Pobrzeżach Wschodniobałtyckich. W półroczu ciepłym liczba dni z zachmurzeniem = 100% jest największa w Polsce południowej (na pogórzach i w górach), a także nad dolną Wisłą. W półroczu chłodnym liczba tych dni, podobnie jak w roku, osiąga najwyższe wartości na wschodzie kraju.

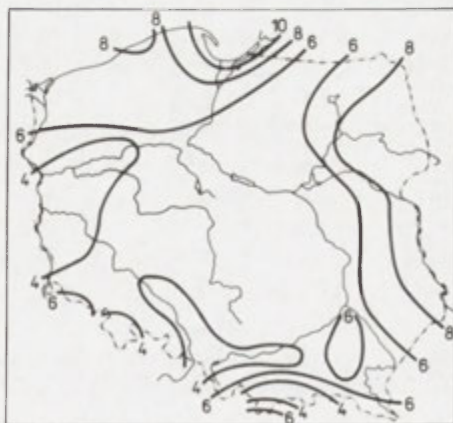


Ryc. 43. Średnia liczba dni z zachmurzeniem = 100% w grudniu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (T. Kozłowska-Szczęsna)

5. Stosunki wietrzne

Czynniki cyrkulacyjne sprawiają, że Polska znajduje się w strefie przeważających wiatrów zachodnich. Biorąc ogólnie, latem dominują wiatry zachodnie i północno-zachodnie, natomiast w zimie znaczny jest udział wiatrów południowo-zachodnich, a także wschodnich. W przejściowych porach roku zbliżony jest udział wiatrów z kwadrantu zachodniego i wschodniego.

W przebiegu rocznym największe prędkości wiatru są obserwowane na przełomie zimy i wiosny oraz późną jesienią. Szczególnie narażone są na silne wiatry obszary odsłonięte w pasie nadmorskim i w pobliżu dużych jezior (np. jeziora mazurskie) oraz wyższe partie gór. Najmniejsze prędkości wiatru występują w dolinach, a także kotlinach podgórskich i górskich, jak również w niektórych odcinkach dolin rzecznych.



Ryc. 44. Średnia liczba dni z wiatrem silnym ($v > 8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) w listopadzie, 1961-1970 (B. Krawczyk)

Z punktu widzenia bioklimatologii ważne są wiatry o prędkości powyżej $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Najczęściej obserwuje się je w marcu i w listopadzie (ryc. 44) — od około 4 do ponad 10 dni — a najrzadziej w lecie — od 2 do 4 dni. Silne wiatry w miesiącach jesienno-zimowych są związane z szybkim przemieszczaniem się układów cyklonalnych znad Atlantyku. W tym okresie towarzyszą im także duże wahania ciśnienia atmosferycznego związane z przechodzeniem frontów atmosferycznych. Zarówno w roku, jak i w obu jego półroczach silne wiatry wieją przeważnie na wybrzeżu Bałtyku i na szczytach gór (ponad 100 dni w roku), zwiększając bodźcowość klimatu tych obszarów.

6. Stosunki termiczne

O stosunkach termicznych decydują: ogólna cyrkulacja atmosfery, stosunki radiacyjne i wietrzne, nie bez znaczenia jest także wpływ rzeźby terenu. Analizując stosunki termiczne, posłużono się średnimi wartościami temperatury z terminu południowego oraz liczbą dni charakterystycznych: gorących, upalnych, mroźnych i bardzo mroźnych. Biorąc ogólnie, średnia roczna temperatura powietrza spada z południo-zachodu ku północo-wschodowi, natomiast w górach spadek temperatury powietrza uzależniony jest od wysokości. Temperatura powietrza w półroczu ciepłym jest najniższa na północy kraju, a najwyższa nad środkową Wisłą i w Kotlinie Sandomierskiej. Izotermy w tym okresie mają przebieg równoleżnikowy. W półroczu chłodnym izotermy układają się południkowo i wykazują spadek temperatury w miarę posuwania się ku wschodowi kraju, przy czym najniższa temperatura notowana jest na północo-wschodzie. Na zachodzie Polski jest w tym okresie najcieplej.

Tereny o najwyższych wartościach temperatury powietrza mają także najwięcej dni gorących (powyżej 40 dni w roku) i upalnych (powyżej 6 dni w roku). Dni gorące występują na nizinach od marca do października, z maksimum w lipcu (do ok. 13 dni na północo-wschodzie), nad morzem najwcześniej zdarzają się w kwietniu, na pogórzu — w maju. Dni gorące notuje się sporadycznie także we wrześniu. Dni upalne obserwuje się nad morzem tylko w miesiącach letnich, a na pozostałym obszarze Polski od maja do września. W wyższych partiach Tatr i Karkonoszy dni gorące i upalne nie występują wcale.

Dni mroźne obserwujemy w Polsce od listopada do marca z maksimum w styczniu (11-14 dni), a w górach od października do kwietnia. Dni bardzo mroźne nad morzem występują od grudnia do lutego, na pozostałym obszarze kraju — od listopada do lutego, a w górach także w marcu. Liczba dni mroźnych i bardzo mroźnych w roku wzrasta z zachodu na wschód, osiągając wartości najwyższe na północo-wschodzie, a najniższe nad morzem. Obszary Karpat i Sudetów w ciągu całego roku mają najniższe temperatury powietrza (Kozłowska-Szczęsna, red., 1986, 1991).

Tak więc najsilniejszych bodźców termicznych można w Polsce oczekiwać nad Bałtykiem, w górach i na północo-wschodzie. Na podobne zróżnicowanie warunków biotermicznych na obszarze Polski zwróciła uwagę B. Krawczyk (1988).

7. Stosunki wilgotnościowe

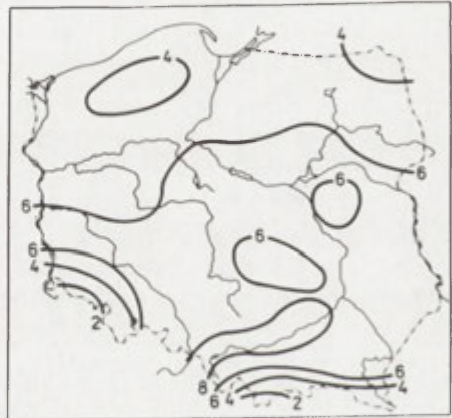
7.1. Wilgotność powietrza

W przebiegu rocznym wilgotność względna powietrza osiąga najwyższe wartości (w II terminie obserwacyjnym) w okresie zimowym, a najniższe — wiosną i latem. Najwyższą wilgotność powietrza (powyżej 75%) mają obszary nadmorskie oraz górskie, a najniższą — obszary nizinne Polski środkowej. Nad morzem i w górach można spodziewać się silnych bodźców wilgotnościowych.

Z wysokimi wartościami temperatury i wilgotności powietrza związana jest parność, niekorzystna dla człowieka, szczególnie w miarę przedłużania się okresu jej występowania. Zjawisko parności (określone na podstawie ciśnienia pary wodnej powyżej 18,8 hPa) występuje w Polsce od czerwca do września z maksimum (4-9 dni) w lipcu (ryc. 45) lub w sierpniu. Jedynie w szczytowych partiach gór zjawisko to nie występuje. Największa liczba dni parnych w roku zaznacza się w kotlinach i dolinach Polski południowej (20-30 dni w roku), a także na obszarach południowo-wschodnich kraju.

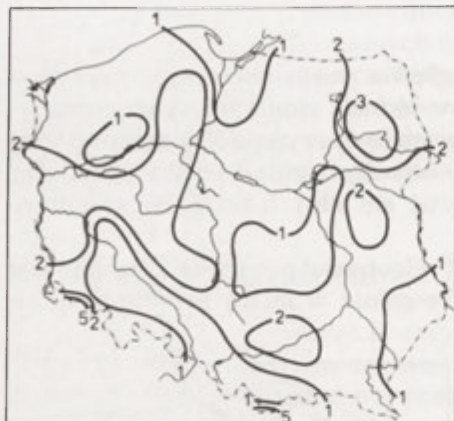
Mgły mają negatywne właściwości bioklimatyczne, sprzyjają one bowiem utrzymywaniu się zanieczyszczeń pyłowych i gazowych w powietrzu, ograniczają dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego oraz pogarszają samopoczucie człowieka. Mgły pojawiają się najczęściej nad rozległymi podmokłościami, w dolinach rzek (60-80 dni w roku), a także w górach (ponad 150 dni w roku). W przebiegu rocznym dni z mgłą występują najczęściej: nad morzem — wiosną i jesienią, w centrum kraju — jesienią, a w górach — od kwietnia do września. Najwięcej dni z mgłą w roku obserwuje się, poza górami, na pojezierzach i w dolinie Odry. W górach występuje duża zmienność przestrzenna liczby dni z mgłą w roku.

W opracowaniach bioklimatycznych uwzględnia się także mgły notowane jedynie w ciągu dnia. Jako poranne traktuje się mgły występujące w godzinach przedpołudniowych (7-12), a jako wieczorne — w godzinach 16-20. Za całodienne przyjmuje się mgły, które trwają przez co najmniej 5 godzin w ciągu dnia, obejmując przy tym przedział od godziny 10 do 15. Liczba dni z mgłą całodzienną jest największa na jesieni (ryc. 46); w przebiegu rocznym występują one od września do kwietnia. Nad morzem maksimum dni z mgłą



Ryc. 45. Średnia liczba dni parnych w lipcu, 1961-1970 (B. Krawczyk)

całodzienną przypada w listopadzie i w styczniu, w górach — w listopadzie i w grudniu, a w Polsce środkowej — w październiku. W ciągu roku najczęściej

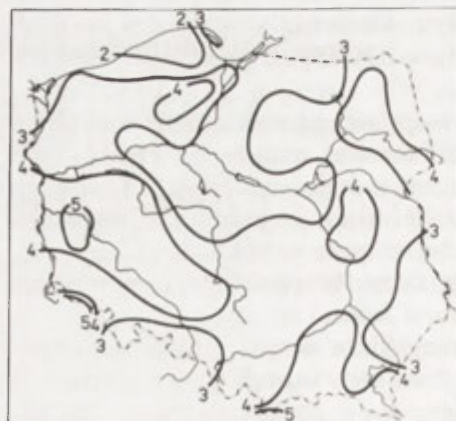


Ryc. 46. Średnia liczba dni z mgłą całodzienną w listopadzie, 1961-1970 (K. Błażejczyk)

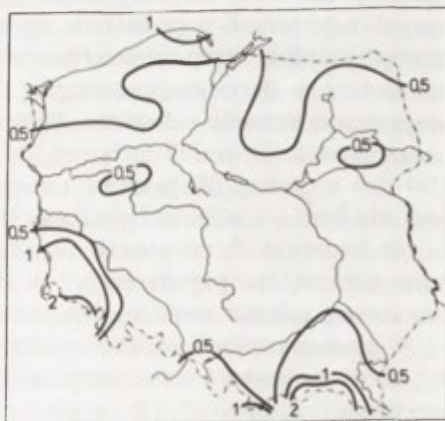
dni z mgłą całodzienną obserwuje się, poza górami, nad morzem, na Pojezierzach Południowobałtyckich oraz na północo-wschodzie kraju (głównie w Kotlinie Biebrzańskiej). Podobny do liczby dni z mgłą całodzienną jest przebieg roczny liczby dni z mgłą poranną lub wieczorną; najczęściej tych dni przypada na jesieni, a najmniej w lecie (ryc. 47, 48). Mgły poranne lub wieczorne pojawiają się najczęściej w kotlinach i dolinach rzecznych oraz nad obszarami podmokłymi. Najwięcej takich dni jest — poza Polską południową — nad jeziorami mazurskimi, nad Narwią i Biebrzą, w środkowym odcinku Odry oraz nad Wartą i Notecią.

Mgły w Polsce najrzadziej tworzą się w czerwcu, a najczęściej w październiku i w listopadzie, wówczas też trwają najdłużej (Piwkowski 1976).

Niezależnie od pory roku, najrzadziej występują na Wyżynie Małopolskiej i Lubelskiej, a najczęściej na Pojezierzu Pomorskim i Mazurskim. Mgły o czasie trwania do 3 godzin są najczęstsze, ich maksimum przypada w Warszawie. Mgły trwające ponad 6 godzin częste są na Pojezierzu Pomorskim i na północo-



Ryc. 47. Średnia liczba dni z mgłą poranną lub/i wieczorną w listopadzie, 1961-1970 (K. Błażejczyk)



Ryc. 48. Średnia liczba dni z mgłą poranną lub/i wieczorną w lipcu, 1961-1970 (K. Błażejczyk)

-wschodzie, a także na południu kraju. Długotrwałe mgły, ponad 12 godzin, najczęściej są obserwowane na wiosnę na Pojezierzu Pomorskim i na Wysoczyźnie Białostockiej, a w lecie tylko na Pojezierzu Słowińskim. Jesienią i w zimie jest ich najwięcej na Pojezierzu Zachodniopomorskim.

7.2. Opady atmosferyczne

Opady atmosferyczne są czynnikiem ograniczającym możliwości przebywania na wolnym powietrzu, wypoczynku czy też uprawiania turystyki. W ciągu całego roku najczęściej dni z opadem całodziennym, tzn. trwającym przez co najmniej 5 godzin i obejmującym przy tym godziny od 10 do 15, obserwuje się od listopada do lutego (ryc. 49), a najmniej w lipcu (ryc. 50). Góry cha-



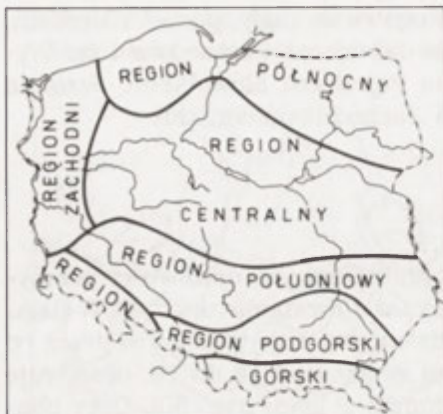
Ryc. 49. Średnia liczba dni z opadem całodziennym w listopadzie, 1961-1970 (K. Błażejczyk)



Ryc. 50. Średnia liczba dni z opadem całodziennym w lipcu, 1961-1970 (K. Błażejczyk)

rakteryzują się największą liczbą zarówno dni z opadem $> 0,1$ mm (Śnieżka 253, Kasprowy Wierch 228 dni w roku), jak i z opadem całodziennym. Najmniej dni z opadem występuje w środkowej i wschodniej części Polski nizinnej. Na wzrost liczby dni z opadem wyraźnie wpływa wyniesienie terenu. Istnieje duża dysproporcja opadów między półroczami. I tak, dni z opadem całodziennym w półroczu ciepłym stanowią, niemal na całym obszarze Polski, mniej niż połowę dni z opadem półroczu chłodnego (Błażejczyk 1985). Tylko w wyższych partiach gór, na Wyżynie Małopolskiej i w Kotlinie Warszawskiej stosunek liczby dni z opadem długotrwałym w półroczu ciepłym do liczby takich dni w półroczu chłodnym jest większy od 0,5.

Liczba dni z opadem krótkotrwałym jest największa na przełomie wiosny i lata oraz w lecie, a najmniejsza wczesną wiosną i wczesną jesienią. Opady krótkotrwałe wykazują najmniejszą częstość nad dolną Wisłą i w Kotlinie



Ryc. 51. Regiony opadowe w Polsce (K. Błażejczyk)



Ryc. 52. Średnia liczba dni z burzą w czerwcu, 1961-1970 (T. Kozłowska-Szczęсна)

odbija promienie słoneczne, przez co wzrasta udział czynnych biologicznie promieni nadfioletowych. Pokrywa śnieżna zalega w Polsce w okresie od listopada do kwietnia, w górach — od października do maja, a wysoko w Tatrach leży miejscami przez cały rok. Najwięcej w roku dni z pokrywą śnieżną notuje się na Kasprowym Wierchu (214) i Śnieżce (182). Liczba dni z pokrywą śnieżną wzrasta z zachodu na wschód, przekraczając na północo-wschodzie wartość 100. Najkrócej pokrywa śnieżna zalega na zachodzie kraju (poniżej 60 dni). Najwięcej dni z pokrywą śnieżną notuje się w styczniu.

Na szczególną uwagę zasługuje pokrywa śnieżna o grubości ponad 10 cm — wystarczającej dla turystyki narciarskiej — i powyżej 20 cm — umożliwiającej uprawianie narciarstwa zjazdowego (Łobożewicz 1979). Przyjmując

Sandomierskiej, a największą — w górach, nad morzem, na południowym zachodzie, na północnym wschodzie oraz na Wyżynie Śląsko-Krakowskiej oraz na Wyżynie Środkowomałopolskiej. Na podstawie analizy warunków opadowych K. Błażejczyk (1985) wyróżnił na obszarze Polski 6 regionów opadowych (ryc. 51).

