

POLSKA AKADEMIA NAUK  
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

---

PRACE GEOGRAFICZNE NR 160

BARBARA KRAWCZYK

TYPOLOGIA I OCENA  
BIOKLIMATU POLSKI  
NA PODSTAWIE  
BILANSU CIEPLNEGO  
CIAŁA CZŁOWIEKA

WROCLAW · WARSZAWA · KRAKÓW  
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH  
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK



POLSKA AKADEMIA NAUK  
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

•

PRACE GEOGRAFICZNE NR 160

GEOGRAPHICAL STUDIES

No 160

BARBARA KRAWCZYK

THE TYPOLOGY AND EVALUATION  
OF THE BIOCLIMATE OF POLAND  
ON THE BASIS OF THE HUMAN  
BODY HEAT BALANCE

POLSKA AKADEMIA NAUK  
INSTYTUT GEOGRAFII PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

---

PRACE GEOGRAFICZNE NR 160

BARBARA KRAWCZYK

TYPOLOGIA I OCENA  
BIOKLIMATU POLSKI  
NA PODSTAWIE  
BILANSU CIEPLNEGO  
CIAŁA CZŁOWIEKA

WROCLAW · WARSZAWA · KRAKÓW  
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH  
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

1993

**Komitet redakcyjny**

**REDAKTOR NACZELNY: ROMAN SZCZĘSNY  
ZASTĘPCA REDAKTORA NACZELNEGO: ZBIGNIEW TAYLOR  
CZŁONKOWIE: ANDRZEJ S. KOSTROWICKI, LESZEK STARKEL,  
ANDRZEJ STASIAK, JAN SZUPRYCZYŃSKI  
SEKRETARZ: IRENA STANČZAK**

**Recenzent:**

**Doc. dr Maria Baranowska**

**Praca habilitacyjna**

**Redaktor Wydawnictwa Krystyna Nasuszny  
Redaktor techniczny Ryszard Ulanecki**

*© Copyright by Zakład Narodowy im. Ossolińskich – Wydawnictwo. Wrocław 1993*

*Printed in Poland*

**ISBN 83-04-04185-5  
PL ISSN 0373-6547**

## SPIS TREŚCI

1. Wstęp . . . . .	7
1.1. Wprowadzenie . . . . .	7
1.2. Cel, metoda pracy, materiał źródłowy . . . . .	7
2. Metody oceny wpływu środowiska atmosferycznego na człowieka . . . . .	12
2.1. Modelowanie fizyczne . . . . .	12
2.2. Modelowanie matematyczne . . . . .	13
2.3. Badania eksperymentalne . . . . .	13
3. Bilans cieplny ciała człowieka i jego zastosowanie do celów bioklimatycznych . . . . .	15
4. Rola czynników fizjologicznych w procesie wymiany ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem atmosferycznym . . . . .	20
4.1. Termoregulacja . . . . .	20
4.2. Ciepło wytwarzane w procesach metabolicznych . . . . .	21
4.3. Temperatura skóry człowieka . . . . .	22
5. Rola odzieży w procesie wymiany ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem atmosferycznym . . . . .	25
5.1. Ilościowa ocena wielkości oporu cieplnego odzieży . . . . .	25
5.2. Termoizolacyjne właściwości odzieży jako wskaźnik bioklimatyczny . . . . .	27
6. Model bilansu cieplnego ciała człowieka M. I. Budyko . . . . .	31
6.1. Wyznaczanie strumienia promieniowania krótkofalowego, pochłoniętego przez powierzchnię ciała człowieka . . . . .	31
6.2. Wyznaczanie strumienia promieniowania efektywnego . . . . .	34
6.3. Wyznaczanie turbulencyjnych strumieni ciepła jawnego i utajonego . . . . .	36
6.4. Wyznaczanie strat ciepła powstających w procesie oddychania . . . . .	38
6.5. Uwzględnienie rodzaju odzieży w równaniu bilansu cieplnego ciała człowieka . . . . .	38
7. Wymiana ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem atmosferycznym na obszarze Polski . . . . .	41
7.1. Energetyczne zasoby bioklimatu Polski – promieniowanie słoneczne pochłonięte przez powierzchnię ciała człowieka . . . . .	41
7.2. Dynamiczne uwarunkowania bioklimatu Polski – typy cyrkulacji atmosferycznej . . . . .	47
7.3. Ocena bioklimatu Polski z punktu widzenia zapotrzebowania na odzież o optymalnej termoizolacyjności . . . . .	49
7.3.1. Rozkład sezonowy i przestrzenny wskaźnika termoizolacyjności odzieży gwarantującej komfort cieplny człowiekowi przy małym wysiłku fizycznym . . . . .	50
7.3.2. Rozkład sezonowy i przestrzenny wskaźnika termoizolacyjności odzieży gwarantującej komfort cieplny człowiekowi przy umiarkowanym wysiłku fizycznym . . . . .	55
7.4. Struktura bilansu cieplnego ciała człowieka w stanie komfortu termicznego i jej typologia . . . . .	60
7.4.1. Struktura bilansu cieplnego ciała człowieka w stanie komfortu termicznego przy małym wysiłku fizycznym . . . . .	62
7.4.2. Struktura bilansu cieplnego ciała człowieka w stanie komfortu termicznego przy umiarkowanym wysiłku fizycznym . . . . .	70

8. Typologia i ocena bioklimatu Polski . . . . .	78
8.1. Wymiana ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem atmosferycznym jako podstawa typologii i oceny bioklimatu Polski . . . . .	79
8.2. Charakterystyka typów bioklimatu Polski . . . . .	84
9. Podsumowanie i wnioski . . . . .	88
9.1. Podsumowanie . . . . .	88
9.2. Wnioski . . . . .	90
Literatura . . . . .	92
Wykaz symboli stosowanych w pracy . . . . .	99
The typology and evaluation of the bioclimate of Poland on the basis of the human body heat balance (summary) . . . . .	101



# 1. WSTĘP

## 1.1. WPROWADZENIE

Bioklimatologia badając wpływ środowiska zewnętrznego na żywe organizmy dąży między innymi do ustalenia prawidłowości rządzących oddziaływaniem czynników atmosferycznych (klimatu) na ustrój człowieka.

Cel ten jest realizowany różnymi metodami badawczymi, wśród których na szczególną uwagę zasługuje analiza bilansu cieplnego ciała człowieka. Ta kompleksowa metoda modelowa jest coraz częściej wykorzystywana we współczesnej bioklimatologii.

W Polsce po raz pierwszy metoda ta została zastosowana przez autorkę do oceny warunków topoklimatycznych Iwonicza Zdroju – niewielkiego uzdrowiska położonego w Beskidzie Niskim.

Kontynuacją naukowych zainteresowań autorki jest niniejsza praca. Stanowi ona monograficzne opracowanie dotyczące kształtowania się wymiany ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem atmosferycznym w różnych warunkach fizycznogeograficznych Polski. W pracy zastosowano model bilansu cieplnego ciała człowieka, a jej rezultatem jest typologia i ocena bioklimatu Polski, do której wykorzystano strukturę strat ciepła oraz wskaźnik termoz izolacyjności odzieży gwarantującej komfort termiczny.

Praca została wykonana w większości w ramach tematu CPBP 03.13.03. „Zmienność warunków bioklimatycznych na obszarze Polski”. W tym miejscu pragnę podziękować prof. dr hab. T. Kozłowskiej-Szczęsnej za okazaną mi pomoc i życzliwość, prof. dr. J. Paszyńskiemu za cenne uwagi merytoryczne, mgr. P. Rojanowi za wykonanie obliczeń komputerowych.

## 1.2. CEL, METODA PRACY, MATERIAL ŹRÓDŁOWY

Celem pracy jest znalezienie odpowiedzi na następujące pytanie: czy bilansowanie zysków i strat ciepła na powierzchni ciała człowieka można zastosować do oceny i typologii bioklimatu Polski oraz jakie jednostki przestrzenne można wyróżnić posługując się tą metodą badawczą?

Odpowiedź na tak sformułowane pytanie można uzyskać przez:

- określenie, jakim termoizolacyjnym właściwościom powinna odpowiadać noszona w Polsce odzież, aby zapewniała komfort ciepły człowiekowi w zmieniających się w ciągu roku warunkach klimatycznych,

- zbadanie struktury bilansu cieplnego ciała człowieka na obszarze Polski.

Do realizacji wyżej wymienionego celu zastosowano w pracy jeden z modeli bilansu cieplnego ciała człowieka, odpowiedni dla dłuższych okresów niż doba (warunki stacjonarne). Opracowany on został przez prof. M. I. Budyko wraz z zespołem współpracowników z Głównego Obserwatorium Geofizycznego w St. Petersburgu. Do modelu tego wprowadzono własne modyfikacje. Przydatność metody bilansowania zysków i strat ciepła do celów bioklimatycznych potwierdziły wyniki badań fizjologicznych i klimatologicznych prowadzonych w różnych strefach klimatycznych byłego Związku Radzieckiego oraz w wielu innych krajach. Zaletą przyjętego modelu jest to, że uwzględnia on wszystkie czynniki meteorologiczne oddziałujące na człowieka, a także czynniki fizjologiczne oraz termoizolacyjne właściwości noszonej odzieży. Model ten pozwala na ocenę odczuć termicznych człowieka przy różnych formach wysiłku fizycznego.

Niezbędne do rozwiązania równania bilansu cieplnego ciała człowieka wieloletnie dane klimatologiczne pochodzą z 57 stacji i posterunków meteorologicznych sieci Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Są to wartości średnie miesięczne z II klimatologicznego terminu obserwacyjnego, przypadającego na godziny okołopołudniowe (godz. 13<sup>00</sup> czasu urzędowego). Reprezentują one warunki pogodowe tej pory dnia, w której zwykle koncentrują się różne formy działalności człowieka, stąd też dane z II terminu obserwacyjnego są najczęściej stosowane w badaniach bioklimatycznych (Jankowiak, Parczewski, red., 1978; Kozłowska-Szczęsna, red., 1991).