Burze są źródłem silnych bodźców elektrycznych i akustycznych. Podczas wyładowań elektrycznych zachodzą szybkie zmiany pola elektrycznego atmosfery, co może być przyczyną złego samopoczucia wielu osób. W przebiegu rocznym najwięcej dni z burzą występuje od maja do sierpnia. Najczęściej burze obserwowane są w czerwcu i lipcu, od około 2 do ponad 7 dni (ryc. 52). Obszarami, nad którymi burze przechodzą najczęściej, są góry (ok. 30 dni w roku), a najrzadziej — wschodnie tereny Pobrzeży Południobałtyckich i Pobrzeża Wschodniobałtyckie. Podobny do rocznego jest rozkład liczby dni z burzą w półroczu ciepłym. Liczba dni z burzą w półroczu chłodnym jest niewielka, najwięcej jest ich w dolinie środkowej Odry.

Pokrywa śnieżna ma istotne znaczenie dla turystyki narciarskiej oraz oddziałuje korzystnie na stan zdrowia człowieka i jego psychikę. Pokrywa śnieżna wytłumia bowiem hałas oraz

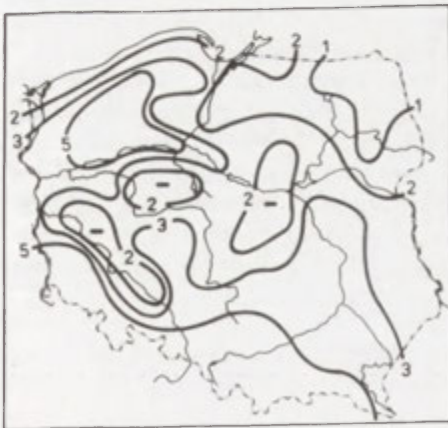
30 dni w roku z pokrywą śnieżną o grubości > 10 cm jako wartość progową, można za nieprzydatne dla turystyki narciarskiej uznać obszary położone na zachodzie kraju i w części środkowej na zachód od Wisły. W górach, na wyżynach i na wschodzie kraju istnieją warunki do uprawiania narciarstwa turystycznego w miesiącach od grudnia do marca. Czas trwania pokrywy śnieżnej > 20 cm, przydatnej dla narciarstwa zjazdowego, wynosić powinien 60 dni w roku. Tereny takie znajdują się jedynie w Karpatach i Sudetach na wysokości powyżej 600 m n.p.m.

8. Warunki odczuwalne

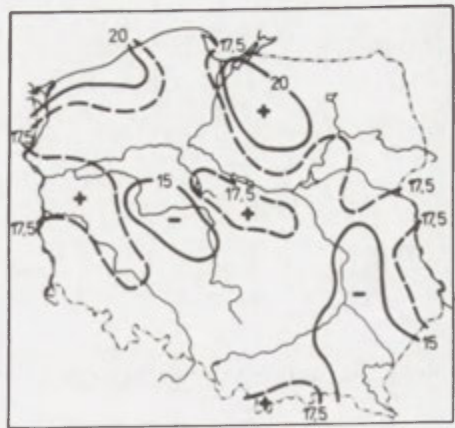
Przedstawiono wyżej przebieg roczny i rozkład na obszarze Polski poszczególnych elementów meteorologicznych, które mają istotny wpływ na zdrowie i samopoczucie człowieka. Jednakże klimat odczuwalny kształtuje się pod wpływem łącznego oddziaływania na człowieka kilku elementów meteorologicznych. Do charakterystyki klimatu odczuwalnego zastosowano wskaźniki biometeorologiczne oraz wskaźniki termofizjologiczne pozwalające ocenić odczucia cieplne ludzi przebywających na wolnym powietrzu (por. rozdz. II.2).

8.1. Ochładzanie biologiczne

Miarą ochładzania biologicznego jest *wielkość ochładzająca powietrza (H)* będąca wskaźnikiem przydatnym w ocenie odczuć ciepłych ludzi uprawiających zajęcia ruchowe na świeżym powietrzu.



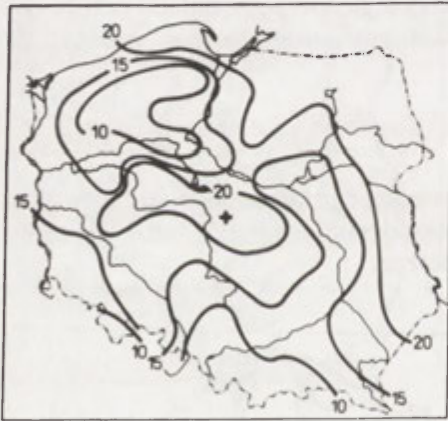
Ryc. 53. Średnia liczba dni z komfortem termicznym w styczniu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (K. Błażejczyk)



Ryc. 54. Średnia liczba dni z komfortem termicznym w lipcu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (K. Błażejczyk)



Ryc. 55. Średnia liczba dni z dyskomfortem gorącym w lipcu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (K. Błażejczyk)



Ryc. 56. Średnia liczba dni z dyskomfortem zimnym w styczniu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (K. Błażejczyk)

częstsze w okresie od listopada do marca, jednakże zdarzają się także wiosną i wczesną jesienią; maksimum obserwuje się w styczniu (ryc. 56).

8.2. Temperatury odczuwalne

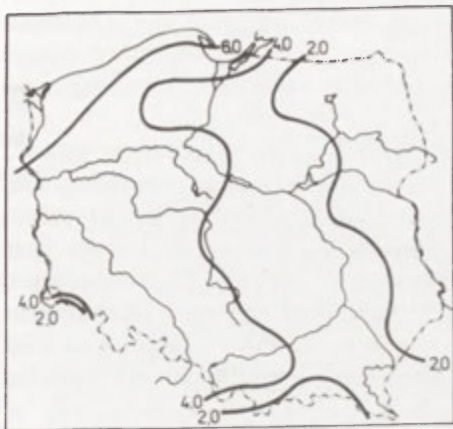
Odczucia cieplne człowieka badano również, stosując temperatury odczuwalne (wyznaczone dla godzin okołopołudniowych), takie jak: *temperatura ekwiwalentna*, *temperatura efektywna*, *temperatura radiacyjno-efektywna* oraz *entalpia powietrza*.

Liczba dni z warunkami komfortu termicznego jest najmniejsza w Tatrach i w Sudetach (od 30 do 60 dni), i to zarówno w roku, jak i w obu półroczach. Także nad morzem i na północo-wschodzie liczba tych dni jest w ciągu całego roku nieco niższa w porównaniu z wnętrzem kraju. Największą liczbą dni z warunkami komfortowymi charakteryzują się w ciągu całego roku obniżenia podgórskie. Na załączonych mapach (ryc. 53, 54) przedstawiono rozkład liczby dni z komfortem termicznym (określonym wartościami H od 420,1 do 840 $W \cdot m^{-2}$) w styczniu i w lipcu, a więc w miesiącach o największej i najmniejszej częstotliwości ich występowania.

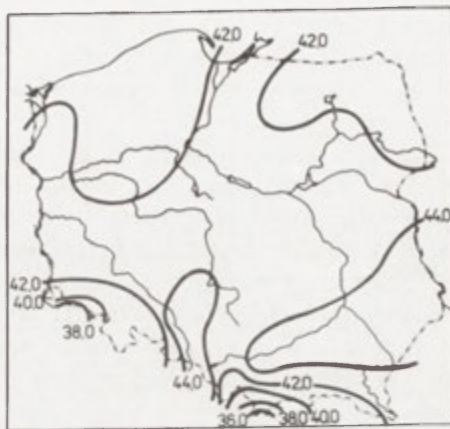
Dyskomfort gorący ($H < 210,0 W \cdot m^{-2}$) występuje najczęściej w roku na obszarach wyżynnych Polski południowej oraz na Mazowszu (8-10 dni); w górach i nad morzem zdarza się sporadycznie. W przebiegu rocznym dyskomfort gorący na obszarach nizinnych zdarza się od kwietnia do października z maksimum w lipcu (ryc. 55) lub w sierpniu, natomiast w górach i nad morzem — w okresie od lipca do września.

Dyskomfort zimny ($H > 1260,1 W \cdot m^{-2}$) występuje najczęściej w wyższych partiach gór (220-250 dni w roku), na północo-wschodzie kraju (125-140 dni rocznie) oraz na wybrzeżu wschodnim.

Dni z dyskomfortem zimnym są naj-



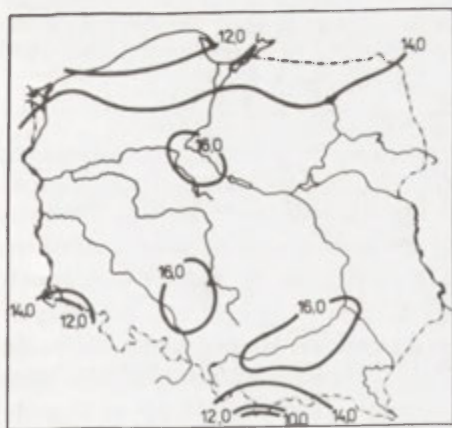
Ryc. 57. Średnia temperatura ekwiwalentna ($^{\circ}\text{C}$) w styczniu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)



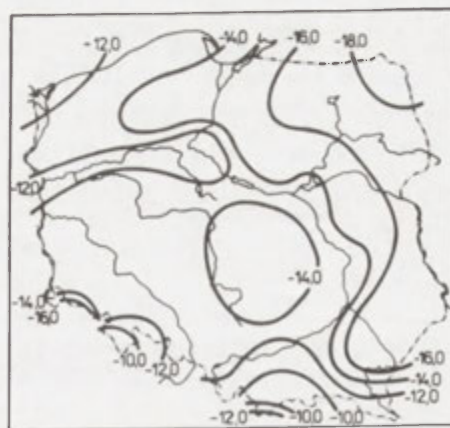
Ryc. 58. Średnia temperatura ekwiwalentna ($^{\circ}\text{C}$) w lipcu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)

Badając rozkład sezonowy i przestrzenny temperatury ekwiwalentnej (T_e) na obszarze Polski, można stwierdzić, że średnie roczne jej wartości zawierają się w przedziale od około $8,0^{\circ}\text{C}$ w partiach szczytowych Tatr i Sudetów do około $26,0^{\circ}\text{C}$ w środkowej części kraju. W półroczu ciepłym wartości T_e wskazują na odczucia ciepłe „komfortowo”, tylko w górach „chłodno”. W półroczu chłodnym na całym obszarze kraju notowane są odczucia „zimno”. Na załączonych mapach (ryc. 57, 58) przedstawiono rozkład przestrzenny T_e w styczniu i w lipcu, a więc w miesiącach o najniższych i najwyższych jej wartościach w roku.

Temperatura efektywna (T_E) w półroczu ciepłym waha się w godzinach okołopołudniowych od około $-8,0^{\circ}\text{C}$ na Śnieżce do około $13,0^{\circ}\text{C}$ w południowej



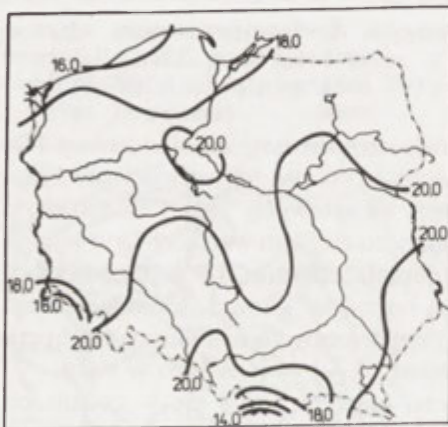
Ryc. 59. Średnia temperatura efektywna ($^{\circ}\text{C}$) w lipcu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)



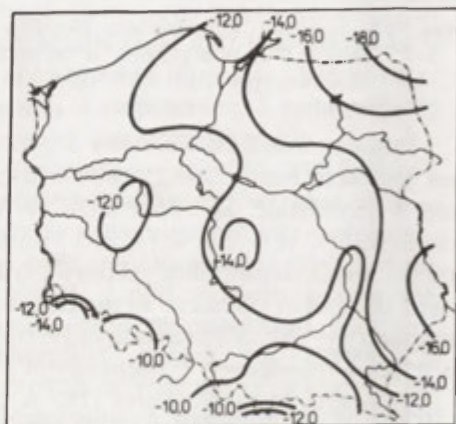
Ryc. 60. Średnia temperatura efektywna ($^{\circ}\text{C}$) w styczniu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)

części kraju i obejmuje odczucia ciepłne od „bardzo zimno” do „chłodno”. TE w półroczu chłodnym przyjmuje wartości ujemne na obszarze całego kraju. Maksimum TE występuje w lipcu (ryc. 59), a minimum w styczniu (ryc. 60).

Zaletą *temperatury radiacyjno-efektywnej* (TRE) jest uwzględnienie wpływu promieniowania słonecznego całkowitego na odczucia ciepłne człowieka. TRE przyjmuje wartości dodatnie w okresie od kwietnia do października; wzrastają one od północy i południa do centrum kraju (od ok. 12,0 do 17,0°C), wskazując na odczucia ciepłne od „chłodno” do „orzeźwiająco”. Tak jak TE , *temperatura radiacyjno-efektywna* przyjmuje w półroczu zimowym wartości ujemne. Podobnie jak w przypadku wyżej omówionych wskaźników, maksimum TRE na obszarze Polski występuje w lipcu (ryc. 61), a minimum w styczniu (ryc. 62).



Ryc. 61. Średnia temperatura radiacyjno-efektywna (°C) w lipcu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)



Ryc. 62. Średnia temperatura radiacyjno-efektywna (°C) w styczniu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)

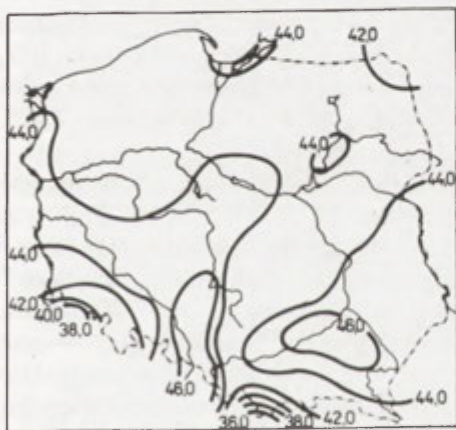
Trzeba dodać, że analiza warunków odczuwalnych, dokonana na podstawie wartości średnich TRE dla roku, półroczu czy miesiący o skrajnych wartościach, daje orientacyjny obraz warunków bioklimatycznych Polski. Przeprowadzona typologia bioklimatu Polski na podstawie wartości *temperatury radiacyjno-efektywnej* w półroczu ciepłym jedną z metod taksonomicznych (Krawczyk 1991), pozwoliła na wyróżnienie 11 typów bioklimatu, różniących się pod względem wartości TRE (ryc. 63). Największy obszar kraju obejmują dwa typy bioklimatu (2 i 3), charakteryzujące się stosunkowo wysokimi wartościami TRE w okresie od czerwca do sierpnia. Pozostałe typy występują w północnej i południowej Polsce, co świadczy o dużym zróżnicowaniu warunków bioklimatycznych na tych obszarach.

Warto jeszcze wspomnieć o *entalpii powietrza* (i), która może mieć również zastosowanie w ocenie odczuć ciepłnych ludzi przebywających w różnych

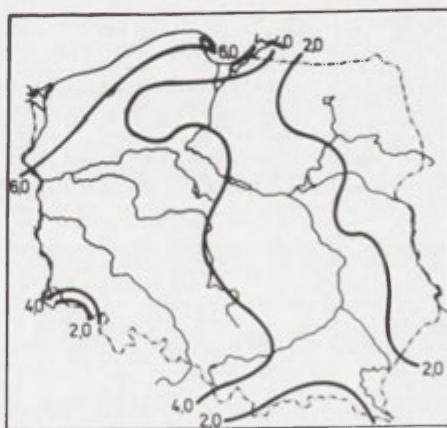
warunkach fizycznogeograficznych. Wartości tego wskaźnika są na obszarze Polski (poza górami) mało zróżnicowane (23-25 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) i maleją nieznacznie od południa w kierunku północno-wschodnim. W półroczu ciepłym wskaźnik i osiąga wartości 36-40 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, wskazując na stan komfortu termicznego, natomiast w półroczu chłodnym — od około 9 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ („mroźnie”) w Polsce północno-wschodniej do około 13 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ („zimno”) na południu kraju. Najwyższe wartości *entalpii* pojawiają się w lipcu (ryc. 64), a najniższe w styczniu (ryc. 65).



Ryc. 63. Typy bioklimatu na obszarze Polski, wydzielone na podstawie temperatury radiacyjno-efektywnej (B. Krawczyk)



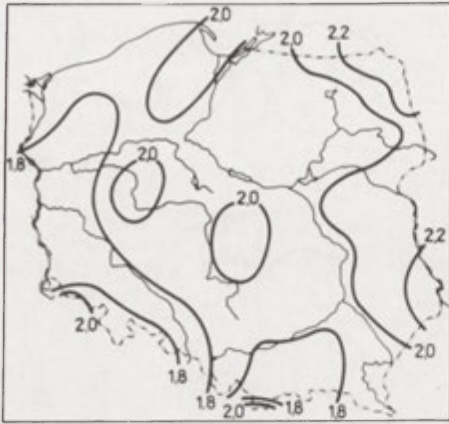
Ryc. 64. Średnia entalpia powietrza ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) w lipcu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)



Ryc. 65. Średnia entalpia powietrza ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) w styczniu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)

8.3. Ostrość klimatu okresu zimowego

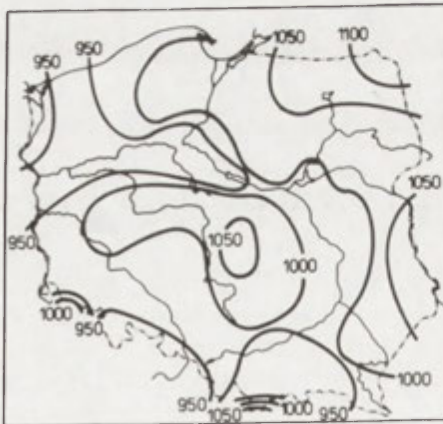
Do scharakteryzowania warunków bioklimatycznych okresu zimowego można zastosować kilka wskaźników. Wskaźnik ostrości klimatu (surowości pogody) G. Bodmana (S_B) na znacznym obszarze Polski wykazuje małe zróżnicowanie. W okresie od listopada do marca niemal w całym kraju panują



Ryc. 66. Średnie wartości wskaźnika ostrości klimatu Bodmana w styczniu, 1961-1970 (B. Krawczyk)

obszar kraju charakteryzuje się nieco większym stopniem ostrości zim (XII-III), $WO_z = 3,01-4,00$ (zima umiarkowanie chłodna). Na znacznej części wschodniej i północno-wschodniej Polski oraz na obszarach podgórszych wartości WO_z wynoszą powyżej 4,00 (zima chłodna). Najwyższe wartości tego wskaźnika występują w Karpatach (Kasprowy Wierch 8,17) i Sudetach (Śnieżka 7,22), co wskazuje na pojawianie się tam zim bardzo mroźnych.

Do grupy wskaźników przydatnych do oceny odczuć cieplnych w okresie od grudnia do marca należy także wskaźnik ochładzania wiatrem (WCI). W tym okresie (w godzinach okołopołudniowych) WCI osiąga wartości 700-800 $W \cdot m^{-2}$ na zachodzie Polski, około 900 $W \cdot m^{-2}$ na wybrzeżu Bałtyku — co odpowiada odczuciom cieplnym „chłodno” — oraz 1000 $W \cdot m^{-2}$ na północnym wschodzie („zimno”). Na Kasprowym Wierchu WCI wynosi 1354 $W \cdot m^{-2}$, na Śnieżce 1610 $W \cdot m^{-2}$ („zimno”). Najwyższe wartości tego wskaźnika obserwowane są na obszarze całej Polski w styczniu (ryc. 67).



Ryc. 67. Średnie wartości wskaźnika ochładzania wiatrem ($W \cdot m^{-2}$) w styczniu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)

warunki mało ostre, którym odpowiada wartość wskaźnika S_B 1,0-2,0. Jedynie na północno-wschodnich krańcach Polski i w niższych partiach gór warunki te są umiarkowanie ostre ($S_B = 2,1-3,0$). Na szczytach Tatr i Karkonoszy panują warunki ostre ($S_B = 3,1-4,0$), a nawet bardzo ostre ($S_B = 4,1-5,0$), a niekiedy niezwykle ostre (Śnieżka, $S_B = 5,6$). Najniższe wartości wskaźnika ostrości klimatu występują na południo-zachodzie kraju (poniżej 1,4). Najwyższe wartości S_B występują przeważnie w styczniu (ryc. 66).

Najniższe wartości wskaźnika ostrości zim (WO_z) S. Paczosa (1982) obserwuje się wzdłuż wybrzeża Bałtyku oraz na zachodzie Polski. Przeważający

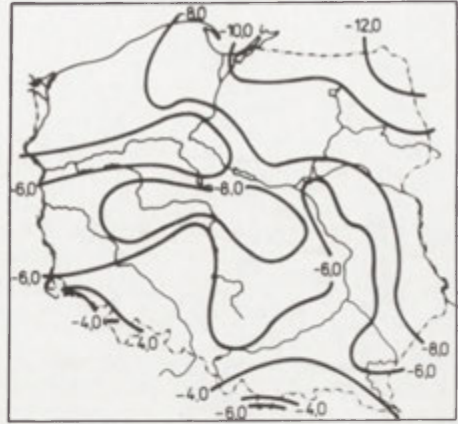
Warto jeszcze przytoczyć wartości temperatury zredukowanej (TR), wskaźnika, który w odróżnieniu od pozostałych, uwzględnia pochłonięte przez ciało człowieka promieniowanie słoneczne. W okresie zimowym (XII-III), najwyższe wartości (od -1,0 do -2,0°C) osiąga TR na zachodzie i południu

kraju (z wyjątkiem partii szczytowych gór), a najniższe na wschodzie (ok. $-10,0^{\circ}\text{C}$). Nawet w styczniu (ryc. 68) oraz w grudniu, kiedy to obserwuje się najniższe wartości TR na obszarze całej Polski, praca fizyczna na wolnym powietrzu w godzinach okołopołudniowych może być prowadzona bez ograniczeń.

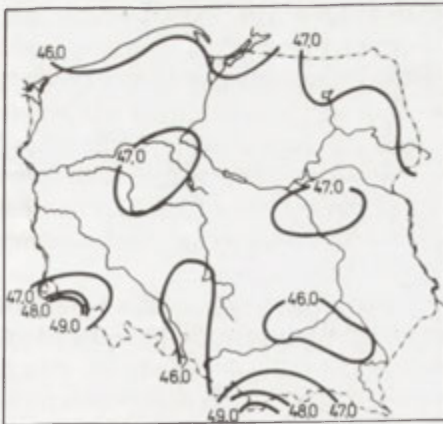
8.4. Charakterystyki termofizjologiczne

Charakterystyczne cechy bioklimatu Polski można badać również, korzystając ze wskaźników termofizjologicznych, w których uwzględnia się zarówno czynniki środowiska atmosferycznego, jak i reakcje fizjologiczne organizmu człowieka.

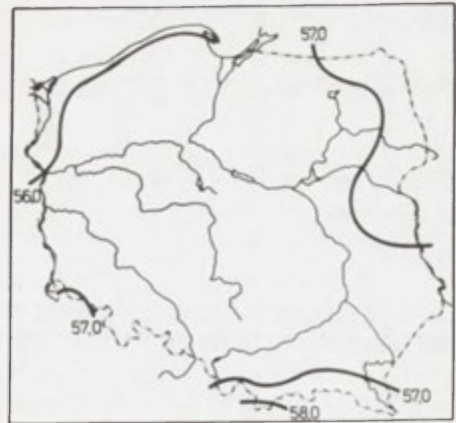
Do najprostszych tego typu wskaźników należy *niedosyt fizjologiczny* (D), który wskazuje wielkość parowania z płuc i górnych dróg oddechowych. Rozkład przestrzenny średnich rocznych wartości D jest mało zróżnicowany (50-55 hPa). Większe zróżnicowanie widoczne jest w obu półroczach. W półroczu ciepłym (w godzinach okołopołudniowych) D osiąga niższe wartości niż w półroczu chłodnym, wahając się od 48 hPa („przyjemnie, komfort”) w południowej i zachodniej części kraju do 55 hPa („sucho”) na Kasprowym Wierchu. W półroczu chłodnym *niedosyt fizjologiczny* wynosi od 53 do 57 hPa („sucho”). Najniższe wartości D obserwowane są w lipcu (ryc. 69), a najwyższe w styczniu (ryc. 70), kiedy to parowanie wody z górnych dróg oddechowych człowieka jest największe w roku.



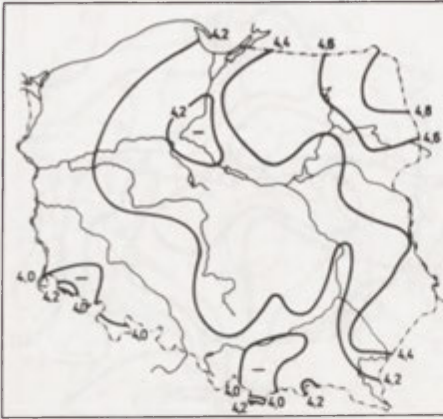
Ryc. 68. Średnia temperatura redukowana ($^{\circ}\text{C}$) w styczniu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)



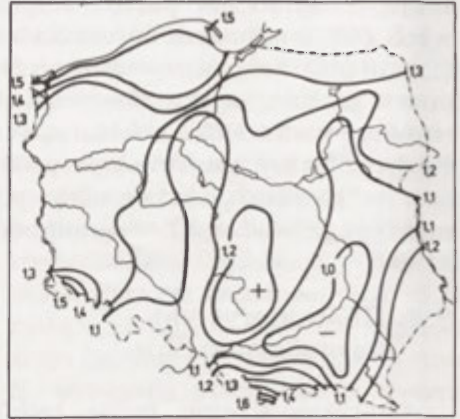
Ryc. 69. Średni *niedosyt fizjologiczny* (hPa) w lipcu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)



Ryc. 70. Średni *niedosyt fizjologiczny* (hPa) w styczniu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)



Ryc. 71. Średnie wartości termoizolacyjności odzieży (clo) gwarantującej komfort cieplny człowiekowi stojącemu ($M = 70 \text{ W m}^{-2}$) w styczniu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)

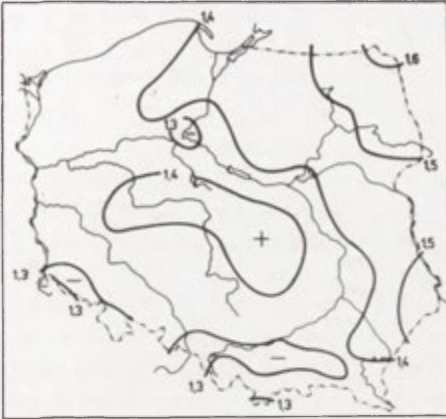


Ryc. 72. Średnie wartości termoizolacyjności odzieży (clo) gwarantującej komfort cieplny człowiekowi stojącemu ($M = 70 \text{ W m}^{-2}$) w lipcu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)

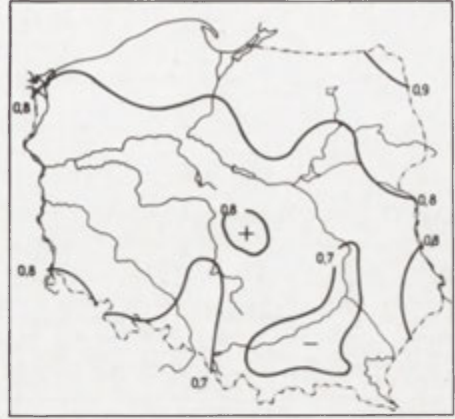
Metoda bilansu cieplnego człowieka może dostarczyć informacji służących do oceny bioklimatu Polski z punktu widzenia zapotrzebowania na odzież gwarantującą człowiekowi komfort cieplny (Krawczyk 1993). W tym celu posłużono się wskaźnikiem termoizolacyjności odzieży I_{cl} (clo) dla człowieka stojącego i poruszającego się z prędkością $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, wyznaczonym z równania bilansu cieplnego M.I. Budyko (Krawczyk 1993).

Średnie roczne wartości I_{cl} (dla człowieka stojącego) rosną z południa na północny zachód od około 2,50 do 2,80 clo. Najwyższe wartości wskaźnika termoizolacyjności odzieży obserwuje się w styczniu (ryc. 71). Odnosząc uzyskane wartości I_{cl} do różnych zestawów odzieży (tab. 10), można stwierdzić, że w styczniu (w godzinach okołopołudniowych) na znacznym obszarze kraju do utrzymania komfortu termicznego wystarczy człowiekowi stojącemu zwykła odzież zimowa. Na szczytach Tatr i Sudetów oraz na północnym wschodzie niezbędna jest w tym celu odzież ciężka (arktyczna). Najniższą ciepłochronność odzieży notuje się na przeważającym obszarze kraju w lipcu (ryc. 72), tylko na wybrzeżu Bałtyku oraz w Karpatach i Sudetach — w sierpniu. A zatem komfort termiczny w tym czasie zapewnia człowiekowi stojącemu zwykła odzież letnia z dodatkami podwyższającymi jej ciepłochronność.

Gdy człowiek porusza się z prędkością $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, do zachowania komfortu potrzebna jest odzież o znacznie mniejszej (niż wyżej opisana) ciepłochronności. Średnia roczna wartość I_{cl} wynosi wówczas 0,7-0,9 clo, na szczytach Tatr i Sudetów 1,31 i 1,40 clo. W styczniu (ryc. 73) do utrzymania komfortu termicznego wystarczy człowiekowi poruszającemu się zwykła odzież letnia z dodatkami podwyższającymi jej ciepłochronność, a w lipcu (ryc. 74) w tym samym celu — bardzo lekka odzież letnia.

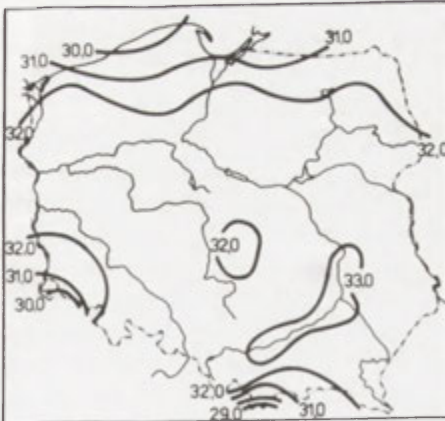


Ryc. 73. Średnie wartości termoizolacyjności odzieży (clo) gwarantującej komfort cieplny człowiekowi spacerującemu ($M = 174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) w styczniu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)

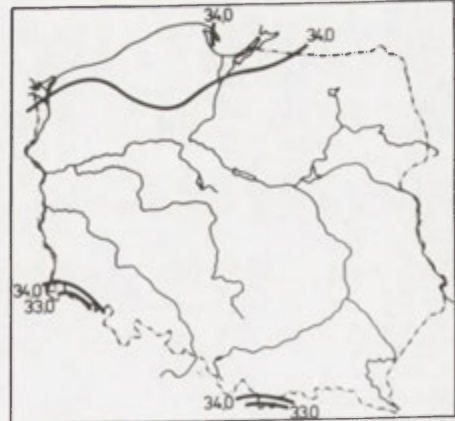


Ryc. 74. Średnie wartości termoizolacyjności odzieży (clo) gwarantującej komfort cieplny człowiekowi spacerującemu ($M = 174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) w lipcu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)

Równanie bilansu cieplnego pozwala również na obliczenie średniej ważonej temperatury skóry człowieka (T_s) przy określonym poziomie aktywności fizycznej i rodzaju noszonej odzieży. Wyznaczone w ten sposób wartości T_s można odnieść do skali odczucia termicznego (patrz rozdz. II.6.4.5). Na rycinie 75 przedstawiono rozkład T_s w lipcu (w godzinach okołopołudniowych), gdy czło-



Ryc. 75. Średnia temperatura skóry ($^{\circ}\text{C}$) równoważąca bilans cieplny człowieka stojącego ($M = 70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$), ubranego w odzież o termoizolacyjności 1,0 clo w lipcu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)



Ryc. 76. Średnia temperatura skóry ($^{\circ}\text{C}$) równoważąca bilans cieplny człowieka spacerującego ($M = 174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$), ubranego w odzież o termoizolacyjności 0,5 clo w lipcu, II termin obserwacyjny, 1961-1970 (B. Krawczyk)

wiek w pozycji stojącej jest ubrany w zwykłą odzież letnią. Odczucia ciepłe kształtują się wówczas jako „chłodno” i „komfortowo”. Rycina 76 dotyczy człowieka spacerującego, ubranego w lekką odzież letnią. W tym przypadku na przeważającym obszarze kraju można oczekiwać odczuć termicznych „ciepło” i „gorąco”.