Wykorzystane w opracowaniu dane klimatologiczne pochodzą z okresu 1961–1970. Dziesięciolecie to charakteryzowało się zróżnicowanymi warunkami klimatycznymi. Gorące lato zaobserwowano w 1963 r., chłodne w 1962 i 1965 r., mroźne zimy wystąpiły w 1962/1963 r. i 1969/1970 r. Wilgotne lato zanotowano w 1966 i 1970 r., suche natomiast – w 1964 r. i w 1969 r. Według T. Kozłowskiej-Szczęsnej (1991) dziesięciolecie 1961–1970 można uznać za typowe dla warunków klimatycznych Polski.

Ograniczenie danych wyjściowych do okresu dziesięcioletniego (który mieści się w zaleceniach WMO dotyczących opracowań klimatologicznych) wynikało z możliwości uzyskania wieloletnich, porównywalnych danych obserwacyjnych, dotyczących usłonecznienia, temperatury powietrza i jego wilgotności, prędkości wiatru, zachmurzenia oraz pokrywy śnieżnej, dla maksymalnej liczby stacji i posterunków meteorologicznych w Polsce. Przeprowadzane od dłuższego czasu liczne reorganizacje sieci stacji IMiGW utrudniły zgromadzenie takich danych z okresu dłuższego niż dziesięcioletni i to dla takiej liczby stacji, aby rozmieszczone w miarę równomiernie na obszarze Polski reprezentowały różne warunki fizycznogeograficzne. Z 57 stacji, których dane zostały wykorzystane w pracy (ryc. 1, tab. 1), 43 reprezentują (według klasyfikacji

Tabela 1. Wykaz stacji i posterunków meteorologicznych, których dane z okresu 1961–1970 zostały wykorzystane w pracy

List of meteorological stations and posts which data (1961–1970) were taken into consideration

Lp.	Nazwa	Szerokość geogr. $\phi$	Długość geogr. $\lambda$	Wysokość npm. (m)
1.	Aleksandrowice	49°48'	19°00'	398
2.	Białowieża	52 42	23 51	164
3.	Biebrza - Pienczykówek	53 39	22 36	117
4.	Busko-Zdrój	50 27	20 43	225
5.	Bydgoszcz IMUZ	53 08	18 01	46
6.	Chelm Lubelski	51 07	23 30	220
7.	Chojnice	53 42	17 33	172
8.	Ciechocinek	52 53	18 48	44
9.	Cieszyn - Bobrek	49 45	18 39	300
10.	Gdynia	54 31	18 34	5
11.	Gorzów Wielkopolski	52 44	15 15	65
12.	Hel	54 36	18 49	1
13.	Iwonicz-Zdrój	49 34	21 48	402
14.	Jelenia Góra	50 54	15 48	342
15.	Kalisz	51 44	18 05	140
16.	Kasprowy Wierch	49 14	19 59	1991
17.	Katowice	50 29	19 05	317
18.	Kołobrzeg	54 11	15 35	3
19.	Kraków - Obs. Astr.	50 04	19 57	206
20.	Krynica	49 25	20 58	604
21.	Laskowice Oławskie	51 03	17 21	135
22.	Lądek-Zdrój	50 21	16 53	495
23.	Lesko	49 28	22 20	386
24.	Leszno-Strzyżewice	51 50	16 32	90
25.	Łódź - Lublinek	51 44	19 24	187
26.	Mikołajki	53 47	21 35	127
27.	Muszyna	49 21	20 53	450
28.	Opole	50 40	17 58	176
29.	Ostrołęka	53 05	21 34	95
30.	Polanica-Zdrój	50 24	16 30	400
31.	Poświętne	52 38	20 23	101
32.	Poznań-Ławica	52 25	16 50	86
33.	Prabuty	53 44	19 13	98
34.	Puławy	51 25	21 58	142
35.	Rabka	49 37	19 58	550
36.	Resko	53 46	15 25	51
37.	Rzeszów-Jasionka	50 06	22 03	200
38.	Sinołęka	52 13	21 55	160
39.	Skierniewice	51 58	20 10	128
40.	Skroniów	50 38	20 16	256
41.	Sobieszyn	51 36	22 10	158
42.	Suwałki	54 08	22 57	184
43.	Szczawno-Zdrój	50 48	16 16	415



stosowanej w bioklimatologii) tereny nizinne (< 300 m npm.) 11 – podgórskie (300–750 m npm.), 3 – górskie (> 750 m npm.).

Wyniki pracy i ich przestrzenna prezentacja (w postaci map) mają, oprócz ważnego dla bioklimatologii Polski znaczenia poznawczego, również aspekt praktyczny. Mogą być wykorzystane dla higieny pracy w środowisku naturalnym, na przykład w budownictwie, leśnictwie, drogownictwie, rolnictwie, a ponadto mogą służyć właściwej organizacji lecznictwa, wypoczynku i sportu.

## 2. METODY OCENY WPŁYWU ŚRODOWISKA ATMOSFERYCZNEGO NA CZŁOWIEKA

Równocześnie z rozwojem bioklimatologii jako gałęzi wiedzy, to jest od końca XIX wieku, w centrum uwagi wielu badaczy znalazło się poszukiwanie metod, które umożliwiłyby ocenę wpływu pogody i klimatu na organizm człowieka, na jego stan termiczny, zdrowie i samopoczucie.

Starano się zatem ująć w postać formuł matematycznych związek między wielkościami fizycznymi, charakteryzującymi środowisko atmosferyczne, a subiektywnym odczuciem termicznym i natężeniem reakcji fizjologicznych ludzi poddawanych eksperymentom w komorach klimatycznych lub przebywających w warunkach naturalnych.

Ten kierunek badawczy rozwijał się dzięki interdyscyplinarności bioklimatologii, która korzystała z metod badawczych stosowanych w geofizyce, biologii i medycynie. Metody badawcze w bioklimatologii można podzielić na trzy grupy: modelowanie fizyczne, modelowanie matematyczne oraz badania eksperymentalne.

### 2.1. MODELOWANIE FIZYCZNE

Ten kierunek badawczy posługuje się przyrządami-analogami, kształtem przypominającymi ciało człowieka. Wymienić tu należy katatermometry, frygorymetry, frygorygrafy, termometry kuliste różnych typów, w tym tzw. PMV-metry (mierniki komfortu cieplnego), i manekiny cieplne. Zakładano, że powierzchnia przyrządu podlega takim samym procesom wymiany ciepła przez przewodzenie molekularne, konwekcję i promieniowanie jak powierzchnia ciała człowieka. Nie udało się jednak zbudować przyrządu, który oddawałby w pełni reakcje systemu termoregulacyjnego żywego organizmu na zmieniające się warunki fizyczne środowiska zewnętrznego. Ponadto przyrządy te nie pozwalały na ogół (poza zwilżonym katatermometrem i frygorymetrem oraz thergografem – termoelektrycznym przyrządem analogowym o kształcie kuli wypełnionej wodą i żywicą epoksydową, na którego powierzchni znajduje się warstwa odzieży o grubości 0,5 cm) na uwzględnienie parowania wody z powierzchni ciała człowieka. Ostatnio czynione są laboratoryjne próby, aby tę bardzo istotną wielkość wyznaczyć za pomocą „pocących” się manekinów cieplnych.

## 2.2. MODELOWANIE MATEMATYCZNE

To metoda badawcza polegająca na wyznaczaniu różnych wskaźników biometeorologicznych w postaci formuł matematycznych, w których uwzględnia się takie elementy meteorologiczne, jak: temperatura i wilgotność powietrza, prędkość wiatru, promieniowanie słoneczne, promieniowanie długofalowe, opady, a także inne dane, na przykład skład powietrza, elektryczność i radioaktywność atmosferyczną oraz natężenie dźwięku. Wartości tych wskaźników skorelowane są z subiektywnymi odczuciami termicznymi ludzi poddawanych badaniom w komorach klimatycznych lub w warunkach naturalnych. Powstało w ten sposób kilkadziesiąt wskaźników i skal odczucia termicznego. Stosowanie niektórych z nich jest z wielu względów ograniczone do warunków, w jakich zostały wyznaczone.

Niektóre wskaźniki stanowiły podstawę oceny i regionalizacji bioklimatycznych całych kontynentów, na przykład Afryki (Terjung 1967a), oraz wielu krajów: Argentyny (Sorrentino 1988), Izraela (Rubinstein i in., 1980), Kanady (Steadman 1979), Meksyku (Jaurequi, Soto 1967), Norwegii (Smithson 1984), Polski (Krawczyk 1991), b. NRD (Seifert 1958), Stanów Zjednoczonych (Terjung 1967b), Wietnamu (Dang Kim Nhung 1990), b. Związku Radzieckiego (Milevskij 1960; Hajrulin 1973; Kovrigo, 1978), a także wysp Morza Śródziemnego (Pennas 1984). Rozkład temperatur efektywnych oraz wskaźnika komfortu dla całej kuli ziemskiej opracowali M. Gregorczyk i K. Cena (1967) oraz W. H. Terjung (1968). W grupie modeli matematycznych skonstruowanych do celów bioklimatycznych znajduje się również równanie bilansu cieplnego ciała człowieka.

## 2.3. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Pomimo dużej liczby wskaźników biometeorologicznych nie w pełni odpowiadają one potrzebom współczesnej bioklimatologii. Nie bierze się w nich, na ogół, pod uwagę dynamiki procesów fizjologicznych zachodzących w organizmie człowieka, aktywności fizycznej i rodzaju odzieży w kształtowaniu odczuwalności termicznej człowieka. I tu również czynione były próby uwzględnienia wymienionych czynników, na przykład rodzaju odzieży (Steadman 1971; Smithson, Baldwin 1979) czy wewnątrzustrojowej produkcji ciepła (Gonzales i in. 1974).

Nadal prowadzone są badania z udziałem grup ludzi o różnej płci, wieku, stanie zdrowia, stopniu aklimatyzacji w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych (komory klimatyczne) lub w środowisku naturalnym. Pod wpływem zmiennych warunków mikroklimatycznych określa się podczas tych doświadczeń subiektywne odczucia cieplne, bada się parametry fizjologiczne takie, jak: temperatura wewnętrzna i skóry człowieka, ciśnienie krwi, przewodnictwo elektryczne skóry, które jest wskaźnikiem zmian jej wilgotności, oraz wydzielanie wody.