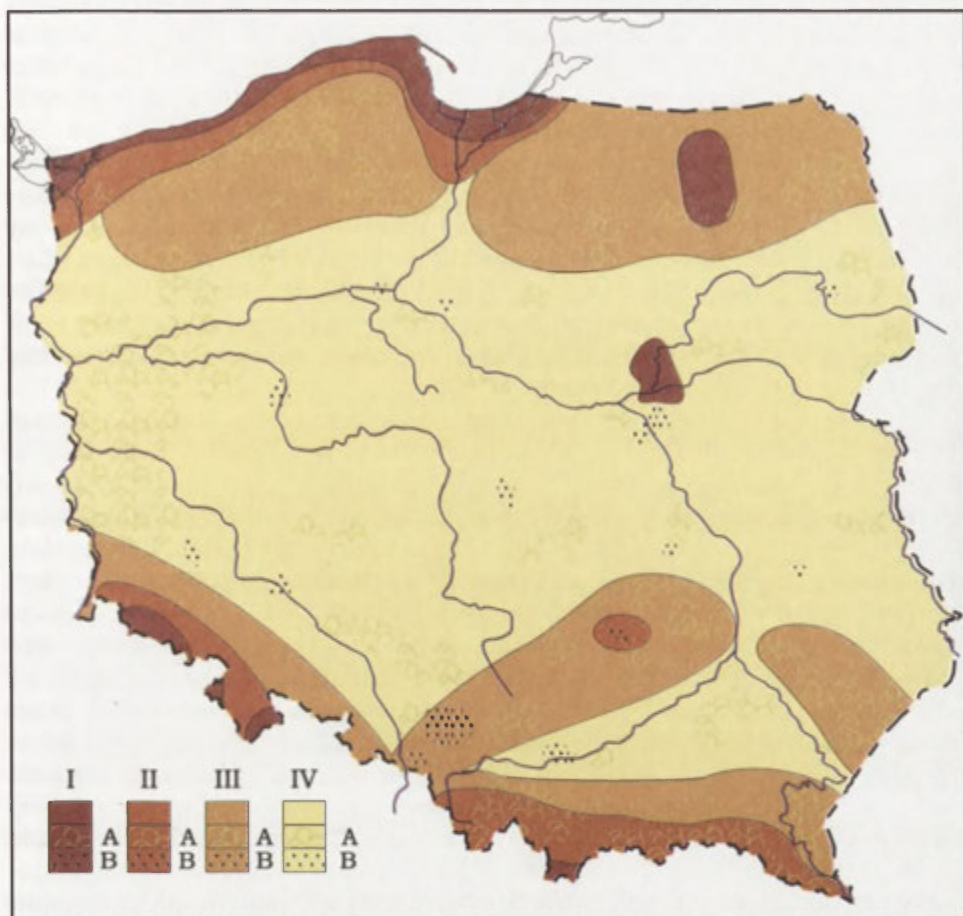
Wyniki badań odczuwalności ciepłej na obszarze kraju, uzyskane za pomocą kilku wskaźników, dają podobny obraz warunków bioklimatycznych. Ich wartości zmieniają się w miarę przemieszczania się z zachodu na wschód. W rozkładzie przestrzennym omówionych wyżej wskaźników biometeorologicznych i charakterystyk termofizjologicznych wyraźnie zaznacza się (szczególnie od listopada do kwietnia) od północo-wschodu i wschodu wpływ surowych warunków termicznych wychłodzonego w tej porze kontynentu Eurazji. Od zachodu obserwuje się łagodzący wpływ Atlantyku, którego oddziaływanie słabnie w miarę przesuwania się w kierunku południowo-wschodnim i wschodnim. W okresie letnim natomiast zaznacza się na obszarze pobrzeży ochładzający wpływ Bałtyku. W najwyższych partiach Sudetów i Karpat wartości badanych wskaźników wiążą się z wysokością nad poziomem morza, która w dużej mierze determinuje warunki solarne, termiczne i wietrzne.

Trzeba dodać, że zaprezentowane wyniki dotyczą rozkładu sezonowego i przestrzennego przyjętych wskaźników (obliczonych na podstawie średnich miesięcznych wartości elementów meteorologicznych z godzin okołopołudniowych), a przypisane ich wartościom odczucia ciepłe należy traktować z ostrożnością. Klimat Polski charakteryzuje się bowiem zmiennością pogody w ciągu doby i z dnia na dzień, co może pociągać za sobą krótkookresowe zróżnicowanie warunków bioklimatycznych.

9. Typy bioklimatu Polski

Nateżenie bodźców zewnętrznych (głównie fizycznych) oddziałujących na organizm człowieka posłużyło do opracowania mapy typów bioklimatu występujących na obszarze Polski (Kozłowska-Szczęśna 1987a, b). Intensywność bodźców określono na podstawie skal i norm oceny warunków bioklimatycznych (Kozłowska-Szczęśna, red., 1985). Wykorzystano dane z blisko 100 stacji i posterunków meteorologicznych za okres 1961-1970. Wartości poszczególnych elementów meteorologicznych i wskaźników klimatycznych przebadano w określonych przedziałach, przypisując im odpowiednie stopnie bodźcowości. Wyróżniono 4 podstawowe typy bioklimatu: bioklimat silnie bodźcowy (typ I), bioklimat umiarkowanie bodźcowy (typ II), bioklimat łagodnie bodźcowy (typ III) i bioklimat słabo bodźcowy (typ IV) oraz 2 podtypy: bioklimat leśny o cechach oszczędzających (podtyp A) i bioklimat terenów zurbanizowanych o cechach obciążających organizm ludzki (podtyp B). Zróżnicowanie wyróżnionych typów i podtypów przedstawiono na rycinie 77.

Największy zasięg przestrzenny ma słabo bodźcowy typ bioklimatu (typ IV), występujący na terenach nizinnych. Obejmuje on Niziny Środkowopolskie



Ryc. 77. Typy bioklimatu Polski (T. Kozłowska-Szczęsna):

I — bioklimat silnie bodźcowy, II — bioklimat umiarkowanie bodźcowy, III — bioklimat łagodnie bodźcowy, IV — bioklimat słabo bodźcowy, A — bioklimat terenów leśnych o cechach oszczędzających, B — bioklimat terenów zurbanizowanych o cechach obciążających

i Północne Podkarpacie o mało urozmaiconej rzeźbie. Panujące tu warunki bioklimatyczne są typowe dla naszego kraju nie tylko z uwagi na zasięg przestrzenny, ale i fakt, że żyje w nich przeważająca część ludności Polski, zaaklimatyzowana do tych właśnie warunków. Zmiana miejsca pobytu, w obrębie tego typu bioklimatu, tylko w niewielkim stopniu może powodować konieczność adaptacji (przystosowania się) organizmu człowieka po przyjeździe i readaptacji po powrocie, bądź nie wymaga jej wcale.

Bioklimat łagodnie bodźcowy (typ III) występuje zarówno w obrębie wklęsłych, jak i w wypukłych form terenu, obejmując swym zasięgiem Pojezierza Południowo- i Wschodniobałtyckie, Wyżynę Śląsko-Krakowską, Wyżynę Środkowomałopolską, część Wyżyny Wschodniomałopolskiej oraz część

Pogórza Sudeckiego i Karpackiego. W dolinach rzecznych okresowo występują bodźce silniejsze, uzależnione od rodzaju podłoża, głębokości doliny i pokrycia terenu. Łagodnie bodźcowy klimat wzniesień (300-500 m n.p.m.) ulega także zmianom spowodowanym ekspozycją dosłoneczną i dowietrzną zboczy, zróżnicowaniem rzeźby i pokrycia terenu.

Bioklimat umiarkowanie bodźcowy (typ II) należy traktować jako przejściowy między słabo i łagodnie bodźcowym klimatem nizin i wyżyn, a silnie bodźcowym klimatem obszarów górskich i nadmorskich. Obejmuje on niziny w północnej części Pojezierza Południowobałtyckiego, kotliny podgórskie i partie wzniesień poniżej 750 m n.p.m. Umiarkowany charakter bodźców może zmienić się na silny zależnie od formy terenu, wystawy dosłonecznej i dowietrznej zboczy, pokrycia terenu, a także docierania wpływów bryzy morskiej na północy oraz fenu na południu.

Bioklimat silnie bodźcowy (typ I) obejmuje pas wybrzeża Bałtyku i wyższe partie gór (powyżej 750 m n.p.m). Nad morzem szczególnie silną bodźcowością wyróżnia się wybrzeże środkowe. Bodźcowość ta maleje zarówno w kierunku zachodnim, jak i wschodnim. Tereny położone nad naturalnymi lub sztucznymi zbiornikami wodnymi mają silne lub umiarkowane bodźce klimatyczne w zależności od wielkości zbiornika i zagospodarowania jego najbliższej okolicy. Zarówno w górach, jak i nad morzem występuje znaczna, przestrzenna i czasowa, zmienność bodźców wskutek dużej zmienności pogody. Występuje więc krótkookresowa zmienność bodźców. Należy pamiętać, że przybywając na tereny charakteryzujące się klimatem silnie bodźcowym, przechodzimy przez okres przystosowania, którego długość jest uzależniona od wrażliwości poszczególnych osób, od ich stanu zdrowia i wieku. W silnie bodźcowym klimacie czują się dobrze ludzie o sprawnym układzie termoregulacyjnym i łatwej adaptacji, a także osoby niewrażliwe na nagłe zmiany pogody. Na mapie typów bioklimatu (ryc. 77) wyróżniono także dwa podtypy; jeden obejmujący swym zasięgiem obszary leśne (podtyp A) o korzystnym oddziaływaniu na organizm ludzki oraz drugi, występujący na terenach zurbanizowanych i uprzemysłowionych (podtyp B), o niekorzystnym wpływie na środowisko atmosferyczne, a tym samym na stan zdrowia i samopoczucie człowieka.

10. Regiony bioklimatyczne Polski

Podstawą podziału Polski na regiony bioklimatyczne było występowanie dni charakterystycznych, tzn.: dni z dużymi zmianami ciśnienia atmosferycznego (≥ 8 hPa), dni z silnym wiatrem ($v > 8$ m·s⁻¹), dni parnych ($e > 18,8$ hPa), dni z dyskomfortem gorącym (ochładzanie 210,0 W·m⁻²), dni z dyskomfortem zimnym (ochładzanie 1260,0 W·m⁻²), dni z opadem całodziennym i dni z mgłą całodzienną. Jako dni uciążliwe dla człowieka, o silnym działaniu bodźcowym, określono te, w których wystąpiła przynajmniej jedna z przyjętych cech. Obliczono częstość tych dni w roku, w dziesięcioleciu 1961-1970.

Następnie wykreślono mapy dla poszczególnych pór roku, przedstawiające rozkład przestrzenny dni uciążliwych. Nałożono na siebie uzyskane obrazy, a następnie zsumowano wartości odczytane w miejscach przecięcia się izolinii. Wartości te, naniesione na osobną mapę, pozwoliły na wyznaczenie granic 7 regionów i 4 podregionów (Kozłowska-Szczęsna 1991; Kozłowska-Szczęsna, red., 1986). Wydzielono następujące regiony i podregiony (tyc. 78):

I — region nadmorski, najsilniej podlegający wpływowi Bałtyku,

Ia — podregion o największej bodźcowości,

II — region pojezierny, o warunkach bioklimatycznych łagodniejszych aniżeli w regionie I,

III — region północno-wschodni, najchłodniejszy (poza górami),

IV — region środkowy, o typowych warunkach bioklimatycznych,

IVa — podregion o słabych bodźcach,

IVb — podregion o stosunkowo silnych bodźcach (związanych głównie z zanieczyszczeniem powietrza),

V — region południowo-wschodni, najcieplejszy,

Va — podregion o zwiększonej bodźcowości termicznej,

VI — region podgórski i górski o dużym zróżnicowaniu warunków bioklimatycznych i silnej bodźcowości.

Warunki bioklimatyczne nie są jednolite na całym obszarze Polski. Największe ich zróżnicowanie występuje na północy kraju (nad morzem) i na południu (w górach). Na obszarach tych obserwuje się dużą liczbę dni silnie bodźcowych, które mogą być uciążliwe dla wielu osób.

Nad morzem (region I) szczególnie niekorzystnie odznacza się wybrzeże środkowe (podregion Ia). Występuje tu około 40% dni uciążliwych w roku, co pozostaje w związku z silnymi wiatrami i znacznym ochładzaniem biologicznym oraz niższymi, w porównaniu z obszarami sąsiednimi, temperaturami odczuwalnymi.

Na pojezierzach (region II) panują warunki łagodniejsze niż w regionie nadmorskim. Dni uciążliwych dla człowieka jest około 25% w roku.

Polska północno-wschodnia (region III) charakteryzuje się największą liczbą dni uciążliwych dla człowieka (ok. 50% dni w roku), związanych głównie z niską temperaturą powietrza i silnym wiatrem. Jest to, poza najwyższymi partiami gór, najchłodniejsza część kraju.

W regionie środkowym (IV) występuje najmniej dni uciążliwych dla człowieka w zestawieniu z pozostałymi obszarami Polski. Na zachodzie (podregion IVa) jest ich poniżej 20%, a w centrum kraju od 20 do 30% dni w roku.



Ryc. 78. Regiony bioklimatyczne Polski (T. Kozłowska-Szczęsna); objaśnienia w tekście

Zachodnia część Polski ma łagodne warunki bioklimatyczne związane z krótkimi, mało ostrymi zimami, wczesną i ciepłą wiosną oraz długim termicznym latem. Na obszarach nizinnych większa jest trwałość zarówno dobrej, jak i złej pogody, w porównaniu z wybrzeżem czy też górami.

Na południowym wschodzie (region V), wraz z Kotliną Sandomierską (pod-region Va), wysoka liczba dni uciążliwych (od 30% do 40% w roku) jest spowodowana przede wszystkim wysoką temperaturą powietrza; są to najcieplejsze obszary Polski.

W górach (region VI) również występuje duże zróżnicowanie przestrzenne i czasowe liczby dni uciążliwych dla człowieka (30- 40% dni w roku). Natężenie bodźców zmienia się od umiarkowanych na zboczach, po silne w dolinach i na szczytach. Na terenach odsłoniętych istnieje niebezpieczeństwo porażień słonecznych, szczególnie przy pokrywie śnieżnej. Czystość powietrza w górach i zmniejszona ilość alergenów oddziałują korzystnie na drogi oddechowe człowieka.

Opis programu BioKlima

Krzysztof Błażejczyk, Michał Błażejczyk

Wprowadzenie

Ocena warunków bioklimatycznych jest coraz częściej podejmowana przez klimatologów i specjalistów innych dziedzin nauki, a także praktyków: lekarzy, fizjografów itp. Informacje o metodach badań oraz o wskaźnikach, które mogą być zastosowane w badaniach bioklimatycznych są niestety rozproszone w różnych pracach źródłowych.

Program BioKlima jest narzędziem, które może być pomocne w tego typu badaniach. Pozwala on na obliczenie ponad 30 różnych wskaźników i wielkości biometeorologicznych oraz termofizjologicznych. Poniższy opis zawiera jedynie podstawowe informacje o programie. Szczegóły obsługi użytkownik znajdzie w pliku HELP programu (wywołanie klawiszem F1).

Działanie programu

Program BioKlima jest przystosowany zarówno dla osób, które badaniami bioklimatycznymi zajmują się od dawna, jak i dla tych, które dopiero rozpoczynają pracę w tej dziedzinie klimatologii; w tym przypadku program podpowiada użytkownikowi, jakich wskaźników może użyć. Ogólny schemat działania programu przedstawia rycina 1.

Rozpoczęcie pracy z programem rozpoczyna się od zdefiniowania celu prowadzonych badań. Są to:

A — ogólna ocena warunków bioklimatycznych (dokonywana na podstawie średnich wartości elementów meteorologicznych),

B — szczegółowa analiza warunków bioklimatycznych, tzn. analiza częstości i zmienności codziennych wartości wskaźników biometeorologicznych,

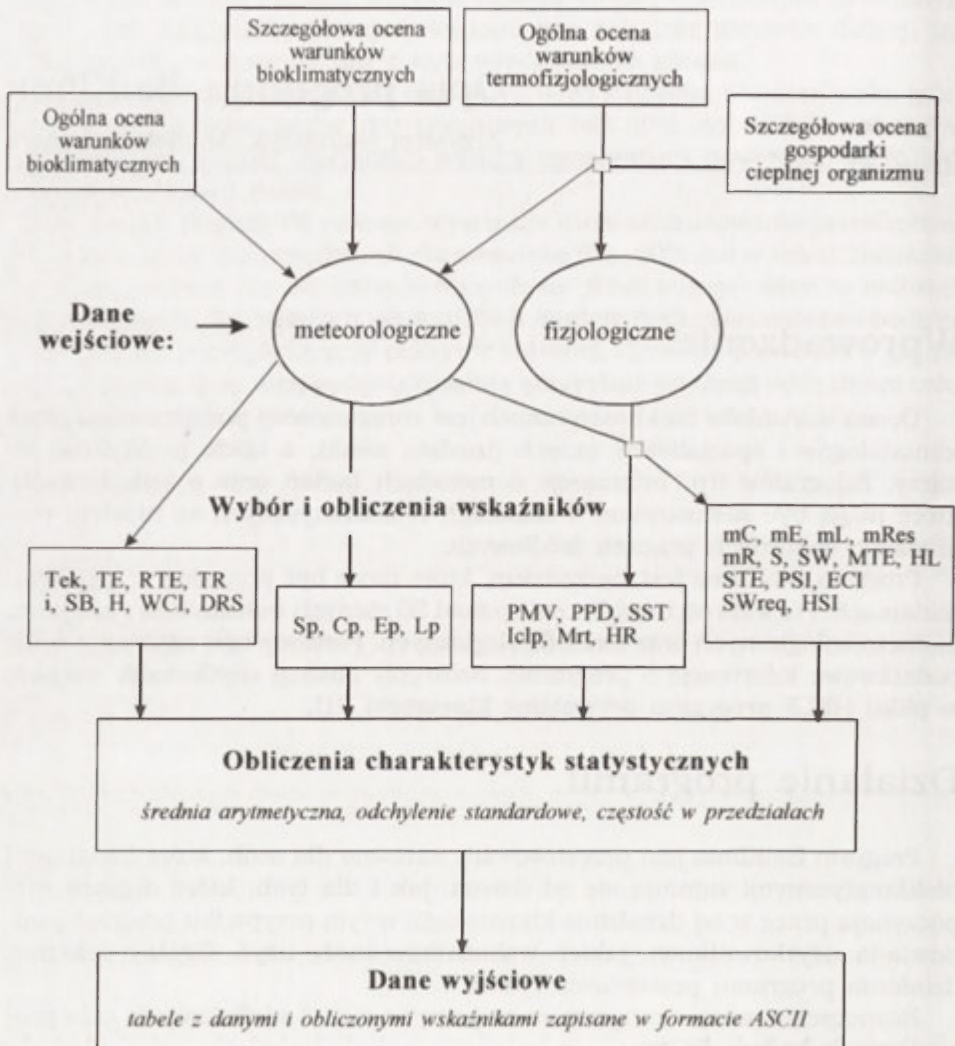
C — ogólna ocena warunków biotermicznych,

D — szczegółowa analiza gospodarki cieplnej organizmu człowieka.

Zmiana zdefiniowanego celu badań może nastąpić w każdej chwili podczas pracy programu.

W następnej kolejności pojawia się ekran dialogowy dotyczący danych wejściowych. Dla osób, które rozpoczynają pracę w zakresie bioklimatologii

Określenie celu badań



człowieka, program proponuje odpowiedź, jakie wskaźniki mogą być wykorzystane do realizacji określonego wcześniej celu badań. Program pyta wtedy, jakimi danymi dysponujemy i proponuje wskaźniki możliwe do obliczenia.

Osoby, które już wcześniej prowadziły badania bioklimatyczne, mogą od razu przystąpić do edycji danych wejściowych oraz wyboru wskaźników możliwych do obliczenia. Dane wejściowe obejmują parametry meteorologiczne i fizjologiczne. Dane te mogą być wprowadzane do tabeli bezpośrednio z klawiatury lub też mogą być zaimportowane z innych edytorów danych (w tym przypadku muszą być w nich zapamiętane jako pliki tekstowe ASCII). Wykaz danych wejściowych wraz z zaakceptowanymi przez program symbolami zawiera tabela 1. W niektórych

przypadkach symbole te różnią się od podanych we wstępie monografii; jest to spowodowane wymaganiami programu i składnią użytego języka programowania (BORLAND PASCAL 7.0). W odniesieniu do niektórych danych program przyjmuje ich wartości domyślne; mogą być one jednak w każdej chwili zastąpione przez użytkownika wartościami rzeczywistymi.

Program wyznacza także wysokość Słońca, jeśli jest ona niezbędna do obliczenia konkretnych wskaźników (wysokość Słońca jest potrzebna do określenia większości wskaźników służących ocenie bilansu cieplnego i gospodarki cieplnej człowieka). Należy w tym celu do tabeli z danymi wprowadzić kolumnę hSl , oznaczającą wysokość Słońca. Jeśli nie ma w niej danych, to na ekranie dialogowym pojawiają się pytania o współrzędne geograficzne miejsca badań oraz datę i czas badań. Należy pamiętać, że czas pomiaru należy podać w stosunku do czasu górowania Słońca; za moment górowania Słońca program przyjmuje godzinę 11³⁰. Jeśli więc w jakiejś miejscowości górowanie Słońca ma miejsce o godz. 11²⁰ to do rzeczywistego czasu pomiaru należy każdorazowo dodać 10 minut (np. czas pomiaru — 9³⁵, czas wpisany — 9⁴⁵). W ten sam sposób należy uwzględnić okresowe zmiany czasu ziemowego na letni.

Tabela 1. Lista danych wejściowych (i ich symboli) akceptowanych przez program BioKlima

| Symbol | Parametr | Wymiar | Wartość domyślna |
|--------|--|-------------------|------------------|
| ac | albedo skóry lub/i odzieży | % | (30) |
| ag | albedo podłoża | % | (17) |
| c | współczynnik zależny od rodzaju zachmurzenia | bezwymiarowy | (0,6) |
| e | ciśnienie pary wodnej | hPa | |
| f | wilgotność względna powietrza | % | |
| hSl | wysokość Słońca* | stopnie | |
| Icl | izolacyjność termiczna odzieży | clo | (1,0) |
| Kdif | promieniowanie rozproszone | W m ⁻² | |
| Kdir | promieniowanie bezpośrednie | W m ⁻² | |
| Kglob | promieniowanie całkowite | W m ⁻² | |
| Kref | promieniowanie odbite* | W m ⁻² | |
| N | wielkość zachmurzenia | % | |
| p | ciśnienie atmosferyczne | hPa | (1000) |
| sex | pleć | bezwymiarowy | (0 = mężczyzna) |
| t | temperatura powietrza | °C | |
| Tg | temperatura podłoża* | °C | |
| Ts | temperatura skóry* | °C | |
| v | prędkość wiatru | m s ⁻¹ | |
| v' | prędkość poruszania się człowieka | m s ⁻¹ | (0) |

* przy braku danych pomiarowych program liczy tę wartość na podstawie innych danych wejściowych

Tabela 2. Lista wskaźników liczonych przez program BioKlima

| Symbol | Nazwa wskaźnika | Wymiar |
|---|--|-----------------------------------|
| Wskaźniki biometeorologiczne: | | |
| Tek | temperatura ekwiwalentna | °C |
| TE | temperatura efektywna | °C |
| TRE | temperatura radiacyjno-efektywna | °C |
| TR | temperatura redukowana | °C |
| Mrt | średnia temperatura promieniowania | °C |
| DRS | dawka rumieniowa skóry | min |
| i | entalpia powietrza | $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| H | wielkość ochładzająca powietrza | $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ |
| WCI | ochładzająca siła wiatru | $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ |
| SB | wskaźnik ostrości klimatu (Bodmana) | bezwymiar. |
| Sp | przybliżone saldo wymiany ciepła | $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ |
| Ep | przybliżona wartość ewaporacji | $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ |
| Cp | przybliżona wartość konwekcji | $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ |
| Lp | przybliżona wartość radiacji | $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ |
| Wskaźniki termofizjologiczne (wymagające fizjologicznych danych wejściowych): | | |
| ECI | efektywna izolacyjność odzieży | clo |
| Icpl | przewidywana izolacyjność odzieży | clo |
| PMW | przewidywana średnia ocena | bezwymiar. |
| PPD | przewidywany odsetek osób odczuwających dyskomfort | % |
| SWreq | pożądane wydzielanie potu | $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ |
| HSI | wskaźnik stresu cieplnego | % |
| HR | częstotliwość tętna | uderzeń $\cdot \text{min}^{-1}$ |
| S | saldo wymiany ciepła | $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ |
| PSI | potencjalne saldo wymiany ciepła | $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ |
| STE | temperatura skóry bilansująca wymianę ciepła | °C |
| mR | pochłonięte promieniowanie słoneczne | $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ |
| mC | konwekcyjne straty ciepła | $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ |
| mE | ewaporacyjne straty ciepła | $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ |
| mL | radiacyjne straty ciepła | $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ |
| mRes | respiracyjne straty ciepła | $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ |
| MTE | dopuszczalny czas przebywania | min |
| SW | straty wody z organizmu | $\text{g} \cdot \text{godz}^{-1}$ |
| HL | obciążenie cieplne organizmu | bezwymiar |
| SST | ekwiwalent temperatury standardowej | °C |

Uwaga: w przypadku niektórych wskaźników symbole akceptowane przez program BioKlima różnią się od zamieszczonych we wstępie monografii

W zależności od celu badań oraz rodzaju danych wejściowych program proponuje obliczenie odpowiednich wskaźników i wielkości (tab. 2). Po ich zaznaczeniu (za pomocą klawisza spacji) program przystępuje do obliczeń i wpisuje wyniki do tabeli, tworząc automatycznie odpowiednie kolumny.

Program liczy następnie (po wciśnięciu klawiszy Ctrl+s) podstawowe charakterystyki statystyczne: średnią arytmetyczną, odchylenie standardowe i częstość występowania wartości wskaźnika w określonych przedziałach. Dla części wskaźników program przyjmuje przedziały standardowe, odpowiadające przyjętym w bioklimatologii skalom oceny. Użytkownik może także podać swoje własne wartości progowe przedziałów częstości.

Praca w programie może się odbywać jednocześnie na dwóch otwartych tabelach, a wartości wskaźników mogą być wpisywane do dowolnej z nich.

Dane wejściowe oraz wszystkie obliczone wartości wskaźników i charakterystyk statystycznych są przez program zapisywane w formacie tekstowym ASCII. Pozwala to na ich import przez programy, za pomocą których można przygotować prezentację graficzną wyników.

Program BioKlima jest programem otwartym, to znaczy, że mogą być do niego włączone kolejne moduły, pozwalające na obliczenie innych, nowych wskaźników i charakterystyk.

Wszelkie pytania i uwagi na temat działania programu BioKlima proszę kierować do autorów:

Doc. dr hab. Krzysztof Błażejczyk
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa

Dyskietkę zawierającą program, wraz z plikiem HELP, można nabyć w Dziale Wydawnictw IGiPZ PAN, adres jak wyżej.

Wzory szczegółowe do wyznaczania składników bilansu cieplnego człowieka

Krzysztof Błażejczyk

Ogólna forma matematyczna modelu bilansu cieplnego człowieka w terenie otwartym ma postać:

$$R + M + E + C + L + Res = S \quad [Z1]$$

gdzie:

$$R = [\text{ctg}h(0,25 - 0,001 \cdot h) \cdot K_{dir} + 0,36 \cdot K_{dif} + (0,49 - 0,005 \cdot h) \cdot K_{ref}] \cdot (1 - 0,01 \cdot \alpha) \cdot I_{rc} \quad [Z2]$$

lub, gdy posiadamy dane dotyczące jedynie promieniowania całkowitego:

$$R = \beta \cdot (K_{glob} + K_{ref}) \cdot (1 - 0,01 \cdot \alpha) \cdot I_{rc} \quad [Z3]$$

gdzie:

$$\beta = 0,1436 + 0,0498 \cdot h \quad [Z4]$$

— dla wysokości Słońca ≤ 10 ,

$$\beta = \frac{12,058 \cdot (1 - 0,0116 \cdot h)}{h} \quad [Z5]$$

— dla wysokości Słońca > 10 i zachmurzenia $\leq 70\%$,

$$\beta = \frac{7,823 \cdot (1 - 0,0122 \cdot h)}{h} \quad [Z6]$$

— dla wysokości Słońca > 10 i zachmurzenia $> 70\%$.

$$E = [he(e - es) \cdot wle - [0,42 \cdot (M - 58) - 5,04]] \cdot sex \quad [Z7]$$

gdzie sex jest współczynnikiem zależnym od płci (Hoppe 1984); wartość tego współczynnika wynosi 1,0 dla mężczyzn i 0,7 dla kobiet.

$$C = hc(t - T_s) \cdot Irc \quad [Z8]$$

$$L = [2 \cdot s \cdot \sigma \cdot T^3 \cdot (t_g - t) - 0,5 \cdot s \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot (0,254 - 0,005 \cdot e) \cdot (1 - 0,01 \cdot c \cdot N) + 4 \cdot s \cdot \sigma \cdot T^3 \cdot (t - T_s)] \cdot Irc \quad [Z9]$$

$$Res = 0,0014 \cdot M \cdot (t - 35) + 0,0173 \cdot M \cdot (0,1 \cdot e - 5,624) \quad [Z10]$$

Parametry pomocnicze:

$$es = \exp(0,058 \cdot T_s + 2,003) \quad [Z11]$$

$$w = \frac{1,031}{37,5 - T_s} - 0,065 \quad [Z12]$$

(przy $T_s > 36,5^\circ$ $w = 1,0$)

$$4 \cdot s \cdot \sigma \cdot T^3 = 0,056 \cdot t + 4,48 \quad [Z13]$$

$$he = [t(0,00006 \cdot t - 0,00002 \cdot p + 0,011) + 0,02 \cdot p - 0,773] \cdot \sqrt{v + v'} \quad [Z14]$$

$$hc = (0,013 \cdot p - 0,04 \cdot t - 0,503) \sqrt{v + v'} \quad [Z15]$$

$$d = \frac{0,53}{Icl[1 - 0,27 \cdot (v + v')^{0,4}]} \quad [Z16]$$

$$hc' = (0,013 \cdot p - 0,04 \cdot t - 0,503) \cdot d \quad [Z17]$$

$$Irc = \frac{hc'}{hc' + hc + 4 \cdot s \cdot \sigma \cdot T^3} \quad [Z18]$$

$$Ie = \frac{hc'}{hc' + hc} \quad [Z19]$$

Szacunkowe wyznaczanie temperatury skóry i pochłoniętego promieniowania słonecznego:

$$T_s = (0,004 K_{glob} + 0,09 \cdot t + 0,08 \cdot e - 0,1 \cdot v + 26,4) + [(I_{cl} - 1) \cdot 0,6] + 0,00128 \cdot M \quad [Z20]$$

lub gdy nie mamy danych pomiarowych promieniowania słonecznego:

$$T_s = (0,29 \cdot t + 0,001 \cdot f + 0,08 \cdot v + 26,0) + [(I_{cl} - 1) \cdot 0,6] + 0,00128 \cdot M \quad [Z21]$$

— dla sytuacji bez dopływu lub z bardzo małym dopływem promieniowania słonecznego,

$$T_s = [0,29 \cdot t + 0,001 \cdot f + 1,12 \cdot (1 - 0,01 \cdot N) - 0,08 \cdot v + 26,03] + [(I_{cl} - 1) \cdot 0,6] + 0,00128 \cdot M \quad [Z22]$$

— dla sytuacji z prędkością wiatru $\leq 4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,

$$T_s = [0,27 \cdot t + 0,001 \cdot f + 1,10 \cdot (1 - 0,01 \cdot N) - 0,07 \cdot v + 25,1] + [(I_{cl} - 1) \cdot 0,6] + 0,00128 \cdot M \quad [Z23]$$

— dla sytuacji z prędkością wiatru $> 4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,

$$R = \frac{\ln h - 1,1}{0,015} \cdot I_{rc \cdot alb} \quad [Z24]$$

— dla iloczynu $N \cdot c \leq 30$

$$R = \exp(0,051 \cdot h + 2,34) \cdot I_{rc \cdot alb} \quad [Z25]$$

— dla iloczynu $N \cdot c = 31-60$

$$R = (2,21 \cdot h - 6,8) \cdot I_{rc \cdot alb} \quad [Z26]$$

— dla iloczynu $N \cdot c > 60$

gdzie alb jest współczynnikiem odzwierciedlającym barwę odzieży (α_j):

$alb = [1 - (\alpha_j - 30) \cdot 0,012]$ — dla odzieży o albedo $> 30\%$,

$alb = [1 + (30 - \alpha_j) \cdot 0,022]$ — dla odzieży o albedo $< 30\%$,

$alb = 1$ — dla odzieży o albedo $= 30\%$.

Przybliżone wartości strumieni ciepła:

$$C_p = 2,39 \cdot t - 2,91 \cdot v - 74,18 \quad [Z27]$$

$$L_p = 0,95 \cdot t + 3,14 \cdot v - 44,61 \quad [Z28]$$

$$E_p = -0,87 \cdot t - 1,46 \cdot v - 0,87 \quad [Z29]$$

$$S_p = 2,76 \cdot t - 4,77 \cdot v - 29,78 \quad [Z30]$$

— dla sytuacji z wiatrem o prędkości $\leq 4,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,

$$C_p = 2,40 \cdot t - 2,90 \cdot v - 84,20 \quad [Z31]$$

$$L_p = 0,90 \cdot t + 3,10 \cdot v - 43,60 \quad [Z32]$$

$$E_p = -1,37 \cdot t - 2,46 \cdot v + 14,20 \quad [Z33]$$

$$S_p = 2,30 \cdot t - 0,50 \cdot v - 35,32 \quad [Z34]$$

— dla sytuacji z wiatrem o prędkości $> 4,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,

$$C_p = 2,36 \cdot t - 8,24 \cdot v - 66,20 \quad [Z35]$$

$$L_p = 0,77 \cdot t + 5,63 \cdot v - 43,02 \quad [Z36]$$

$$E_p = -0,32 \cdot t - 4,10 \cdot v - 5,51 \quad [Z37]$$

$$S_p = 3,34 \cdot t - 1,48 \cdot v - 51,16 \quad [Z38]$$

— w przypadkach braku lub bardzo małego dopływu promieniowania słonecznego.

Szacowanie dopływu promieniowania całkowitego Słońca do powierzchni o dowolnym nachyleniu i ekspozycji

Anna Styszyńska

Wielkość docierającego do dowolnie eksponowanego wycinka powierzchni Ziemi promieniowania całkowitego, bezpośredniego czy rozproszonego może być mierzona lub szacowana. Na wielu obszarach, zwłaszcza o urozmaiconej rzeźbie, określenie ilości energii promieniowania słonecznego docierającej do powierzchni terenu drogą bezpośrednich pomiarów jest bardzo trudne (duża liczba przyrządów pracujących w sieci, pomiar radiacji docierającej na powierzchnię poziomą lub prostopadłą do promieni słonecznych).

W przypadku braku obserwacji aktynometrycznych ilość energii słonecznej docierającej do powierzchni o dowolnym nachyleniu i ekspozycji można oszacować drogą rachunkową. Znane w literaturze metody dotyczą głównie szacunku, kształtowanego przez czynniki astronomiczne, promieniowania potencjalnego (bezpośredniego, maksymalnie możliwego). Ze względu na skomplikowane obliczenia badania takie prowadzi się na ogół jedynie dla wybranych orientacji i kątów nachylenia określonych wycinków powierzchni Ziemi. Szacowanie promieniowania całkowitego sprowadza się do wyznaczania zależności między promieniowaniem potencjalnym (obliczonym wcześniej) a całkowitym w postaci funkcji, w skład której wchodzi częściej mierzone usłonecznienie rzeczywiste lub/i zachmurzenie. Formuły te charakteryzują się ograniczonym zakresem stosowalności, słuszne są albo dla rozważań w skali globalnej, albo dla określonego czasu lub miejsca.