Szczegółowe omawianie wymienionych metod badawczych (z wyjątkiem modelu bilansu cieplnego ciała człowieka) nie jest przedmiotem niniejszej pracy. Ich dokładny opis i zakres stosowania można znaleźć w opracowaniach: Jokl 1965; Kłonowicz, Kozłowski 1970; Landsberg 1972; Krawczyk 1979b; Lee 1980; Höppe 1982a, 1986b; Kozłowska-Szczęśna (red.) 1985; Rodrigues i in. 1985; Baranowska i in. 1986; Hammer i in. 1986; Ilentschel 1987; Taesler 1987.

Pozbawiona wyżej wymienionych niedostatków metodologicznych jest – oparta na modelowaniu matematycznym – metoda bilansu cieplnego ciała człowieka. Polega ona na bilansowaniu zysków i strat ciepła na powierzchni jego ciała. Jest to kompleksowy sposób oceny stanu cieplnego człowieka, kształtującego się pod wpływem czynników meteorologicznych, fizjologicznych, aktywności fizycznej i rodzaju odzieży.



### 3. BILANS CIEPLNY CIAŁA CZŁOWIEKA I JEGO ZASTOSOWANIE DO CELÓW BIOKLIMATYCZNYCH

Równoległe z poszukiwaniami nowych wskaźników biometeorologicznych konstruowano modele matematyczne opisujące bilans cieplny ciała człowieka, rozumiany jako stan równowagi pomiędzy ilością energii otrzymywanej od Słońca oraz ciepła metabolicznego a traconej w wyniku takich procesów fizycznych i fizjologicznych, jak: parowanie wody, konwekcja, turbulencja, przewodzenie molekularne, promieniowanie długofalowe z powierzchni ciała człowieka, a w mniejszym stopniu – z górnych dróg oddechowych. Tak więc model bilansu cieplnego wyjaśnia mechanizm wymiany ciepła zachodzącej między ciałem człowieka a atmosferą i podłożem. Prekursorami takiego kierunku badawczego byli H. Pfeleiderer i K. Büttner (Büttner 1938).

Doświadczalne wyznaczenie poszczególnych strumieni ciepła, które człowiek otrzymuje i oddaje, wiąże się z wieloma trudnościami wynikającymi z braku odpowiedniej aparatury. Dlatego też do celów praktycznych stosuje się metody pośrednie. Polegają one na eksperymentalnym wyznaczeniu wielkości charakteryzujących środowisko atmosferyczne oraz niektórych parametrów fizjologicznych, na przykład wymiany tlenu i dwutlenku węgla z górnych dróg oddechowych, która jest wskaźnikiem intensywności procesów metabolicznych zachodzących w ustroju człowieka. Mierzy się także temperaturę wewnętrzną i powierzchni ciała człowieka (skóry). Wyznaczając poszczególne składniki bilansu cieplnego wykorzystuje się prawa przenoszenia energii oraz przyjmuje założenie, że powierzchnia ciała człowieka podlega takim samym procesom wymiany ciepła jak każda powierzchnia fizyczna (Terjung 1970; Höpfe, 1982a).

Ostatnie dwudziestolecie przyniosło rozwój metody bilansu cieplnego ciała człowieka, która ze względu na kompleksowy charakter znalazła w bioklimatologii wiele zastosowań. W wielu krajach opracowano modele matematyczno-fizyczne opisujące procesy wymiany ciepła, za pomocą których dokonuje się oceny stanu termicznego człowieka i stopnia obciążenia jego układu termoregulacyjnego pod wpływem różnych warunków środowiska zewnętrznego. Te zastosowania modeli bilansu cieplnego ciała człowieka odnoszą się do różnych skal przestrzennych:

- mikroklimatycznej (pomieszczenia zamknięte),
- topoklimatycznej (miasta, uzdrowiska, tereny rekreacyjne),
- makroklimatycznej (regiony, kraje, kontynenty).

Przegląd zastosowań modeli bilansu cieplnego ciała człowieka według przyjętej klasyfikacji zawiera tabela 2.

Tabela 2. Zastosowania modeli bilansu ciepłego ciała człowieka do celów bioklimatycznych, w różnych skalach przestrzennych

Applications of the human body heat balance models for the bioclimatological purposes in the different spatial scales

Kraj	Autor	Skala przestrzenna			
		Mikro-klimatyczna A	Meso-klimatyczna B C		Makro-klimatyczna D
Australia	Auliciems A. (1981)	x			
Austria	Hammer N. (1985)			x	
Bulgaria	Marinov V.K. (1971)				x
Czechy i Słowacja	Jokl M.V., Moos P. (1990)	x			
Dania	Fanger P. (1974)	x			
Izrael	Givoni B. (1976)		x		
Japonia	Nishi Y. (1980)	x			
Kanada	Tuller S.E. (1975)		x		
Nowa Zelandia	Freitas C.R., de (1985, 1990)			x	
Polska	Błażejczyk K. (1984, 1988, 1990a, b, 1991)			x	
	Krawczyk B. (1979a, b, 1980, 1984a, b, 1991)			x	
	Skrzypski J. (1981a, b, 1989)			x	x
Niemcy	Höppe P. (1986a, b, 1987)		x	x	
	Höschele K. (1970)	x			
	Jendritzky G. (1987, 1990)		x		x
	Menz G. (1990)		x		
	Mayer H. (1977a, b, 1982)	x		x	
	Wenzel H.G. (1985)	x			
Szwajcaria	Weihe W.H. (1987)			x	
Szwecja	Holmer J. (1988)			x	
Stany Zjednoczone	Morgan D.L., Baskett R.L. (1974)		x		
	Burt J.E, O'Rourke P.A., Terjung W.H. (1982a, b)		x		
	Young K.C. (1979)			x	
	Terjung W.H. (1970, 1974)		x		
b. Związek Radziecki	Budyko M.I. (1975)				x
	Ajzenštat B.A. (1971, 1973, 1978, 1982)		x		x
	Gvasalija N. (1986)				x
	Liopo T.N., Cicenکو G.V. (1971)				x
	Oksenič I.G. (1981)		x		
	Povolockaja N.P. (1975)			x	
	Rusanov V.J. (1973)			x	
	Savikovskij I.A. (1986)		x		
	Sakali L.I., Dmitrenko L.V., Kiptenko E.N. (1981)		x		

A – pomieszczenia zamknięte, B – miasta, C – uzdrowiska i tereny rekreacyjne, D – regiony, kraje, kontynenty  
A – indoor, B – towns, C – health resorts, recreational areas, D – regions, countries, continents

Prace i studia metodyczne dotyczące bilansu cieplnego ciała człowieka prowadzone są przede wszystkim w ośrodkach naukowych Stanów Zjednoczonych, Niemiec, b. Związku Radzieckiego, a także: Australii, Austrii, Bułgarii, Czech, Słowacji, Danii, Izraela, Japonii, Kanady, Nowej Zelandii, Polski, Szwajcarii i Szwecji. Prowadzi się je na ogół na wydziałach geofizycznych i geograficznych uniwersytetów, na wydziałach ogrzewnictwa i klimatyzacji politechnik, a także w instytutach meteorologii, instytutach fizjoterapii i badania uzdrowisk, a także w instytutach medycyny pracy.

Z bioklimatycznego punktu widzenia najbardziej interesujące są te modele, które służą do oceny wpływu środowiska atmosferycznego na człowieka zarówno w skali topoklimatycznej, jak i makroklimatycznej. Pokażną ich liczbę zastosowano do oceny bioklimatu miast. Znaczący wkład wnieśli tu badacze amerykańscy. Wśród nich należy wymienić W. H. Terjunga i jego współpracowników, którzy na podstawie szczegółowych badań aglomeracji Los Angeles opracowali mapy promieniowania pochłoniętego przez powierzchnię ciała człowieka (Terjung 1970).

Również J. E. Burt z zespołem (1982a, b) opracował modele matematyczne (STREET, HUMAN, URBAN) służące do określenia wpływu różnorodnych form powierzchni czynnej miasta na wymianę ciepłą ciała człowieka. W modelach tych uwzględniono cztery typy zabudowy miejskiej. D. L. Morgan i R. L. Baskett (1974) prowadzili badania topoklimatyczne na terenie miasta Sacramento i korzystając z modelu bilansu cieplnego ciała człowieka (MAN-MO) oceniali jego odczuwalność ciepłą w ośmiu typach krajobrazu miejskiego, takich jak na przykład: dzielnice willowe, biurowe, przemysłowe, parki, uwzględniając różne rodzaje aktywności fizycznej człowieka.

S. E. Tuller (1975) wyznaczył strukturę bilansu cieplnego ciała człowieka przebywającego w śródmieściu i w luźno zabudowanej dzielnicy mieszkaniowej miasta Victoria w Kanadzie.

W Niemczech powstały w ostatnich latach prace oparte na metodzie bilansowania zysków i strat ciepła na powierzchni ciała człowieka, które wniosły do bioklimatologii wiele istotnych informacji. W odniesieniu do środowiska miejskiego odnotować należy badania P. Hoppe (1986a, b, 1987) i H. Mayera (1987), a także G. Jendritzky'ego i G. Menza (1987, 1990) oraz U. Sieversa (1986), którzy opracowali modele matematyczne i programy symulacyjne bilansu cieplnego ciała człowieka, na przykład: MEMI – Münchener Energiebilanzmodell für Individuen, MUKLIMO – Microsaliges Urbanes Klima Modell, KMM – Klima-Michel Modell. Modele te określają wymianę ciepła ciała człowieka w przygruntowej warstwie powietrza, a nawet pozwalają na uwzględnienie wpływu na odczuwalność ciepłą człowieka takich czynników antropogenicznych, jak rodzaj zabudowy miasta czy też orientacja ulic.