Dla obszarów o urozmaiconym ukształtowaniu terenu, dla których dysponuje się mapami hipsometrycznymi, obliczenia sum promieniowania potencjalnego (bezpośredniego, maksymalnie możliwego) i całkowitego, dochodzącego do dowolnie eksponowanych fragmentów terenu, dokonać można nową metodą opracowaną przez autorkę, wykorzystując specjalnie do tego celu napisane programy komputerowe: POLEPODS, RCSUMIES i K_WSPOL. Podstawy teoretyczne funkcjonowania tych programów znaleźć można w publikacji autorki (Styszyńska 1995).

Zaproponowana w tej pracy nowa formuła szacowania sum miesięcznych promieniowania całkowitego może być użytecznym narzędziem w badaniach topoklimatu obszarów o urozmaiconej rzeźbie terenu, w różnych warunkach klimatycznych i w różnych typach terenu. Jest dostosowana do badań w warunkach braku bezpośrednich obserwacji aktynometrycznych. Może być rów-

BIBLIOGRAFIA

- Abdumalikov T.I., 1974, *Bioklimatičeskaja ocenka nekotorych landsaftov Srednej Azii*, Trudy SARNIGMI 20, 76-80.
- Ajzenštāt B.A., 1973, *Bioklimatičeskij atlas Srednej Azii*, Gidrometeoizdat, Moskva.
- 1987, *Health and the heat balance of the human body*, [w:] *Climate and human health*, Proc. Symp. Leningrad, 22-26 Sept. 1986, 170-181.
- 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, 147-173.
- Atlas kurortno rajoniranie na NR Bulgarija*, 1971 (praca zbiorowa), Sofia, Min. Nar. Zdrave.
- Atlas zasobów, walorów i zagrożeń środowiska geograficznego Polski*, 1992, S. Leszczycki (red.), IGIPIZ PAN, wyd. Agencja Reklamowa A. Grzegorzczak.
- Bajbakova E.M., Nevraev G.A., Cubukov L.A., 1963, *Metodika analiza klimata kurortov i meteorologičeskich uslovij klimatoterapii*, [w:] *Očerki po klimatologii kurortov*, Moskva, 5-42.
- Baranowska M., Boniecka-Żółcik H., Gurba A., 1986, *Weryfikacja skali klimatu odczuwalnego dla Polski*, Przegł. Geofiz. 31, 1, 27-40.
- Bartkowski T., 1972, *O pojęciu zasobów-użytków środowiska geograficznego i metodyce ich mierzenia*, Przegł. Geogr., 44, 1, 31-61.
- Becker F., Wagner M., 1972, *Das Bioklima in der Bundesrepublik Deutschland*, Geogr. Taschenb., 1970/1972, Wiesbaden.
- Beer J., Mączak S., 1977, *Naturalne związki bakteriobójcze w lasach sosnowych Konstancina*, Miasto, 10, 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, 129-136.
- Belinskij V.A., 1968, *Ultrafioletovaja radiacija solnca i neba*, Moskva.
- Bligh J., Johnson G., 1973, *Glossary of terms for thermal physiology*, J. Appl. Physiol., 35, 941-961.
- Błażejczyk K., 1975, *Wyznaczanie stopnia przewietrzania dolin*, Przegł. Geogr., 47, 1, 153-161.
- 1979, *Typologia pogody na potrzeby klimatoterapii*, Dokum. Geogr., IGIPIZ PAN, 2, 12-24.
- 1980, *Próba oceny klimatu uzdrowiska metodą modelową*, Przegł. Geogr., 52, 1, 115-125.
- 1981, *Bioklimatyczna klasyfikacja pogody*, Probl. Uzdrow., 1/4, 169-173.
- 1983, *Bioklimatyczna ocena i typologia uzdrowisk Polski*, Dokum. Geogr., IGIPIZ PAN, 3.
- 1984, *Bioklimatyczna klasyfikacja klimatów lokalnych z zastosowaniem do badań uzdrowisk*, Czas. Geogr., 55, 4, 491-505.
- 1985, *Analiza stosunków opadowych w Polsce z punktu widzenia rekreacji i klimatoterapii*, Przegł. Geogr., 57, 1-2, 139-155.

- 1987, *Bilans cieplny człowieka w warunkach stacjonarnych i niestacjonarnych*, Probl. Zdrow., 11/12, 25-35.
- 1988, *Klimatologiczno-fizjologiczna charakterystyka wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem w wybranych typach krajobrazu nizinnego*, Przegl. Geogr., 60, 3, 353-366.
- 1990a, *Podstawy wydzielenia biotopoklimatów w skali szczegółowej*, [w:] J. Grzybowski (red.), *Problemy współczesnej topoklimatologii*, Conf. Pap., IGI PAN, 4, 166-174.
- 1990b, *Zróżnicowanie biotopoklimatyczne wybranych typów krajobrazu*, [w:] J. Grzybowski (red.), *Problemy współczesnej topoklimatologii*, Conf. Pap., IGI PAN, 4, 175-187.
- 1990c, *Nowy wskaźnik bioklimatyczny do określania odczuwalności cieplnej człowieka*, Probl. Zdrow., 5/6, 59-71.
- 1990d, *Bioklimatyczna analiza warunków pogodowych w Polsce*, Zesz. IGI PAN, 8.
- 1991, *Heat balance of the human body in different weather conditions in North-East Poland (the problem of heat stress)*, Grana (Stockholm), 30, 277-280.
- 1992, *Wpływ urbanizacji na lokalne warunki bioklimatyczne (na przykładzie województwa katowickiego)*, Zesz. IGI PAN, 6, 15-28.
- 1993, *Wymiana ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem w różnych warunkach środowiska geograficznego*, Prace Geogr. IGI PAN, 159.
- 1995, *Fizyczne znaczenie promieniowania słonecznego dla człowieka*, [w:] B. Krawczyk, K. Błażejczyk (red.), *Współczesne badania klimatologów polskich w kraju i za granicą*, Conf. Pap., IGI PAN, 23, 61-68.
- 1996, *Topoklimat Warszawy*, [w:] W. Stola, J. Grzeszczak (red.), *Przemiany struktury przestrzennej obszarów wiejskich w strefach podmiejskich Polski i Rumunii*, Conf. Pap., IGI PAN, 25, 13-25.
- Błażejczyk K., Kozłowska-Szczęśna T., 1996, *Rayonnement solaire et son influence sur l'organisme humain*, Publ. AIC, 9 (w druku).
- Błażejczyk K., Kozłowska-Szczęśna T., Krawczyk B., 1994, *Recent bioclimatological studies in Poland*, Geogr. Pol., 63, 37-49.
- Błażejczyk K., Krawczyk B., 1991, *The influence of climatic conditions on the heat balance of the human body*, Int. J. Biomet. 35, 103-106.
- 1994, *Bioclimatic research of the human heat balance*, Zesz. IGI PAN, 28.
- Błażejczyk K., Lipska A., 1980, *Warunki akustyczne na terenie Dźwirzyna*, Probl. Zdrow., 9, 101-108.
- Błażejczyk K., Nilsson H., Holmér I., 1993, *Solar heat load on man (review of different methods of estimation)*, Int. J. Biomet. 37, 125-132.
- Błażejczyk K., Siemiaszko H., 1980, *Niektóre metody wyznaczania ostrości klimatu okresu zimowego*, Probl. Zdrow., 6, 59-68.
- Bogucki J., 1967, *Nowa typologia pogody dla analizy biometeorologicznych podstaw rytmów biologicznych*, Zesz. Nauk. AWF, Monografie, 21, Poznań.
- Bokša V.G., Boguckij B.V., 1966, *Klimatoterapija (ruководство dla vracej)*, Izd. Zdorove, Kiev.
- 1980, *Medicinskaja klimatologija i klimatoterapija*, Izd. Zdorove, Kiev.
- Bokša V.G., Latysev G.D., 1966, *Dozirovanie klimatičeskich procedur po cholidovej nagruzke*, Vopr. Kurort. Fizioter. Lečeb. Fiz. Kult., 2.
- Bradtko 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*, J. Appl. Physiol., 31, 659-663.
- Brown R.D., Gillespie T.J., 1986, *Estimating outdoor thermal comfort using a cylindrical radiation thermometer and an energy budget model*, Int. J. Biomet., 30, 1, 43-52.
- Budyko M.I., 1975, *Klimat i życie*, PWN, Warszawa.
- Budyko M.I., Cicenko G.V., 1960, *Klimaticheskie faktory teploosčuščenija čeloveka*, Izv. AN SSR, Geogr., 3, 3-11.
- Burt J.E., O'Rourke P.A., Terjung W.H., 1982, *The relative influence of urban climates on outdoor human energy budgets and skin temperature, Modeling considerations*, Int. J. Biomet., 26, 3-35.

- Burton A.C., Edholm O.G., 1955, *Man in a cold environment*, E. Arnold Publ., London.
- Buttner K., 1938, *Physikalische Bioklimatologie. Probleme und Methoden*, Akad. Verl., Leipzig.
- Cena M., Gregorczyk M., 1966a, *Rozkład temperatury ekwiwalentnej na obszarze Polski*, Roczn. Nauk Roln., D, 119, 191-211.
- 1966b, *Temperatura efektywna w sezonie kąpieliskowym w Polsce wyznaczona według skali podstawowej i normalnej*, Roczn. Nauk Roln., D, 119, 149-168.
- Chajrulin K.S., 1988, *Bioklimaticeskaja ocenka cholodogo diskomforta na territorii SSSR*, [w:] *Klimat i zdorove čeloveka*, Trudy Mežd. Symp., Leningrad, 22-26.09.1986, 117-121.
- Chmielewski W., Dmuchowski W., Supłat S., 1992, *Ocena zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi w Warszawie na podstawie metody bioindykacyjnej*, Prace Ogrodu Bot. PAN, 2, 103-115.
- Cicenko G.V., 1967, *Radiacionnyj balans poverchnosti tela čeloveka v različnych klimaticeskich uslovjach na territorii SSSR*, Trudy GGO, 193, 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 Techn. Univ. Press-Elsevier, Amsterdam, 13-28.
- Clark R.P., Edholm O.G., 1985, *Man and his thermal environment*, E. Arnold Ltd., London.
- Clarke J.F., Bach W., 1971, *Comparison of the comfort conditions in different urban and suburban microenvironments*, Int. J. Biomet., 15,1, 41-54.
- Cubukov L.A., Nevraev G.A., 1960, *Klimatoterapeviceskie znaczenie vaznejsich klassov mestnoj pogody*, Vopr. Kurort. Fizjoter. Lečeb. Fiz. Kult., 3, 193-202.
- Czarnecki J., 1970, *Waloryzacja terenów jako podstawa do prac nad strukturą przestrzenno-funkcjonalną w miejscowych planach ogólnych terenów wypoczynku cotygodniowego*, Miasto, 20, 3, 11-15.
- Daniłowa N.A., 1988, *Przyroda i nasze zdrowie*, Wiedza Powsz., Warszawa.
- Dubaniewicz H., 1974, *Bioklimatyczne podstawy zagospodarowania przestrzennego zachodniej części polskiego wybrzeża Bałtyku*, Zesz. Nauk. UL, II, 63, 115-126.
- Dubaniewicz H., Maksymiuk Z., Zych S., 1971, *Bioklimatyczna bonitacja obszaru województwa łódzkiego dla potrzeb rekreacji*, Zesz. Nauk. UŁ, II, 43, 3-60.
- Dubaniewicz H., Nurek T., Zawadzka A., 1988, 1989 *Biometeorologia turystyki. Wybrane zagadnienia z biometeorologii człowieka*, Cz. I i II, AWF, Gdańsk.
- Fabiszewski J. (red.), 1983, *Bioindykacja skażeń przemysłowych i rolniczych*, Wrocław (materiały pokonferencyjne).
- Fanger P.O., 1974, *Komfort cieplny*, Arkady, Warszawa.
- Flach E., 1981, *Human bioclimatology*, [w:] H.E. Landsberg, *World Survey of Climatology. General Climatology*, 3, Els. Sc. Publ. Comp., Amsterdam-Oxford-New York, 2-187.
- Flemming G., 1983, *Klimat — środowisko — człowiek*, WPRIŁ, Warszawa.
- Fourt J., Hollies N.R.S., 1970., *Clothing. Comfort and function*, M. Dekker Inc., New York.
- Freitas C.R. de, 1985, *Assessment of human bioclimate based on thermal response*, Int. J. Biomet., 29, 97-119.
- 1990, *Recreation climate assessment*, Int. J. Clim., 10, 89-103.
- Freitas C.R. de, Ryken M.G., 1989, *Climate and physiological heat strain during exercise*, Int. J. Biomet., 33, 157-164.
- Fuller F.H., Brouha L., 1966, *New engineering methods for evaluating the job environment*, ASHRAE J., 8, 1, 39-52.
- Funk M., 1982, *Ein Computerprogramm zur Bestimmung von Isolinien auf der Basis von Gitterpunkten*, Geogr. Inst. ETH Zurich, Berichte und Skripten, 9.
- Givoni B., 1976, *Man, climate and architecture*, Appl. Sci. Publ., London.
- Góra T., 1973, *Określenie czasu fotochemicznej aktywności promieniowania słonecznego dla potrzeb helioterapii*, Probl. Uzdrow., 6, 133-142.
- Grączewski J., 1972, *Wpływ pogody na zdrowie człowieka*, PZWL, Warszawa
- Gregorczyk M., 1968, *Regiony bioklimatyczne Polski*, Czas. Geogr., 39, 2, 125-136.

- 1970, *Analiza warunków bioklimatycznych Polski w latach 1958-1963 w świetle ważniejszych wskaźników kompleksowych*, Prace Wrocł. Tow. Nauk., s. B, 155.
- 1976, *O wielkości ochładzania na obszarze Polski*, Czas. Geogr., 47, 3, 255-263.
- 1978, *Rozkład ochładzania na obszarze Antarktyki*, Przegl. Geofiz., 23/31, 1, 45-57.
- Gricjute A.P., 1983, *Ekologo-terminadineskaja charakteristika ucastka Klajpeda-Svantoj i pribreznoj zony baltijskogo poberežija Litovskoj SSR po termiceskim uslovijam dla čeloveka (1948-1979)*, Trudy AN Lit. SSR., s. B, 3/136.
- Gricjute A.P., Kavaljauskas B., Tomkus J., 1979, *Lietuvos antropoklimatas (rekreaciniu ir klimaterapiniu atžvilgiu)*, Vilnius, Let. TSR, Mokslu Akad. Geogr. Skyrus, 139.
- Grodziński W., 1980, *Biowskaźniki w służbie ochrony środowiska*, Wszechświat, 7/8, 161-166.
- Grzybowski J., 1983, *Wyróżnianie i klasyfikacja jednostek wymiany energii na powierzchni przykładowej Kotliny Biebrzańskiej*, Przegl. Geogr., 55, 2, 341-359.
- 1986, *Mapa wymiany energii między atmosferą a podłożem jako podstawa analizy funkcjonowania środowiska geograficznego*, Przegl. Geogr., 58, 1-2, 131-142.
- Halawa B., 1983, *Ocena wyników leczenia inhalacjami radonowymi niektórych schorzeń układu krążenia*, Probl. Uzdrow. 1/2, 62-84.
- Hammer N., Koch E., Rudel E., 1986, *Die Beurteilung der thermisch-hygrischen Befindlichkeit des Menschen nach verschiedenen Methoden*, Arch. Met. Geoph. Biokl., B, 36, 3-4, 343-355.
- Holmer I., 1988, *Assessment of cold stress in terms of required clothing insulation — IREQ*, Int. J. Ind. Ergon., 3, 159-166.
- 1994., *Work in cold environments*, Undeskökningsrapport, 31.
- Hoppe P., 1984, *Die Energiebilanz des Menschen*, Wiss. Mitt. Met. Inst. Univ. München, 49.
- Iliceva E.M., 1963, *Opyt interpretacii klassov pogod dla medicinskih celej*, [w:] *Očerki po klimatologu kurortov*, 43-50.
- ISO/DIS 7933, *Hot environments — analytical determination of thermal stress*, Int. Org. Stand., Geneva.
- ISO 8996, *Ergonomics — determination of metabolic heat production*, Int. Org. Stand., Geneva.
- ISO/DIS 9920, *Ergonomics of the thermal environment — Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of clothing ensemble*, Int. Org. Stand., Geneva.
- ISO/DC 11079, *Evaluation of cold environments. Determination of required clothing insulation*, Int. Org. Stand., Geneva.
- Jankowiak J. (red.), 1976, *Biometeorologia człowieka*, PZWL, Warszawa.
- Jankowiak J., Parczewski W. (red.), 1978, *Bioklimat uzdrowisk polskich*, Wyd. Komunik. Łączn., 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*, ARL Hannover, 114, 7-69.
- Jokl M., 1965, *Hodnoceni mikroklimatickych podminek na pracovistich*, Pracovni Lek., 17, 9, 408-423.
- Kalinowski M., 1969, *Cisza w uzdrowiskach jako czynnik leczniczy i rehabilitacyjny*, Baln. Pol., 14, 3/4, 395-417.
- Kaps E., 1955, *Zur Frage der Durchlüftung von Tälern im Mittelgebirge*, Met. Rdsch., B, 8, 3/4, 61-65.
- Kiełczewski B., Bogucki J., 1972, *Zarys biometeorologii sportu*, Sport i Turystyka, Warszawa.
- Klonowicz S., Kozłowski S., 1970, *Człowiek a środowisko termiczne*, PZWL, Warszawa.
- Koch E., Rudel E., 1988, *The human sensitivity on high mountains — a comparison between an energy balance model and the cooling power*, [w:] *Symposium on Human Biometeorology*, Štrbske Pleso, High Tatras, Czechoslovakia, Proc., 193-201.

- Kondracki J., 1988, *Geografia fizyczna Polski*, PWN, Warszawa.
- Kopacz M., 1970, *Ocena warunków klimatoterapii w uzdrowisku na przykładzie Otwocka*, Prace i Studia IG UW, 5, 105-115.
- Kossowski J., 1972, *Długotrwałość okresów bezchmurnego nieba w Polsce*, Przegł. Geofiz., 17, 3-4, 291-300.
- 1973, *Pogoda bezchmurna w Polsce*, Ann. UMCS, Lublin, 23, 9, B, 203-241.
- 1976, *Dni, noce i doby bezchmurne w Polsce*, Przegł. Geofiz., 21, 1, 63-69.
- Kostrowicki A.S., 1970, *Zastosowanie metod geobotanicznych w ocenie przydatności terenu dla potrzeb rekreacji i wypoczynku*, Przegł. Geogr., 42, 4, 631-645.
- Kozłowska-Szczęśna T., 1973, *Promieniowanie pochłonięte na obszarze Polski*, Prace Geogr., IGiPZ PAN, 99.
- 1987a, *Typy bioklimatu Polski*, Probl. Uzdrow. 5/6, 37-47.
- 1987b, *Types of bioclimate in Poland*, Geogr. Pol., 53, 135-140.
- 1988, *Klimat Polski a zdrowie człowieka*, [w:] *Przemiany środowiska geograficznego Polski*, Wszechnica PAN, Warszawa, 185-202.
- 1990a, *Zmiany klimatu województwa katowickiego pod wpływem działalności człowieka*, Studia Ośr. Dokum. Fizjogr., PAN, Kraków, 18, 343-368.
- 1990b, *Antropogeniczne zmiany klimatu Jastrzębia-Zdroju*, Probl. Uzdrow. 5-6, 79-93.
- 1991, *Antropoklimat Polski (próba syntezy)*, Zesz. IGiPZ PAN, 1.
- Kozłowska-Szczęśna T. (red.), 1985, *Metody badań bioklimatu człowieka*, Probl. Uzdrow., 1/2.
- 1986, *Wyniki badań bioklimatu Polski cz. I*, Dokum. Geogr., IGiPZ PAN, 3.
- 1991, *Wyniki badań bioklimatu Polski cz. II*, Dokum. Geogr., IGiPZ PAN, 1.
- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1996, *Atlas Warszawy, 4, Środowisko fizycznogeograficzne — niektóre zagadnienia*, Wyd. IGiPZ PAN, Warszawa.
- Kozłowska-Szczęśna T., Grzędziński E., 1983, *Die Behandlung mit den radioaktiven Wässern in polnischen Kurorten*, [w:] *Congresso Internazionale su Radioattività naturale e Termalismo* (Merano 17-19 11 1983), Univ. Milano, 122-126.
- 1991, *The influence of atmospheric environment upon the occurrence of accidents among construction workers*, Urban Climate, Planning and Building, Lausanne, 749-753.
- Kozłowska-Szczęśna T., Krawczyk B., 1990, *Klimatyczne uwarunkowania zdrowotności w Polsce*, Conf. Pap., IGiPZ PAN, 9, 71-86.
- Kozłowska-Szczęśna T., Krawczyk B., Błażejczyk K., 1983, *Warunki bioklimatyczne południowego obrzeża Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego*, Prace Nauk. UŚ, 631, Geogr. 7, Katowice, 7-67.
- 1995, *Warunki bioklimatyczne Supraśla*, Zesz. IGiPZ PAN, 33.
- Kozłowski S., 1986, *Granice przystosowania*, Wiedza Powsz., Warszawa.
- Koźuchowski K., Marciniak K., 1978, *Warunki bioklimatyczne wschodniego wybrzeża Hiszpanii*, Acta Univ. Lodz., Zesz. Nauk. UL, II, 15, 125-137.
- Krawczyk B., 1979, *Bilans cieplny ciała człowieka jako podstawa podziału bioklimatycznego obszaru Iwonicza*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 131.
- 1980a, *Warunki bioklimatyczne projektowanego uzdrowiska Czarna*, Probl. Uzdrow., 6/152, 105-128.
- 1980b, *Warunki bioklimatyczne Komańczy (ze szczególnym uwzględnieniem doliny Barbarkij)*, Probl. Uzdrow., 9/155, 77-99.
- 1983, *Topoclimatic investigations of health resorts*, Geogr. Pol., 45, 47-58.
- 1984, *Struktura bilansu cieplnego ciała człowieka na wybrzeżu Bałtyku*, [w:] T. Kozłowska-Szczęśna (red.), *Problemy bioklimatologii uzdrowskiej cz. V*, Dokum. Geogr., IGiPZ PAN, 1/2, 103-115.
- 1988, *Uciążliwość warunków biotermicznych w Polsce*, Probl. Uzdrow., 9/10, 83-94.
- 1991, *Próba typologii bioklimatycznej Polski na podstawie temperatur radiacyjno-efektywnych*, Przegł. Geogr., 1-2, 43-55.
- 1993, *Typologia i ocena bioklimatu Polski na podstawie bilansu cieplnego ciała człowieka*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 160.

- Krawczyk B., Błażejczyk K., 1982, *Kształtowanie się odczuwalnych warunków termicznych w terenach górskich*, Przegł. Geogr., 54, 1-2, 81-86.
- 1991, *Wstępne badania bilansu cieplnego ciała człowieka na pustyni Kara-kum*, Przegł. Geogr., 63, 1/2, 143-154.
- Kreider M.B., Buskirk E.R., Bass D.E., 1958, *Oxygen consumption and body temperature during the night*, J. App. Physiol., 12, 3, 361-366.
- Krys S.A., Brown R.D., 1990, *Radiation absorbed by a vertical cylinder in complex outdoor environments under clear sky conditions*, Int. J. Biomet., 34, 69-75.
- Krzyszowska-Kostrowicka A., 1991, *Zarys geoekologii rekreacji*, T.1, Akapit, Warszawa.
- Kuczmarowski M., 1982, *Ustępnienie w Polsce w okresie 1961-1970*, Czas. Geogr., 53, 2, 149-157.
- 1984, *Możliwości wykorzystania ustępnienia do celów helioterapii w Polsce*, Dokum. Geogr., IGiPZ PAN, 1-2, 117-137.
- 1990, *Ustępnienie Polski i jego przydatność dla helioterapii*, Dokum. Geogr., IGiPZ PAN, 4.
- Kuczmarowski M., Paszyński J., 1981, *Zmienność dobową i sezonową ustępnienia w Polsce*, Przegł. Geogr., 53, 4, 779-791.
- Landsberg H.E., 1972, *The assessment of human bioclimate. A limited review of physical parameters*, WMO Tech. Note, 123, Geneva.
- Lee D.H.K., 1980, *Seventy-five years of searching for a heat index*, Envir. Res., 22, 331-356.
- Leško R., 1970, *O warunkach bioklimatycznych wybrzeży Jugostawii, Rumunii i Polski*, Czas. Geogr., 41, 1, 81-91.
- 1975, *Warunki hydrotermiczne sezonu kąpiel morskich nad polskim Bałtykiem*, Probl. Uzdrow., 1/2, 177-184.
- Liopo T.N., Cicenko G.V., 1971, *Klimatičeskie uslovija i teplovoje sostojanie celoveka*, Gidrometeoizdat, Leningrad.
- Lobożewicz T., 1979, *Warunki rozwoju turystyki i sportu narciarskiego w Polsce w świetle badań śniegowych*, Inst. Turystyki, Warszawa.
- Mączyński B., 1978, *Lecznictwo klimatyczne*, PZWL, Warszawa.
- Menz G., 1990, *Mikroskalige bioklimatologische Geländeaufnahme mit Satellitendaten*, [w:] H. Schirmer (red.), *Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen*, Akad. Raumforschung Landesplanung, Hannover, 114, 70-80.
- Miara K., Paszyński J., Grzybowski J., 1987, *Zróźnicowanie przestrzenne bilansu promieniowania na obszarze Polski*, Przegł. Geogr., 59, 4, 487-509.
- Michalczewski J., 1965, *Synoptyczne warunki występowania bryz morskich na polskim wybrzeżu Bałtyku*, Wiad. Stuz. Hydrol. Met., 1 (13), 2/62, 29-40.
- Mitchell D., 1977, *Physical basis of thermoregulation*, [w:] D. Robertshaw (red.), *International review of physiology*, 15, Environmental physiology II, Univ. Park Press, 1-21.
- Models in geography*, 1968, R.J. Chorley, P. Hagget, (red.), Methuen & Co, Ltd.
- Morgan D.L., Baskett R.L., 1974, *Comfort of man in the city. An energy balance model of man-environment coupling*, Int. J. Biomet., 18, 184-198.
- Munn R.E., 1970, *Biometeorological methods*, Acad. Press, New York.
- Nevraev G.A., Čubukov L.A. (red.), 1964, *Metodika izucenija i schema opisanyja klimata kwortov*, Min.Zdrav., Moskva.
- Niedźwiedz T., 1981, *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróźnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*, Rozpr. Habil. UJ, Kraków.
- Nielsen B., Kassow K., Aschengreen F.E., 1988, *Heat balance during exercise in the sun*, Eur. J. Appl. Physiol., 58, 189-196.
- Nosek M., 1954, *Prakticka klimatologie*, Naše Vojsko, Praha.
- Obrębska-Starkłowa B., Olecki Z., Kowanetz L., 1991, *Klimat i bioklimat gminy Dobczyce w aspekcie potrzeb rekreacji ruchowej*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr. 84, 119-164.

- Olszewski J.L., 1967, *O kompleksowej charakterystyce klimatu*, Przegł. Geogr., 39, 3, 601-614.
- Osokin I.M., 1968, *O količestvennom vyražeenii surovosti zimnich pogod*, Vestn. Nauč. Inst. Zabajkal. Fil. Geogr. Obšč. SSSR, 9.
- Osuchowska-Klein B., 1978, *Katalog typów sytuacji atmosferycznej*, IMiGW, Warszawa.
- 1987, *Zmienność cyrkulacji atmosferycznej w Europie*, Przegł. Geofiz., 21, 1, 41-49.
- Paczos S., 1982, *Stosunki termiczne i śnieżne zim w Polsce*, Wyd. UMCS, Lublin.
- Parczewski W., 1961, *Nowa klasyfikacja przedziałów prędkości wiatru dla opracowań klimatycznych i bioklimatycznych*, Wiad. Uzdraw., 1/2, 111-115.
- Parsons K.C., 1993, *Human thermal environments*, Taylor & Francis Publ., London.
- Paszyński J., 1976, *Niektóre zagadnienia klimatu Żuław*, [w:] Żuławy Wiślane, GTN, Gdańsk, 213-237.
- 1980, *Metody sporządzania map topoklimatycznych*, [w:] M. Kluge (red.), *Metody opracowań topoklimatycznych*, Dokum. Geogr., IGiPZ PAN 3, 13-28.
- 1983, *Główne cechy klimatu*, [w:] *Pobrzeże Pomorskie*, GTN, Gdańsk, 169-187.
- Paszyński J., Kuczmarowski M., Rojan P., 1991, *Structure du rayonnement solaire global en Pologne*, Publ. AIC, 4, 79-83.
- Paszyński J., Niedźwiedz T., 1991, *Klimat* [w:] L. Starkel (red.), *Geografia Polski, środowisko przyrodnicze*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 296-355.
- Piwkowski H., 1976, *Rozkład mgieł w Polsce i ich długotrwałość*, Przegł. Geofiz., 21, 1, 41-49.
- Ponikowska I. (red.), 1995, *Medycyna uzdrowskowa w zarysie*, wyd. WATEXT'S., Warszawa.
- Povolockaja N.P., 1975, *Ispolzovanie metoda teplovogo balansa v dozimetrii solnečnych i vozdušnych varn*, [w:] A. Novikov (red.), *Voprosy medicinskoj klimatologii i klimatoterapii bolnych na kurortach*, Inst. Kurort., Piatigorsk, 64-78.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z., 1975, *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego*, PWRiL, Warszawa.
- Romanova E.N., 1977, *Mikroklimatičeskaja izmencivost osnovnyh elementov klimata*, Gidrometizdat, Leningrad.
- Rukovodstvo po izučeniju mikroklimata dla celej selskochozajstvennogo proizvodstva, 1979, Gidrometizdat, Leningrad.
- Rusanov V.I. 1976, *Osnovnye certy bioklimata novosibirskoj oblasti*, [w:] *Prirodnyje resursy Sibirii*, Izd. Nauka, Nowosybirsk.
- Rybin M., 1983, *Bioklimatičeskie osobennosti Karpat*, Mat. Nauč. Prakt. Konf. Fizioterapevtov i Kurortologov Lit. SSR, Pałanga, Fiz. Geogr. Geomorf., Kiev, 29, 35-42.
- Seifert G., 1958, *Das Klima der DDR dargestellt durch Effectivtemperaturen*, Z. Met., 12, 11-12.
- Siemiątkowska U., Kaczmarzka G., 1968, *Kwalifikacja terenów dla różnych form rekreacji metodą waloryzacji*, Miasto, 3, 17-23.
- Skrzypski J., 1974, *Ustónecznienie i możliwości helioterapii w Krynicy*, Probl. Uzdraw., 9/10, 83-107.
- 1978, *Bioklimat Krynicy w świetle krótkotrwałych zmian ciśnienia atmosferycznego i zawartości tlenu w powietrzu*, Probl. Uzdraw., 6, 57-146.
- 1989, *Zastosowanie analizy bilansu cieplnego ciała człowieka zmodyfikowaną metodą Fanger'a do oceny bioklimatu i termicznych warunków klimatoterapii*, Probl. Uzdraw., 7/8.
- Słomka J., 1973, *Uwagi o krótkofalowej granicy UV widma słonecznego, ustónecznieniu i erytemalnej efektywności promieniowania słonecznego*, Probl. Uzdraw., 6, 137-140.
- Steadman R.G., 1979, *The assessment of sultriness*, J. App. Met., 18, 7, 861-885.
- Straburzyński G., 1980, *Aerazoloterapia w polskim lecznictwie uzdrowskowym*, Probl. Uzdraw., 8, 21-24.
- Struška V., 1956, *Meteorologicke přístroje a měření v přírode*, Státni Pedag. Nakład. Praha.
- 1959, *Metody badań bioklimatycznych*, Przegł. Zagr. Lit. Geogr., 3, 170-195.
- Styszyńska A., 1995, *Dopływ promieniowania całkowitego Słońca do powierzchni o dowolnym nachyleniu i ekspozycji*, Prace. Nauk. Wyższ. Szk. Mor. Gdynia.