Również w b. Związku Radzieckim metoda bilansu cieplnego ciała człowieka znalazła zastosowanie do oceny bioklimatu niektórych miast, na przykład: Kijowa (Sakali 1980), Taszkientu (Azjenštat, Łukina 1982), Mińska (Savikovskij 1986), Użgorodu (Sakali i in. 1981), Tallina (Palm 1974), Aszchabadu

(Oksenič 1981). Z wyjątkiem B. A. Ajzenštata i Ł. P. Łukinej, którzy na terenie Taszkientu prowadzili szczegółowe badania topoklimatyczne, pozostali autorzy czerpali dane liczbowe niezbędne do rozwiązania równania bilansu cieplnego ciała człowieka z miejscowych stacji meteorologicznych.

Kształtowanie się procesu wymiany ciepła między ciałem człowieka a atmosferą i jej podłożem w uzdrowiskach oraz na terenach rekreacyjnych ma szczególne znaczenie, ponieważ miejscowe warunki klimatyczne traktowane są jako jeden z czynników leczniczych. Stąd też metoda analizy zysków i strat ciepła z powierzchni ciała człowieka stosowana jest również na potrzeby klimatoterapii. Wśród tego typu prac należy wymienić badania N. P. Povolockiej (1975) w uzdrowiskach północnego Kaukazu, C. R. Freitas (1985, 1990), który za pomocą modelu wymiany ciepła IIBIDEX (Heat Budget Index) oceniał odczuwalność cieplną człowieka odpoczywającego na plażach wschodniej Australii. Natomiast dla człowieka w ruchu C. R. Freitas i M. G. Ryken (1989) opracowali model BIODIX (Index of heat strain based on duration of exercise). Wspomnieć należy również o pracach H. Mayera (1977a, b), który badał warunki bioklimatyczne terenów leśnych, posługując się modelem bilansu cieplnego MEMI.

Modele bilansu cieplnego ciała człowieka służyły również do oceny bioklimatu w skali makroklimatycznej. Powstały w ten sposób mapy regionów bioklimatycznych Bułgarii (Marinov 1971), Niemiec (Jendritzky 1990), b. Związku Radzieckiego (Liopo, Cicenکو 1971; Ajzenštata 1973; Rusanov i in. 1977; Gvasalija 1986).

W tej grupie prac należy wymienić dwa atlasy bioklimatyczne. *Atlas regionów uzdrowiskowych Bułgarii* wykonany przez V. K. Marinova – autora oryginalnego modelu bilansu cieplnego ciała człowieka, w którym zakłada się, że wielkość strat ciepła w wyniku parowania wody z powierzchni ciała człowieka decyduje o jego odczuwalności cieplnej. Słuszność tego poglądu została potwierdzona badaniami B. A. Ajzenštata (1971, 1973). W *Atlasie bioklimatycznym Azji Środkowej* jego autorstwa, wśród map rozkładu wskaźników bioklimatycznych, znajdują się również mapy strat ciepła na parowanie wody z powierzchni ciała człowieka, które zdaniem autora stanowią wskaźnik obciążenia cieplnego.

Na uwagę zasługuje także oryginalna metoda sporządzania map bioklimatycznych Niemiec opracowana przez G. Jendritzky'ego (1990) i G. Menza (1990). Autorzy ci wprowadzili do modelu bilansu cieplnego ciała człowieka (Klima-Michel-Modell) dane uzyskane za pomocą zdjęć satelitarnych, dotyczące zanieczyszczenia przyziemnej warstwy atmosfery, typów krajobrazu i zróżnicowania hipsometrycznego. Wykonane w ten sposób mapy mogą mieć wiele zastosowań praktycznych, między innymi w planowaniu przestrzennym.

W polskiej bioklimatologii metoda bilansu cieplnego stosowana jest od niedawna. Na podstawie szczegółowych badań topoklimatycznych, przeprowadzonych przez autorkę w uzdrowisku górskim (Iwonicz) i nadmorskim (Dźwirzyno), dokonano typologii struktury bilansu cieplnego ciała człowieka,

biorąc za podstawę model M. I. Budyko. Typologia ta służyła do oceny klimatyczno-fizjologicznej obszaru badanych uzdrowisk (Krawczyk 1979a, b, 1980, 1983, 1984a, b).

Korzystając z tego samego modelu K. Błażejczyk opracował koncepcję wydzielania „biotopoklimatów”, czyli niewielkich jednostek przestrzennych o jednakowej strukturze bilansu cieplnego ciała człowieka. Skonstruował on również mapy biotopoklimatyczne siedmiu typów krajobrazu Polski: nadmorskiego, leśno-pojeziernego, rolniczego-dolinnego, rolniczego-wysoczyznowego, podmiejskiego, miejsko-przemysłowego i górskiego (Błażejczyk 1984, 1988, 1990a, b, 1991).

Ponadto oboje autorzy prowadzili badania struktury bilansu cieplnego ciała człowieka poza terenem Polski: w strefie subtropikalnego klimatu pustyni Azji Środkowej (Krawczyk, Błażejczyk 1991; Kravčik i in. 1991), w strefie umiarkowanie chłodnego, kontynentalnego klimatu Mongolii Centralnej i monsunowego klimatu środkowego Wietnamu (Błażejczyk, Krawczyk 1991).

Wśród prac polskich na uwagę zasługuje podjęta przez J. Skrzypskiego (1981a, b, 1989) próba zastosowania równań komfortu cieplnego P. O. Fangera do oceny bioklimatu i termicznych warunków klimatoterapii. Model bilansu cieplnego Fangera (1974) skonstruowany został w celu oceny odczuwalności cieplnej człowieka znajdującego się w pomieszczeniach zamkniętych i jest dosyć często stosowany przez badaczy niemieckich (Höppe 1982a; Mayer 1982). W modelu tym miarą cieplnego wpływu otoczenia jest temperatura promieniowania. Modyfikacja modelu Fangera dokonana przez Skrzypskiego polegała na uwzględnieniu w nim strumienia promieniowania całkowitego, a tym samym na przystosowaniu go do warunków zewnętrznych.

## 4. ROLA CZYNNIKÓW FIZJOLOGICZNYCH W PROCESIE WYMIANY CIEPŁA MIĘDZY CIAŁEM CZŁOWIEKA A ŚRODOWISKIEM ATMOSFERYCZNYM

### 4.1. TERMOREGULACJA

Organizm człowieka podlega nieustannemu wpływowi różnych czynników zewnętrznych (w tym meteorologicznych), które kształtują jego odczuwalność termiczną, samopoczucie i stan zdrowia. Oddziaływanie to odbywa się przez skórę, błony śluzowe górnych dróg oddechowych i system nerwowy.

Z punktu widzenia fizjologii (Klonowicz, Kozłowski 1970; Kozłowski 1986) w ustroju człowieka można wyróżnić stałocieplne wnętrze o temperaturze około 37°C oraz tkanki peryferyczne, do których zalicza się skórę i tkanki podskórne. Stanowią one powierzchnię czynną w procesie wymiany ciepła, a temperatura ich zmienia się w zależności od warunków środowiska zewnętrznego i rodzaju noszonej odzieży.

Człowiek ma znaczne możliwości dostosowywania się do zmiennych warunków meteorologicznych w taki sposób, aby bilans cieplny pozostawał w równowadze, a tym samym została zachowana stała temperatura jego wnętrza, co stanowi niezbędny warunek prawidłowego funkcjonowania wszystkich procesów życiowych zachodzących w ustroju człowieka. Ta stałość termiczna wnętrza człowieka jest możliwa dzięki mechanizmowi termoregulacji, który podlega wegetatywnemu systemowi nerwowemu. Ośrodek termoregulacji usytuowany w mózgu (w podwzgórzu), otrzymuje za pośrednictwem zakończeń nerwowych rozmieszczonych w skórze (zwanym receptorami ciepła i chłodu) informacje o stanie termicznym powierzchni ciała człowieka. Sygnały te wywołują odruchowe reakcje termoregulacyjne.

Odpowiedzią układu termoregulacyjnego na wpływ wysokich temperatur jest rozszerzenie peryferyjnych naczyń krwionośnych i wzmożony przepływ krwi, przyspieszenie oddechu oraz aktywne wydzielanie potu. Proces intensywnego pocenia zachodzi wtedy, gdy temperatura otoczenia przekracza 28°C, ale ochładzającą rolę spełnia proces pocenia tylko wtedy, gdy warunki fizyczne środowiska atmosferycznego umożliwią parowanie potu. Niezależnie od temperatury powietrza wydzielanie wody z powierzchni ciała człowieka odbywa się również dzięki dyfuzji pary wodnej bezpośrednio ze skóry i proces ten nie podlega układowi termoregulacji (Rewerski i in. 1972).

W przypadku oddziaływania na człowieka niskiej temperatury wyzwalane są inne niż wyżej opisane reakcje termoregulacyjne. Przede wszystkim następuje zwężenie naczyń krwionośnych skóry w celu ograniczenia przepływu krwi do powierzchni ciała człowieka, a tym samym zmniejszenia utraty ciepła. Temu procesowi towarzyszy często kurczenie i drżenie mięśni (tzw. gęsia skóra). Istotną reakcją układu termoregulacji na niską temperaturę jest zwiększenie ilości ciepła wytwarzanego przez ustrój człowieka w procesach metabolicznych.

Tak więc, precyzyjnie działający układ termoregulacji oraz przystosowawcze procesy fizjologiczne są dość skuteczne i w znacznym stopniu pozwalają człowiekowi na uniezależnienie się od warunków zewnętrznych (Weihe 1987). Jednakże znaczne i długotrwałe oddziaływanie na człowieka ekstremalnych warunków środowiska atmosferycznego może prowadzić do pogorszenia samopoczucia, obniżenia sprawności fizycznej i umysłowej w wyniku zmian czynnościowych układu nerwowego, krwionośnego, oddechowego, trawienego, zmian składu chemicznego płynów ustrojowych, czy też odwodnienia (Kozłowski 1986).