- Sulman F.G., 1982, *Short and long-term changes in climate*, I, CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.
- Sylwanowicz W., Michajlik A., Ramotowski W., 1989, *Anatomia i fizjologia człowieka*, PZWL, Warszawa.
- Taesler R., 1987, *Climate characteristics and human health*, Proc. Symp. in Leningrad, 22-26 Sept. 1986, 81-120.
- Terjung W.H., 1966, *Physiological climates of the conterminous United States: A bioclimate classification based on man*, Ann. Ass. Am. Geogr., 56, 1, 141-179.
- 1970, *Urban energy balance climatology: A preliminary investigations of the city-man system in downtown Los Angeles*, Geogr. Rev., 60, 44-53.
- Terjung W.H. and coll., 1970, *The energy balance climatology of a city-man system*, Ann. Ass. Am. Geogr., 60, 3, 466-492.
- Titarenko V.A. i wsp., 1972, *Dozirovanie vozdušnyh vann i ich provedenie v lečebnyh i profilaktičeskich celach bolnyh revmatizmom*, Piatigorsk.
- Trojan P., 1985, *Biometeorologia ekologiczna*, PWN, Warszawa.
- Tromp S.W., 1980, *Biometeorology*, London, Heyden.
- Tuller S.E., 1975, *The energy budget of man: variations with aspect in a downtown urban environment*, Int. J. Biomet., 19, 1, 2-13.
- Twarowski M., 1964, *Teoretyczny czas nastōnczenia i metoda jego okrešlania na mapach podktadowych*, [w:] *Warunki zdrowotne w planowaniu miast*, IUA, 80, 157-174.
- Tyczka S., 1959, *Klimat i bioklimat Inowrocławia*, Przegl. Geofiz., 4/12, 1, 39-50.
- 1963, *Warunki insolacyjne na wybrzeżu bałtyckim jako fizykalne podstawy dla klimatologii i helioterapii*, Wiad. Uzdrow. 1/2, 47-58.
- 1973, *Zastosowanie danych meteorologicznych i aktywnometrycznych w klimatoterapii*, Probl. Uzdrow., 6, 1-14.
- 1975, *Warunki bioklimatyczne i higieniczne w uzdrowiskach i regionach uzdrowiskowo-wypoczynkowych*, Probl. Uzdrow., 3, 109-132.
- 1980, *Znaczenie czynników klimatycznych w profilaktyce zdrowotnej*, Probl. Uzdrow., 4, 49-46.
- Tyczka S., Ponikowska J., Marusik T., 1971, *Średnie dawki rumieniowe promieniowania słonecznego dla osób zdrowych, okrešlone w warunkach klimatycznych wybrzeża Bałtyku*, Baln. Pol., 16, 3/4, 217-222.
- Warszyńska J., 1971, *Waloryzacja miejscowości z punktu widzenia atrakcyjności turystycznej (zarys metody)*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr. 27.
- Webb P., 1971, *Metabolic heat balance data for 24-hour period*, Int. J. Biomet., 15, 2-4, 151-155.
- Woś A., 1970, *Zarys klimatu Polski północno-zachodniej w pogodach*, PTPN, Wyd. Mat. Przyr. Prace Kom. Geogr.-Geol. 10, 3.
- Wójtowicz W., 1966, *Zagadnienia metodyczne w badaniach meteoropatologicznych*, Wiad. Uzdrow., 1/2, 33-36.
- Wyszkowski A., 1985, *Wpływ zróżnicowania środowiska geograficznego na kształtowanie warunków termicznych Elbląga*, Zesz. Nauk. Wyd. BiNoZ UG, Geogr., 13.
- Yoshimura H., Morimoto T., 1974, *Seasonal variations of basal metabolism and body fluid*, [w:] S.W. Tromp (red.), *Progress in biometeorology 1*, 1, Elsevier, Amsterdam, 549-556.
- Zaninovic K., 1992, *Limits of warm and cold bioclimatic stress in different climatic regions*, Theor. Apl. Climat., 45, 65-70.
- Zenker H., Hentschel G., 1975, *Sezonowe różnice w przebiegu warunków pogodowych na wybrzeżu i w głębi kraju w NRD*, Probl. Uzdrow., 1/2, 157-162.

HUMAN BIOCLIMATOLOGY

— methods and applications

(summary)

The book has been elaborated by the Staff of Department of Climatology of the Institute of Geography and Spatial Organization, Polish Academy of Sciences, the specialists on human bioclimatology.

Human bioclimatology as a discipline of applied climatology is important in various spheres of human activity, e.g. natural environment protection, health resort treatment, spatial organization, tourism and recreation, melioration of climate etc.

The aim of the book is to present research methods used in evaluations of bioclimatic conditions of human life as well as their application in recognition of spatial differentiation of Poland's bioclimate.

Both in Polish and foreign specialist literature there is a paucity of titles devoted to methodology of research and elaborations embracing both actually already classic basic methods and the most recent. The last originate from the advancement of knowledge and from introducing the new research techniques.

The book is destined not only for geographers but for all interested in broadly discussed research problems. The authors hope that the book will be acceptable and useful for the specialists representing other scientific disciplines, e.g. ecologists, planners, medical doctors, architects of landscape. Possibly it enables to understand the complexity of bioclimatic problems. It also pays readers attention that climatologists may supply the relevant data for practical purposes and consequently may help to develop broader than hitherto interdisciplinary co-operation.

The study consists of 4 parts and several chapters. An effort was taken to draw attention on research methods already examined under the conditions of Poland's climate.

The first part presents the impact of atmospheric environment upon the human being. A classification was attempted presenting various climatic stimuli influencing human organism. This simple and easy readable classification adds toward the better understanding of the role of various factors in forming bioclimatological conditions. Climatic stimuli are divided into three basic groups:

— physical stimuli including radiative, thermo-humid, mechanical, electric stimuli acoustic and

— chemical, related with air quality,

— biological, including organic stimuli, suspended in the air aeroplankton which may cause allergic effects, also volatile substances emitted from plants.

Action of the particular stimuli upon the human organisms is discussed in consecutive chapters and subchapters.

The second part contains the overview of the methods used on bioclimatological research. Presented are radiative criteria, thermic, hygric and dynamic assessment of bioclimatic conditions. Explained are ways of establishing biometeorological indices by quantitative methods, such as: sensible temperatures, air enthalpy, climate severity index, winter severity index, wind chill index, reduced temperature. Moreover the indices obtained by measuring methods, such as: cooling power, thermal sensitivity index, WBGT index. Methods of assessment of air hygiene are also brought to the fare.

Classification of weather serves the needs of human bioclimatology along with typology of synoptic and weather conditions.

The next chapters provide climatic-physiological models for evaluation of thermal conditions. Characterized are physiological principles of heat exchange and presented models of human body heat balance applied in high and in low temperature of air. Then in thermoneutral and differentiated thermal conditions. Added is general model of evaluation of bioclimatic conditions. There are worthy stressing such original methods as: typology of weather, heat balance of the human body, complex model of evaluating the exchange of heat between a man and surrounding, complex evaluation of bioclimate by quantitative methods, elaborated and examined in the Department of Climatology of the Institute of Geography and Spatial Organization Polish Academy of Sciences.

The third part presents the investigations dealing with spatial differentiation of bioclimatic conditions in local and regional scale. The said methods are divided into two groups:

- measuring methods and
- cartographic methods.

Speaking about measurements the attention is drawn on the system of location of observational posts in the field, on organization of the measurements and on the influence of local geographical environment on bioclimatic conditions. Presented are further methods of using measuring data in a cartographic form. Attached are examples of analytical maps, drawn by the method of isolines, methods of range and by the GIS methods. Explained are also methods for drawing synthetic maps containing evaluation of local bioclimatic conditions.

Such the review of methods was possible thanks to many years experience of the author's team in carrying out field investigations and then elaboration of the collected observation materials.

Part number four provides presentations of the spatial differentiation of Poland's bioclimate. Used were the methods described in the second part. Data from several dozens meteorological stations and posts of the state network were used from the period 1961-1970.

Physico-geographical differentiation of Poland is presented together with its impact on bioclimatic conditions. Characterized are circulation factors, ra-

diative conditions, anemometric, thermic, and moisture conditions. Analyzed are also sensible conditions in result of cooling power, sensible temperatures, severity of winter climate and also thermophysiological descriptions.

Moreover discussed are types and bioclimatic regions of Poland. The material for preparing map of bioclimate types (Fig. 77) were intensities of external stimuli (mainly physical) affecting human body. Intensity of stimuli are determined after scales and standards of bioclimatic conditions evaluation.

Value of particular meteorological elements and bioclimatic indices have been tested within given categories. 4 types of bioclimate have been distinguished.

- I — strongly stimulating
- II — temperately stimulating
- III — moderately stimulating
- IV — weakly stimulating
and 2 sub-types

A. forest areas with spare features

B. urbanized areas with strain features.

The basis for division of Poland into bioclimatic regions was the occurrence of characteristic days, oppressive for human being. That include: days with a considerable variation of atmospheric pressure ≥ 8 hPa, days with strong wind ($v \geq 8$ m s⁻¹), sultry days ($e \geq 18.8$ hPa), days with hot discomfort (cooling power < 210 W·m²), days with cold discomfort (cooling power ≥ 1260 W·m²), whole day precipitation and days with dense fog.

Distinguished are 7 regions and 4 sub-regions:

- I — Coastal region, under strongest influence of Baltic,
- Ia — sub-region of maximum intensity of stimuli,
- II — Lakeland region with bioclimatic conditions milder than in region I,
- III — North-Eastern region, coldest (besides mountains) in Poland,
- IV — Central region with weak stimuli,
- IVa — sub-region with very weak stimuli,
- IVb — sub-region with relatively strong stimuli,
- V — South-Eastern region, warmest in Poland,
- Va — sub-region with increased thermal stimulation,
- VI and VII — Foothills and mountains regions with much differentiation of bioclimatic conditions and with strong stimulation effects.

The study is supplied by three appendices. Appendix 1 presents BioKlima software package which can be used for the calculation of more than 30 different biometeorological and thermophysiological indices; it also calculates basic statistical characteristic. Appendix 2 contains detail equations using for the calculations of the human heat balance components. Appendix 3 describes software package (POLEPODS, RCSUMIES, K WSPOL) which can be used for the estimation of solar radiation on slopes with different inclination and exposition. For the diskette containing above packages please contact:

SKOROWIDZ RZECZOWY

- A**erazol atmosferyczny, 27, 142
Aklimatyzacja, 20
Albedo:
— podłoża, 105, 175
— skóry i odzieży człowieka, 123, 175, 181
- B**adania terenowe, 99-101
— organizacja, 99-100
— patrolowe, 101
— przemienne, 101
— synchroniczne, 100
- Bilans cieplny człowieka:
— modele, 67, 74-77
— saldo wymiany ciepła: 72, 77, 87-88
— — wartość rzeczywista, 72, 75
— — wartość przybliżona, 79, 87
— — wartość potencjalna, 77, 90
— straty ciepła patrz: ewaporacja, konwekcja, radiacja, respiracja, kondukcja
— struktura i typologia, 77, 129
— wskaźniki:
— — częstotliwość tętna, 82
— — dopuszczalny czas przebywania, 77, 88
— — ekwiwalent temperatury standardowej, 90-91
— — obciążenie cieplne organizmu, 77, 88-89, 128, 130-131
— — pożądane wydzielanie potu, 83
— — przewidywana średnia ocena, 84-85
— — przewidywany odsetek osób odczuwających dyskomfort, 85
— — straty wody, 77, 89
— — temperatura skóry bilansująca wymianę ciepła, 77, 89-90
— — wskaźnik stresu cieplnego, 83-84
— zyski ciepła patrz: metabolizm, promieniowanie słoneczne pochłonięte
- Bilans radiacyjny ciała człowieka, 50
Bioindykator, 57
Bioklimatologia człowieka, 7
Biotopoklimat, 128
Bodźce atmosferyczne, 19-20
— akustyczne, 25
— elektryczne, 24
— jakości powietrza, 26
— mechaniczne, 24
— organiczne, 27
— radiacyjne, 22
— termiczno-wilgotnościowe, 23
— zespoły bodźców:
— — biologiczne, 27
— — chemiczne, 26
— — fizyczne, 22
- Burza, 24, 26, 100, 158
Bryza morska, 23, 25, 142, 143
- C**iśnienie atmosferyczne, 149
— zmiany dobowe, 38
— zmiany z wysokością, 38
- Czynniki klimatotwórcze, 19, 62, 142
- D**awka lecznicza, 30

- Dawka rumieniowa skóry, 30, 33
Dni charakterystyczne termicznie:
— bardzo mroźne, 35, 154
— gorące, 35, 154
— mroźne, 35, 154
— upalne, 35, 154
Elektryczność atmosferyczna, 24
Elementy biometeorologiczne, 29
Entalpia powietrza, 46, 47, 163
Ewaporacja, 71, 75, 76
Fitoncydy, 27, 145
Frygorygraf, 51
Frygorymetr, 51
Hałłas, 25, 106, 107, 108
— dopuszczalne normy, 58
— szkodliwość, 57
Hipoksja (niedotlenienie), 26
Intercepcja, 145
Jonizacja powietrza, 24
— hydrojonizacja, 25
— termojonizacja, 24
Katatermometr, 51
Klimatoterapia,
 patrz: terapia klimatyczna
Komfort termiczny, 43, 159-160, 166
Kondukcja, 71-72
Konwekcja, 71-72
Lasy, bioklimat, 104-105
Manekin cieplny, 70, 71
Mapy biotopoklimatyczne, 128
— bonitacyjna, 136-138
— metoda izoliniowa, 106-107
— metoda zasięgów, 106, 110-111
— natężenia poziomu dźwięku, 107-108
— opadu pyłu, 107-108
— przewietrzania efektywnego dolin górskich, 110
— temperatury minimalnej powietrza, 113-115
— teoretycznie możliwego usłonecznienia, 113
— typów biotopoklimatu, 128-129, 132-136
— warunków odczuwalnych, 119-121
— wilgotności gleby, 115-117
— względnych wartości promieniowania słonecznego, 111-112
— zagospodarowania terenu, 95
— zmian prędkości wiatru, 117-119
Masy powietrza, 146
Metabolizm, 69-70, 75, 76
Meteorotropowe sytuacje, 59, 61
Mgła, 100, 115, 155
— całodzienna, 62, 155, 156
— poranna/wieczorna, 62, 155, 156
Miasta, bioklimat, 106
Model oceny bioklimatycznej, 91-97
— rzeźby terenu, 94-95
— warunków klimatycznych i bioklimatycznych, 93-94
— zagospodarowania terenu, 95-96
Niedosyt fizjologiczny, 37, 165
Ochładzanie biologiczne:
— suche, 52
— wilgotne, 52
— wielkość ochładzająca powietrza, 51, 53, 99, 159, 160
Odczuwalność cieplna człowieka, 23, 123, 126-127
Opady, 100, 157
— całodziennie, 157
— krótkotrwałe, 157
Odzież, 72-73, 75
— termoizolacyjność, 73, 75, 76, 89, 123, 166
— wskaźniki:
— — niezbędna izolacyjność odzieży, 86
— — efektywna izolacyjność odzieży, 79, 86
— — przewidywana izolacyjność odzieży, 87
Parność, 23, 37, 155
Parowanie potu, patrz: ewaporacja
Pogoda:
— klasyfikacje bioklimatyczne, 62-66
— klasyfikacje biosynoptyczne, 59-61
— oddziaływanie na człowieka, 61
— przydatność dla klimatoterapii, 62, 64-65, 93-94

- typologie, 62-65
- zmienność, 66-67
- Pokrywa śnieżna, 158-159
- Promieniowanie słoneczne, 22, 29, 104, 105, 149
- całkowite, 33, 150
- nadfioletowe, 22, 29, 34
- pochłonięte, 71, 76, 123, 124-125, 150, 151
- podczerwone, 22, 31
- widzialne, 22, 31
- Przewietrzanie dolin górskich, 109, 110
- R**adiacja, 71
- Radioaktywność, 25
- Regiony:
 - bioklimatyczne, 170, 171
 - opadowe, 158
- Respiracja, 71, 75
- Rzeźba terenu, 94, 100, 104
- S**kóra człowieka:
 - średnia temperatura promieniowania, 71, 91
 - temperatura skóry równoważąca wymianę ciepła, 75, 167
- Szata roślinna, 104-105, 130
- Synergizm, 20
- System Informacji Geograficznej (GIS), 121-128
- T**emperatury odczuwalna, 40, 160
 - efektywna, 41-44, 161
 - ekwiwalentna, 37, 40, 161
 - radiacyjno-efektywna, 45, 162
 - zredukowana, 50, 164, 165
- Temperatura powietrza, 35, 154
 - amplituda dobową, 36
 - średnia dobową, 62, 140
 - zmienność, 36
- Terapia klimatyczna, 29
 - aeroterapia, 23
 - helioterapia, 29
 - kinezyterapia, 23
- Terminy obserwacji meteorologicznych, 139
- Termometr kulisty, 55
- Termoregulacja, 23
- Typologie bioklimatyczne:
 - klimatów lokalnych, 128-129, 132-136
 - regionalne: 148, 163, 168-169
- Typy bioklimatu, 163, 168-170
 - cyrkulacji, 145
 - pogody, 146, 147
- U**słonecznienie, 31, 150
 - rzeczywiste, 32, 151
 - topograficznie możliwe, 32
 - względne, 32, 33, 150
- W**iatr, 24, 153
 - halny (fen), 23, 25, 144
 - redukcja prędkości, 39
 - silny, 38
 - słaby, 38
- Wilgotność powietrza:
 - fizjologiczna, 37
 - względna, 36, 155
- Wskaźniki biometeorologiczne:
 - dyskomfortu, 55
 - obciążenia cieplnego (WBGT), 54
 - ochładzania wiatrem (Wind Chill Index), 49, 50, 164
 - odczucia ciepła, 54
 - ostrości klimatu (Bodmana, Osokina), 47, 48, 163-164
 - ostrości zim, 49, 164
- Z**achmurzenie, rodzaj, wielkość, 34, 152, 153
- Zagospodarowanie terenu, 95, 105-106, 130
- Zanieczyszczenie powietrza, 26, 27, 107, 108
 - dopuszczalne normy, 56
 - szkodliwość, 27, 56

ISBN 83-906310-1-6

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk rozpoczyna wydawanie nowej serii pt. "Monografie". Poświęcona ona będzie przemianom środowiska przyrodniczego oraz zmianom społecznym i gospodarczym Polski.

Pierwszy tom z tej serii został przygotowany przez pracowników Zakładu Klimatologii IGiPZ PAN - specjalistów z zakresu bioklimatologii człowieka.

Książka przewidziana jest nie tylko dla geografów; Autorzy mają nadzieję, że będzie ona przydatna dla specjalistów z innych dziedzin wiedzy, np. ekologów, lekarzy, planistów, architektów krajobrazu.

Być może książka ta pozwoli na zrozumienie złożoności zagadnień bioklimatycznych, a także przyczyni się do większej niż dotychczas współpracy interdyscyplinarnej.

Studium składa się z czterech części. W trzech przedstawiono metody stosowane w badaniach bioklimatycznych, część czwarta zawiera przykłady ich wykorzystania w poznaniu bioklimatu Polski.