#### 4.2. CIEPŁO WYTWARZANE W PROCESACH METABOLICZNYCH

Wewnątrzustrojowe wytwarzanie ciepła jest charakterystyczną cechą wszystkich żywych organizmów (w tym i człowieka). Proces ten zwany również termogenezą, zachodzi w wyniku przemian biochemicznych związanych z przemianą materii, to znaczy przyswajaniem przez ustrój człowieka takich substancji odżywczych, jak: węglowodany, tłuszcze i białka. W wyniku tych procesów metabolicznych powstaje energia cieplna. Jej ilość zależy od warunków termicznych środowiska atmosferycznego, stopnia aklimatyzacji, a także aktywności fizycznej człowieka.

Badania fizjologów (Webb 1971; Bligh, Johnson 1973; Fanger 1974; Kandror i in. 1974; Kozłowski 1986) pozwoliły na określenie ilości ciepła wytwarzanego w ustroju człowieka w czasie wykonywania zajęć o różnej intensywności. Polegały one na pomiarach ilości zużywanego przez człowieka tlenu i wydzielanego dwutlenku węgla. Trzeba tu dodać, że metabolizm podstawowy, czyli ilość ciepła wytwarzanego w ustroju człowieka pozostającego w spoczynku (leżącego) w komfortowych warunkach termicznych, dla większości ludzi wynosi na ogół  $46 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , a jego sezonowe zmiany są niewielkie. Stwierdzono, że u mieszkańców umiarkowanych szerokości geograficznych jest tylko o 10–20% większy zimą niż latem (Yoshimura, Marimoto 1974).

Określenie związku między wielkością wewnątrzustrojowego wytwarzania ciepła a aktywnością fizyczną ułatwiło wprowadzenie tego składnika (M) do równania bilansu cieplnego ciała człowieka (Ajzenštat i in. 1974). W tabeli 3 zamieszczono dane dotyczące ilości ciepła wytwarzanego metabolicznie przy różnej aktywności fizycznej, eksponując szczególnie te wartości, które dotyczą

Tabela 3. Ciepło metaboliczne wytwarzane przy różnych rodzajach aktywności fizycznej (wg Fangera 1974)

Metabolic heat production at the different activity (by Fanger 1974)

Rodzaj czynności	Ilość wytwarzanego ciepła (W · m <sup>-2</sup> )
Siedzenie bez ruchu	58
Stanie w pozycji rozluźnionej	70
Chodzenie po równinie z prędkością:	
3,2 km · h <sup>-1</sup>	116
4,0 km · h <sup>-1</sup>	140
8,0 km · h <sup>-1</sup>	338
Chodzenie po stoku o nachyleniu:	
5% z prędkością 3,2 km · h <sup>-1</sup>	174
15% z prędkością 3,2 km · h <sup>-1</sup>	268
Zajęcia sportowe i rekreacyjne (gimnastyka, gry sportowe)	140–506
Ciężka praca fizyczna (kopanie rowów)	350

działalności człowieka w warunkach środowiska naturalnego. Jak wynika z przytoczonych danych, wytwarzanie ciepła w ustroju wzrasta się w miarę intensyfikacji wysiłku fizycznego, na przykład w czasie spaceru w terenie płaskim z umiarkowaną prędkością (4 km · h<sup>-1</sup>) ilość ciepła metabolicznego wzrasta o 100% (w odniesieniu do człowieka stojącego), a pokonanie z tą samą prędkością zbrocza o nachyleniu 15% powoduje aż czterokrotny wzrost tej ilości.

#### 4.3. TEMPERATURA SKÓRY CZŁOWIEKA

Jak już wspomniano, w procesie wymiany ciepła skóra człowieka odgrywa ważną (z fizycznego i fizjologicznego punktu widzenia) rolę powierzchni czynnej. Stąd też jej temperatura, ściśle związana z ukrwieniem, traktowana jest przez wielu badaczy jako miernik utraty ciepła oraz wskaźnik odczucia termicznego (Höschele 1970; Klonowicz, Kozłowski 1970; Liopo, Cicenko 1971).

Na ścisły związek między temperaturą skóry człowieka a czynnikami środowiska atmosferycznego zwrócono uwagę już pod koniec XIX w., kiedy to L. Wincent ustalił empiryczny związek między temperaturą kciuka a temperaturą powietrza, prędkością wiatru i natężeniem promieniowania całkowitego (Buttner 1938). Nowsze badania klimatyczno-fizjologiczne (Kandror i in. 1974; Weihe 1987) ujawniły silny związek korelacyjny ( $0,7 < r < 0,9$ ) pomiędzy temperaturą skóry człowieka a odczuciami cieplnymi ludzi. Należy jednak mieć na uwadze, że w tych samych warunkach meteorologicznych temperatura skóry różnych części ciała człowieka różni się znacznie. Najwyższą temperaturę notuje się na skórze głowy i tułowia, najniższą – na



kończynach górnych i dolnych. Jak podaje W. Weihe (1987), w temperaturze powietrza poniżej 20°C różnica między temperaturą skóry najchłodniejszych i najcieplejszych części ciała człowieka może osiągać nawet 15°C. Dlatego też najlepszy pogląd na stan termiczny i fizjologiczne reakcje człowieka daje średnia ważona temperatury skóry ( $T_s$ ), w której uwzględnia się procentowy udział badanej powierzchni do całej powierzchni ciała człowieka.

W celu wyznaczenia temperatury skóry człowieka stosuje się metody bezpośrednie lub pośrednie. Bezpośrednie pomiary  $T_s$  prowadzi się za pomocą termometrów oporowych lub termopar w 5–15 punktach ciała człowieka. Zestawienie wzorów służących do obliczenia średniej ważonej temperatury skóry człowieka zamieszcza S. Klonowicz i S. Kozłowski (1970). Sposób pośredni polega na wyznaczeniu  $T_s$  z równania bilansu cieplnego ciała człowieka metodą kolejnych przybliżeń.

Badania klimatyczno-fizjologiczne, których celem było ustalenie związku pomiędzy średnią ważoną temperaturą skóry człowieka a subiektywną odczuwalnością cieplną i skonstruowanie skali odczucia termicznego, dowiodły, że  $T_s$  może wahać się od 26 do 38°C bez wpływu na temperaturę wewnętrzną, dzięki ochraniającym reakcjom termoregulacyjnym i aklimatyzacji.

Tabela 4. Odczuwalność cieplna przy różnej temperaturze skóry człowieka (wg Liopo, Cicenکو 1971)

Thermal sensitivity at the different skin temperature (by Liopo, Cicenکو 1971)

Odczuwalność cieplna	Średnia ważona temperatura skóry ( $T_s$ w °C)
Bardzo zimno	< 28,0
Zimno	28,0–28,9
Chłodno	29,0–31,9
Komfortowo	32,0–33,2
Ciepło	33,3–34,3
Gorąco	34,4–35,5
Bardzo gorąco	≥ 35,6

W tabeli 4 przytoczono skalę odczucia termicznego skonstruowaną w b. Związku Radzieckim i stosowaną często do celów bioklimatycznych. Według tej skali odczucie komfortu termicznego mieści się w przedziale 32,0°C <  $T_s$  < 33,2°C. Pod pojęciem komfortu cieplnego rozumiany jest stan subiektywnego zadowolenia z warunków środowiska zewnętrznego, który nie wymaga uruchamiania mechanizmów termoregulacyjnych, pozostających wówczas w stanie minimalnej aktywności (Kandror i in. 1974).

Trzeba tu dodać, że rozrzut wartości  $T_s$  w poszczególnych klasach odczucia termicznego wynika nie tylko z indywidualnych cech ludzi poddawanych

badaniom, lecz również z sezonowych zmian odczuwalności spowodowanych aklimatyzacją.

Dowiedziona badaniami fizjologicznymi związek między temperaturą skóry człowieka i jego odczuwalnością termiczną umożliwił traktowanie  $T_s$  jako kompleksowego (fizycznego i fizjologicznego) wskaźnika biometeorologicznego i stosowania go do oceny warunków odczuwalnych w różnych skalach przestrzennych i czasowych (Leśko 1969; Liopo, Cicenko 1971; Krawczyk 1979b, 1984a; Błażejczyk 1991).

## 5. ROLA ODZIEŻY W PROCESIE WYMIANY CIEPŁA MIĘDZY CIAŁEM CZŁOWIEKA A ŚRODOWISKIEM ATMOSFERYCZNYM

W zmieniających się warunkach środowiska zewnętrznego utrzymywanie równowagi między ilością ciepła uzyskiwanego i traconego przez ustrój człowieka możliwe jest nie tylko dzięki przystosowawczym reakcjom termoregulacyjnym, ale również dzięki odpowiednio dobranej odzieży. Taka odzież chroni ciało, zarówno przed utratą zbyt dużych ilości ciepła, jak i przed nadmiernym jego dopływem do powierzchni skóry, sprzyjając tym samym utrzymaniu komfortowych warunków termicznych (Afanaseva 1972).

Od najdawniejszych czasów odzież była najprostszym środkiem przeciwdziałania ujemnym wpływom pogody i klimatu, a więc umożliwiała opanowanie przez człowieka tych terenów kuli ziemskiej, na których panują nawet wyjątkowo uciążliwe warunki klimatyczne.

Rola odzieży w procesie wymiany ciepła polega na izolacji cieplnej ciała człowieka, a także na transporcie pary wodnej (Büttner 1951). Przenikanie ciepła ze skóry do zewnętrznej powierzchni odzieży i w kierunku odwrotnym zachodzi w wyniku takich procesów, jak: przewodzenie ciepła przez włókna odzieży oraz przewodzenie, konwekcję i promieniowanie długofalowe w powietrzu zawartym w warstwach odzieży i pomiędzy nimi (Śliwińska 1988). Trzeba jeszcze dodać, że opór dla dyfuzji pary wodnej przenikającej przez odzież jest tak mały, że nie stanowi ona przeszkody w odprowadzaniu wody z powierzchni ciała człowieka (Fanger 1974). Przyjmuje się, że właściwości termoizolacyjne (ciepłochronne) odzieży zależą nie tylko od rodzaju materiału, z którego jest ona wykonana, lecz także od ilości znajdującego się w niej nieruchomego powietrza.

### 5.1. ILOŚCIOWA OCENA WIELKOŚCI OPORU CIEPLNEGO ODZIEŻY

Jeszcze przed powstaniem metod matematycznych, pozwalających na wyrażenie termoizolacyjnych właściwości odzieży w jednostkach fizycznych, jej ciepłochronność określana była słownie, na przykład w Chinach, liczbą „ubiorów” (Auliciems, Freitas 1976). Następnie powstało pojęcie warstwy standardowej, której grubość oceniano na 1/4 cala, czyli około 6,5 mm (Lee, Lemons 1949).

Na podstawie licznych badań laboratoryjnych, wykonanych między innymi na zlecenie Kwatermistrzostwa Armii Stanów Zjednoczonych (Gagge i in. 1941), zdefiniowano jednostkę termoizolacyjności odzieży, którą nazwano clo (clothing). 1 clo równa się oporowi cieplnemu  $0,155 \text{ K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$ , co oznacza, że jeżeli przez warstwę odzieży o powierzchni  $1 \text{ m}^2$  przepływa strumień ciepła o natężeniu  $1 \text{ W}$ , to różnica temperatury pomiędzy zewnętrzną i wewnętrzną warstwą odzieży wynosi  $0,155 \text{ K}$ . Odzież o izolacyjnych właściwościach 1 clo zapewnia poczucie komfortu termicznego osobie siedzącej ( $M = 58 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ), w temperaturze otoczenia  $21^\circ\text{C}$ , wilgotności względnej 50% i ruchu powietrza  $< 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Takim warunkom odpowiada komplet odzieży składający się z garnituru męskiego, bielizny i obuwia.

W literaturze spotyka się również inne jednostki umowne izolacji cieplnej odzieży, na przykład:

$$1 \text{ tog} = 0,100 \text{ K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1} = 0,645 \text{ clo}.$$

Najszerze jednak zastosowanie znalazła clo w badaniach termoizolacyjnych właściwości różnych zestawów odzieży na potrzeby wojska, kosmonautyki, higieny pracy. W tym ostatnim przypadku chodzi o taki dobór odzieży, aby zapewniała ona warunki komfortu termicznego ludziom, których zawód wymaga długotrwałego przebywania w środowisku zewnętrznym (np. pracownicy budowlani, służby leśne i komunalne, wojsko). Znaczenie praktyczne tego zagadnienia sprawiło, że w wielu krajach prowadzi się w wyspecjalizowanych laboratoriach badania, mające na celu wyznaczenie (w jednostkach clo) podstawowej izolacyjności cieplnej (Icl) dużej ilości typowych zestawów ubrań męskich i damskich, a także ich części (Seppanen i in. 1972; Fanger 1974; Munson, Hayter 1978; Nishi i in. 1978; Goldman 1980; Jokl 1982; Alfano, d'Ambrosio 1988). Są to badania bądź to z udziałem ludzi w komorach klimatycznych, bądź też z zastosowaniem manekinów cieplnych, to znaczy modelu człowieka symulującego niektóre procesy termoregulacyjne (tzw. copper man).

W Polsce doświadczalne badania zestawów odzieży prowadzone są w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy, Instytucie Włókiennictwa i w Instytucie Wzornictwa Przemysłowego (Boguszewska i in. 1960; Robakowski, Kolacińska 1967; Socha-Dudek 1986; Sołtyński 1988).

Ponieważ eksperymenty laboratoryjne wiążą się z wieloma trudnościami, pojawiły się próby pośredniego określenia izolacyjności cieplnej odzieży na podstawie niektórych jej cech fizycznych, na przykład ciężaru. Wyznaczona zależność  $0,35 \text{ clo/kg}$  może służyć jedynie do uzyskania orientacyjnych wyników (Śliwińska 1988).

Równocześnie z badaniami laboratoryjnymi trwały poszukiwania takich modeli matematycznych, które najlepiej przybliżają związek między oporem cieplnym odzieży a zbilansowaną wymianą ciepła (Mount, Brown 1985; Holmér 1988, 1989a, b; Hammer i in. 1989). W tej grupie znajdują się opracowane w b. Związku Radzieckim modele wymiany ciepła między ciałem

człowieka a otoczeniem (Liopo, Cicenکو 1971; Ajzenštat 1974; Budyko 1975), w których termoizolacyjne właściwości odzieży są funkcją parametrów meteorologicznych takich, jak: promieniowanie słoneczne, temperatura i wilgotność powietrza oraz prędkość wiatru (Liopo 1968).

## 5.2. TERMOIZOLACYJNE WŁAŚCIWOŚCI ODZIEŻY JAKO WSKAŹNIK BIOKLIMATYCZNY

Wyniki badań związku pomiędzy czynnikami środowiska atmosferycznego a wielkością oporu cieplnego odzieży, która powinna chronić ciało człowieka przed nadmierną utratą ciepła i gwarantować tym samym zrównoważoną jego wymianę, pozwalają na traktowanie termoizolacyjności odzieży jako wskaźnika bioklimatycznego.

Pierwszą tego rodzaju próbę wykonali D. H. K. Lee i H. Lemons (1949), którzy na podstawie kryteriów termicznych opracowali schematyczną mapę regionów klimatycznych świata, wyróżniając siedem stref o różnych wymaganiach pod względem właściwości cieplnych odzieży. Z większą dokładnością potraktowali obszar Japonii, co wiązało się z prowadzeniem tam działań wojennych i zapotrzebowaniem armii Stanów Zjednoczonych na tego rodzaju informacje.

Kompleksową ocenę klimatu b. Związku Radzieckiego z punktu widzenia higieny odzieży opracowała V. Vadkovskaja z zespołem klimatologów i fizjologów (1960). Na podstawie danych klimatologicznych, a także informacji o warunkach przyrodniczych oraz badań i testów fizjologicznych wydzieliли oni na terenie kraju sześć stref o jednorodnym typie noszonej odzieży i obuwia.

Znaczną grupę prac stanowią te, w których do wyznaczenia oporu cieplnego odzieży posługiwano się modelami wymiany ciepła między ciałem człowieka a otoczeniem. W tej grupie należy wymienić ocenę klimatu Kanady dokonaną z punktu widzenia wymagań cieplnych stawianych odzieży (Aulicims, Freitas 1976). Autorzy ci opracowali mapy dla czterech pór roku dla godzin dziennych i nocnych. Do wyznaczenia oporu cieplnego odzieży gwarantującej człowiekowi komfort termiczny posłużono się metodyką opracowaną przez A. C. Burtona i O. G. Edholma, w której wpływ promieniowania słonecznego na człowieka potraktowany jest w sposób bardzo uproszczony.

Na podstawie standardowych danych meteorologicznych z Plymouth i Aberdeen (Wielka Brytania) oraz własnego modelu wymiany ciepła L. E. Mount i D. Brown (1985) wyznaczyli wielkość oporu cieplnego niezbędnej odzieży i rozpatrywali wpływ prędkości wiatru na przebieg dzienny tego wskaźnika.

Wielu autorów (Cicenکو 1965; Liopo, Cicenکو 1971; Kavalauskas 1977; Prilipko 1982; Gvasalija 1986; Rusanov 1987), korzystając z równania bilansu cieplnego ciała człowieka oraz metodyki obliczeń opracowanej w GGO, stosowało wartość oporu cieplnego odzieży zapewniającej komfort termiczny

człowiekowi (w jednostkach clo) jako podstawę oceny i regionalizacji klimatu b. Związku Radzieckiego, zakładając, że może on służyć jako obiektywny, ilościowy wskaźnik bioklimatyczny.

Podobne próby czynione były w odniesieniu do terenu Polski. Na znaczenie termoizolacyjnych właściwości odzieży jako wskaźnika biometeorologicznego zwrócił uwagę M. Gregorczyk (1967a, b), wyznaczając ich średnie roczne wartości dla niektórych miejscowości w Polsce (Olecko, Opole, Śnieżka). Szerzej przedstawił to zagadnienie J. Skrzypski (1989), opracowując mapy wskaźnika ciepłochronności odzieży (w jednostce clo) dla całego kraju. Autor ten określił także progowe wartości wskaźnika oporu cieplnego odzieży gwarantującej komfort termiczny człowiekowi w „bioklimatycznych sezonach roku”. Przyjął on, że wartość  $< 1,3$  clo charakteryzuje termicznie odczuwalny sezon ciepły,  $> 2,5$  – sezon chłodny,  $> 3,2$  – sezon zimny. Klasyfikacja Skrzypskiego oparta jest na wyznaczonym przez niego związku między warunkami termicznymi, określonymi temperaturą powietrza, a obliczonymi na podstawie równania P. O. Fangera wartościami oporu cieplnego odzieży w jednostkach clo. Doceniając wkład pracy autora (opracowane przez niego mapy są pierwszą tego rodzaju próbą wykonaną dla całej Polski) trzeba mieć na uwadze, że uzyskane dane odnoszą się do warunków meteorologicznych charakteryzujących się brakiem dopływu promieniowania słonecznego, a więc mają ograniczone znaczenie praktyczne.

Laboratoryjne badania podstawowej izolacyjności cieplnej zarówno pojedynczych części, jak i całych zestawów odzieży dostarczyły informacji, które stanowią podstawę norm higienicznych, a także są wykorzystywane w opracowaniach bioklimatycznych. Najpełniejszy ich zestaw podaje katalog ISO — Międzynarodowej Organizacji Standaryzacji (1991), zawierający zestaw danych dotyczących oporu cieplnego (w jednostkach clo) odzieży sportowej, odzieży noszonej w czasie pracy, odzieży chroniącej przed zimnem i innej. Dane dotyczące termoizolacyjnych właściwości odzieży zamieszczone są również w pracach: Liopo, Cicenko 1971; Seppanen i in. 1972; Fanger 1974; Kandror i in. 1974; Munson, Hayter 1978; Holmér 1988. Zawiera je również opracowanie Polskiego Komitetu Normalizacji Miar i Jakości (Polska Norma PN-85).

W celu praktycznego wykorzystania wyników, uzyskanych w dalszej części tej pracy, podano w tabeli 5 niektóre dostępne w piśmiennictwie dane dotyczące termoizolacyjnych właściwości zestawów odzieży (w jednostkach clo,  $K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$ ) najczęściej noszonej w umiarkowanych szerokościach geograficznych. Termoizolacyjne właściwości odzieży są charakteryzowane podstawową izolacyjnością cieplną, oznaczającą opór przewodzenia ciepła przez warstwę ograniczoną skórą człowieka i zewnętrzną powierzchnią odzieży (Icl). Dalej wartość ta, wyrażona w jednostce clo, będzie nazywana oporem cieplnym odzieży lub jej termoizolacyjnością. Do celów bioklimatycznych można przyjąć, że opór cieplny  $< 0,5$  clo charakteryzuje bardzo lekką odzież letnią,  $0,5-1,0$  clo odzież lekką letnią,  $1,0-1,5$  zwykłą odzież letnią z dodatkami podwyż-

Tabela 5. Podstawowa izolacyjność cieplna zestawów odzieży (Icl) przeznaczonych do przebywania na wolnym powietrzu  
Basal insulation of clothing (Icl) necessary to stay in an open air

Typ	Rodzaj odzieży	Icl	
		clo	$K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$
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 do 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 1.3a, b, 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

Dane pochodzą z następujących źródeł: Fanger 1974; Holmér 1988; Kandror i in. 1974, PN-85/N-080130.

W tabeli pominięto rodzaj obuwia i bielizny, wychodząc z założenia, że są odpowiednic do zestawu odzieży.

By Fanger 1974; Holmér 1988; Kandror 1974, PN-85/N-080130.

The kind of footwear and underwear are neglected, because of they are suitable for garments.

szającymi jej ciepłochronność 1,5–2,5 clo odzież sezonów przejściowych, 2,5–3,0 clo odzież sezonów przejściowych z podwyższoną termoizolacyjnością. Odzież zimowa cechuje się ciepłochronnością 3,0–4,0 clo; > 4,0 clo oznacza odzież zimową ciężką noszoną w warunkach bardzo surowych zim, zwaną

również odzieżą arktyczną. W praktyce odzież o ciepłochronności  $> 4,0$  clo jest rzadko stosowana ze względu na jej duży ciężar i grubość, co znacznie ogranicza swobodę ruchu człowieka.

Jako uzupełnienie danych zawartych w tabeli 5 warto przytoczyć wartości oporu cieplnego niektórych części garderoby, na przykład: bielizna męska 0,05–0,37 clo, bielizna damska 0,01–0,55 clo, swetry, bluzery, kurtki 0,17–0,43 clo, kombinezon 0,55 clo, obuwiu damskie 0,03–0,30, obuwiu męskie 0,04–0,30 clo, śpiwory 3,0–8,0 clo. Posługując się wyżej przytoczonymi wartościami trzeba pamiętać, że termoizolacyjne właściwości odzieży zależą nie tylko od rodzaju tkaniny, z której została ona wykonana, lecz również od fasonu i stopnia dopasowania do sylwetki człowieka.



## 6. MODEL BILANSU CIEPLNEGO CIAŁA CZŁOWIEKA M. I. BUDYKO

W warunkach stacjonarnych, wtedy gdy na powierzchni ciała człowieka występuje zrównoważona wymiana ciepła, a temperatura wewnętrzna nie zmienia się w czasie, stan równowagi termicznej między ciałem człowieka a atmosferą i podłożem opisuje następujące równanie:

$$R + M = P + LE + B, \quad (1)$$

gdzie  $R$  oznacza saldo promieniowania powierzchni ciała człowieka,  $M$  – ciepło wytwarzane przez organizm człowieka w procesach metabolicznych,  $P$  – utratę ciepła jawnego,  $LE$  – utratę ciepła utajonego związaną z parowaniem wody,  $B$  – straty ciepła jawnego i utajonego w procesie oddychania.

W równaniu tym nie uwzględniono zjawiska przewodzenia molekularnego (przez obuwie), ponieważ dla człowieka stojącego ta forma wymiany ciepła odgrywa minimalną rolę.

W pełnym zakresie widmowym saldo promieniowania ( $R$ ) stanowi różnicę strumieni krótkofalowego promieniowania pochłoniętego przez powierzchnię ciała człowieka ( $R_k$ ) i promieniowania długofalowego, to znaczy efektywnego ( $R_l$ ). Tak więc:

$$R = R_k - R_l. \quad (2)$$

Ten człon równania bilansu cieplnego ( $R$ ) został przez autorkę przekształcony w następujący sposób: ponieważ  $R_k$  przybiera zawsze wartości  $> 0$ , podczas gdy  $R_l$  jest z reguły ujemne, przyjęto zasadę, aby po lewej stronie równania znajdowały się strumienie ciepła o wartościach dodatnich (tzn. skierowane do powierzchni ciała człowieka), natomiast po prawej – ujemne (tzn. skierowane od tej powierzchni do atmosfery i podłoża). Tak więc, równanie bilansu cieplnego ciała człowieka przyjęte za podstawę w niniejszym opracowaniu przybiera następującą postać:

$$R_k + M = P + LE + R_l + B. \quad (3)$$

### 6.1. WYZNACZANIE STRUMIENIA PROMIENIOWANIA KRÓTKOFALOWEGO, POCHŁONIĘTEGO PRZEZ POWIERZCHNIĘ CIAŁA CZŁOWIEKA

W opracowaniach dotyczących rozkładu przestrzennego poszczególnych składników bilansu cieplnego ciała człowieka wyznaczenie  $R_k$  następuje najwięcej trudności. Wynikają one nie tylko z kształtu ciała ludzkiego, lecz

także z braku porównywalnych dla większych obszarów danych dotyczących natężenia promieniowania słonecznego. Stąd też przydatność wielu modeli bilansu cieplnego ciała człowieka ogranicza się do pomieszczeń zamkniętych lub warunków zewnętrznych przy założeniu braku dopływu promieniowania słonecznego (np. model P. O. Fangera).

W celu uwzględniania w równaniu bilansu cieplnego tak istotnego dla stanu termicznego człowieka czynnika, jakim jest promieniowanie słoneczne, konstruowane są modele symulacyjne. W modelach tych strumień energii krótkofalowej docierający do powierzchni ciała człowieka jest funkcją takich czynników fizycznych, jak: stała słoneczna, wysokość Słońca i przepuszczalność atmosfery określana wielkością współczynników zmętnienia (Auliciems, Freitas 1976; Burt i m. 1982b; Jendritzky 1990). Niewiele prac opartych jest natomiast na danych pomiarowych (Terjung 1970; Liopo, Cicenکو 1971; Krawczyk 1979; Freitas 1985; Błażejczyk 1991). Stosunkowo prosty (pośredni) sposób oceny wpływu zespołu elementów meteorologicznych (w tym i promieniowania słonecznego) oddziałujących na człowieka zaproponował B. A. Ajzenštat (Ajzenštat, Łukina 1982). Wpływ ten można określić za pomocą termometrów cylindrycznych, przydatnych szczególnie w badaniach topoklimatycznych. Inni autorzy, na przykład H. Mayer i P. Höppe (1987) oraz G. Jendritzky (1990), wartości salda promieniowania powierzchni ciała człowieka zastępują średnią temperaturą promieniowania.

W modelu Budyko przyjmuje się, że pionowej pozycji ciała człowieka odpowiada geometryczna forma walca. Wówczas to, krótkofalowy strumień energii (w zakresie widmowym 0,3–3,0  $\mu$ ) docierający do powierzchni ciała człowieka w postaci promieniowania bezpośredniego, rozproszonego i odbitego może być wyznaczony prostymi wzorami, do których wchodzi łatwo dające się zmierzyć natężenie promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię poziomą. Natężenie bezpośredniego promieniowania słonecznego na jednostkę bocznej powierzchni walca

$$S' = S \cdot \text{ctg } h \cdot \Pi^{-1},$$

gdzie  $S$  to natężenie bezpośredniego promieniowania na powierzchnię poziomą ( $W \cdot m^{-2}$ ),  $h$  – wysokość Słońca.

Wyznaczając wartość promieniowania rozproszonego i odbitego przyjmuje się założenie o izotropowym rozkładzie tych strumieni (Terjung 1970; Nielsen i in. 1988). Tak więc, natężenie promieniowania słonecznego rozproszonego dochodzącego do jednostki ( $m^2$ ) bocznej powierzchni pionowego walca przyjętego jako model ciała człowieka

$$D' = 0,5 D,$$

gdzie  $D$  jest natężeniem krótkofalowego promieniowania rozproszonego na powierzchnię poziomą ( $W \cdot m^{-2}$ ).

Analogicznie natężenie promieniowania odbitego

$$r = 0,5 (S + D) \alpha_0,$$

gdzie  $\alpha_0$  – albedo powierzchni ziemi.

Zatem, krótkofalowe promieniowanie pochłonięte przez jednostkę powierzchni ciała człowieka wyznacza się w następujący sposób:

$$R_k = [S \cdot \text{ctg } h \cdot \Pi^{-1} + 0,5D + 0,5(S + D)\alpha_0](1 - \alpha_c), \quad (4)$$

gdzie  $\alpha_c$  – średnie albedo skóry człowieka i odzieży 0,30 (Ajzenštat 1971).

Badania porównawcze K. Błażejczyka (1993) wykazały, że zarówno model Budyki, jak i szczegółowe wzory służące do obliczania  $R_k$  najlepiej przybliżają rzeczywiste wartości natężenia strumienia promieniowania pochłoniętego przez powierzchnię ciała człowieka.

Jak już wspomniano w podrozdziale 1.2, wartości wszystkich składników równania bilansu cieplnego ciała człowieka odnoszą się do godzin okolicy południowych, które są charakteryzowane średnimi miesięcznymi wartościami elementów meteorologicznych z II terminu obserwacyjnego. A zatem średnie miesięczne wartości promieniowania słonecznego pochłoniętego ( $R_k$ ) dotyczą również tej pory dnia.

Wyznaczenie strumienia  $R_k$  dla obszaru całej Polski wiąże się z wieloma trudnościami, które wynikają przede wszystkim z braku dostatecznej liczby stacji aktynometrycznych. Dlatego też w praktyce stosuje się często wzory empiryczne, które pozwalają wyznaczyć sumy promieniowania całkowitego jako funkcję czasu usłonecznienia, rejestrowanego na około 60 stacjach meteorologicznych w Polsce.

Na potrzeby niniejszego opracowania wybrano wzór J. N. Blacka, który przedstawia związek między promieniowaniem całkowitym a usłonecznieniem względnym:

$$K^\downarrow = K_0^\downarrow (a + b s/s_0),$$

gdzie  $K^\downarrow$  oznacza promieniowanie słoneczne całkowite ( $W \cdot m^{-2}$ ),  $K_0^\downarrow$  – promieniowanie słoneczne na górnej granicy atmosfery wyznaczone dla dnia 15 każdego miesiąca,  $s/s_0$  – usłonecznienie względne, to znaczy stosunek usłonecznienia rzeczywistego do astronomicznie możliwego w przedziale jednogodzinnym 12–13,  $a$ ,  $b$  – współczynniki regresji.

Według badań J. Podogrockiego (1978) wzór Blacka daje w warunkach Polski wartości najbliższe rzeczywistym. Do podobnych wniosków doszli A. Raik i Ł. Pahapill (1986), którzy na podstawie badań w Estonii stwierdzili liniowy związek między usłonecznieniem i promieniowaniem słonecznym, uzyskując współczynniki korelacji  $>0,90$ .

Aby można było korzystać w niniejszej pracy z wzoru Blacka, należało wyznaczyć współczynniki regresji  $a$  i  $b$ . Wykorzystano w tym celu dane obserwacyjne dotyczące miesięcznych wartości promieniowania całkowitego oraz usłonecznienia w przedziale jednogodzinnym 12–13, w okresie 1961–1970 z siedmiu stacji aktynometrycznych: Brwinów, Gdynia, Kołobrzeg, Mikołajki, Suwałki, Warszawa, Zakopane. Obliczone współczynniki wynoszą:  $a=0,17$ ,  $b=0,58$ .

Wyznaczone za pomocą wzoru Blacka z odpowiednimi współczynnikami wartości promieniowania całkowitego ( $W \cdot m^{-2}$ ) dla II terminu obserwacyj-

nego są obarczone błędem względnym nie przekraczającym 15%, przy czym jak się okazało, na dokładność wyników nie wpływa zróżnicowanie współczynników regresji w przebiegu rocznym.

Dalsze postępowanie rachunkowe polegało na wyznaczeniu natężenia promieniowania bezpośredniego (S) i rozproszonego (D) na powierzchnię poziomą. We wzorze Blacka składnik  $a \cdot K_0^{-1}$  stanowi strumień promieniowania rozproszonego, zaś  $b \cdot K_0^{-1} s/s_0$  – strumień promieniowania bezpośredniego (Miara i in. 1987).

Do obliczenia natężenia promieniowania odbitego od powierzchni ziemi i docierającego do modelu ciała człowieka niezbędne jest albedo ( $\alpha_0$ ). Wyznaczając ten składnik posłużono się metodyką opracowaną w Zakładzie Klimatologii IGIPZ PAN (Miara, Paszyński 1986). Stanowi ona syntezę kilkuletnich badań, w wyniku których określono liczbowy związek między stanem powierzchni czynnej, ocenianym za pomocą względnej liczby dni z pokrywą śnieżną, a ilością pochłoniętego przez tę powierzchnię promieniowania słonecznego. Zastosowanie tej metodyki do obliczeń średnich miesięcznych wartości albedo w godzinach okołopołudniowych wymaga przyjęcia założenia o braku zróżnicowania w przebiegu dziennym tego czynnika. Słuszność takiego podejścia potwierdzają badania L. A. Birjukovej (1966), która stwierdziła, że w miesiącach, w których występuje pokrywa śnieżna, dzienny przebieg albedo jest słabo wyrażony. Dlatego też do celów klimatologicznych można przyjąć, że jest ono stałe w ciągu całego dnia. Dla okresu bez pokrywy śnieżnej przyjęcie takiego założenia może być źródłem błędu sięgającego 12–15% (Birjukova 1966).

Sprawdzenie przydatności wzoru Blacka do wyznaczenia sum promieniowania słonecznego w przedziale jednogodzinnym (12–13) jest dość trudne, ze względu na brak niezależnego materiału obserwacyjnego z badanego dziesięciolecia (1961–1970). W tym okresie działało tylko osiem stacji aktynometrycznych z czego siedem wykorzystano do obliczeń współczynników regresji w tym wzorze, a więc do porównań pozostają jedynie dane z Kasprowego Wierchu. Tak więc, z braku innych materiałów, jedynie dla tej stacji obliczono błąd względny wyznaczenia sum godzinnych promieniowania całkowitego. Wynosi on 16,5%, a współczynnik korelacji określający siłę związku pomiędzy wartościami obliczonymi wzorem Blacka i zmierzonymi równa się 0,907. Jednak z uwagi na specyficzne cechy warunków solarnych panujących na tej wysokogórskiej stacji wyniki takiego porównania należy traktować z pewną ostrożnością.

## 6.2. WYZNACZANIE STRUMIENIA PROMIENIOWANIA EFEKTYWNEGO

Wymiana ciepła drogą wypromieniowania długofalowego, czyli promieniowania efektywnego (RI), zachodzi między powierzchnią ciała człowieka a atmosferą i podłożem. Zgodnie z założeniem o izotropowym charakterze wszystkich strumieni promieniowania, wypromieniowanie efektywne z jednostki przyjętego modelu ciała człowieka odpowiada połowie strumienia promieniowania efektywnego powierzchni ziemi ( $L_0$ ). Ponadto, zgodnie z prawem Stefana-

-Boltzmannowa uwzględnia się poprawki, których wartość jest proporcjonalna do różnicy temperatury między powierzchnią ciała człowieka i atmosferą ( $L_1$ ) oraz powierzchnią ciała człowieka i podłożem ( $L_2$ ). Tak więc:

$$R_1 = 0,5 L_0 + L_1 + L_2, \quad (5)$$

$$L_1 = 0,5 \sigma \delta (T_s^4 - T^4); \quad L_2 = 0,5 \sigma \delta (T_s^4 - T_g^4);$$

gdzie  $\rho$  to zdolność emisyjna powierzchni ciała człowieka równa 0,95,  $\delta$  – stała Stefana-Boltzmannowa  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ,  $T_s$  – temperatura skóry człowieka (K),  $T$  – temperatura powietrza (K),  $T_g$  – temperatura powierzchni ziemi (K).

Suma algebraiczna dwóch poprawek.

$$L_1 + L_2 = 4 \sigma \delta T^3 (T_s - T) - 2 \sigma \delta T^3 (T_g - T).$$

Do obliczeń promieniowania efektywnego powierzchni ziemi ( $L_0$ ) przyjęto wzór N. A. Efimovej (1961), w którym uwzględnia się empiryczny związek pomiędzy promieniowaniem efektywnym a takimi czynnikami meteorologicznymi, jak: temperatura i wilgotność powietrza mierzona na wysokości 2 m nad poziomem gruntu, a także wielkość i rodzaj zachmurzenia. Wzór ten został skonstruowany na podstawie analizy wieloletnich danych pomiarowych z 24 stacji meteorologicznych usytuowanych w różnych regionach klimatycznych b. Związku Radzieckiego. Zdaniem Efimovej może on być stosowany do obliczania wartości średnich dla poszczególnych terminów obserwacyjnych. Tak więc:

$$L_0 = [\sigma \delta T^4 (0,254 - 0,005e)(1 - c \cdot n)], \quad (6)$$

gdzie  $e$  jest prężnością pary wodnej (hPa),  $c$  – współczynnikiem charakteryzującym rodzaj chmur,  $n$  – wielkością zachmurzenia (wyrażoną w częściach jedności).

Współczynnik  $c$ , który odzwierciedla wpływ pokrywy chmur na długofalowe promieniowanie zwrotne atmosfery, jest w opracowaniach klimatologicznych uwzględniany w różny sposób. Na ogół stosowany jest jeden średni współczynnik, co może obarczać  $L_0$  błędem. Jak podkreśla N. J. Gojsa (1963), powtarzalność różnych form zachmurzenia ma przebieg sezonowy, a zatem niezbędne jest zróżnicowanie współczynnika  $c$  w przebiegu rocznym. Tak więc, na potrzeby niniejszego opracowania wykorzystano zamieszczone przez K. Ja. Kondrateva (1950) średnie wartości  $c$  dla chmur średnich i niskich w poszczególnych miesiącach, dla szerokości geograficznej  $50-60^\circ \text{ N}$ . Wynoszą one: w styczniu – 0,86, lutym – 0,83, marcu – 0,82, kwietniu – 0,70, maju – 0,66, czerwcu – 0,63, lipcu – 0,62, sierpniu – 0,61, wrześniu – 0,70, październiku – 0,79, listopadzie – 0,81 i w grudniu – 0,80; średnio w roku – 0,74. Odrębnego potraktowania wymagały stacje Kasprowy Wierch i Śnieżka. Z uwagi na swoje cechy warunków solarnych na tych stacjach wysokogórskich, wyrażające się większym zachmurzeniem i mniejszym promieniowaniem słonecznym w okresie letnim niż w okresie zimowym, przyjmowanie do obliczeń rocznego zróżnicowania współczynnika  $c$  (z jego minimum w czerwcu i lipcu) nie

znajduje uzasadnienia. W tym przypadku przyjęto dla całego roku jeden średni roczny współczynnik – 0,74, wychodząc z założenia, że popelnia się wtedy mniejszy błąd niż przy zróżnicowaniu  $c$  w poszczególnych miesiącach.

Z uwagi na brak materiałów obserwacyjnych dotyczących temperatury powierzchni ziemi dla większości stacji meteorologicznych, których dane wykorzystano w obliczeniach  $RI$ , nie można było uwzględnić poprawki na różnicę temperatury między ciałem człowieka i podłożem. Tak więc, wymianę ciepła drogą promieniowania długofalowego między ciałem człowieka a atmosferą wyznaczono następująco:

$$RI = 0,5 [\sigma \delta T^4 (0,254 - 0,005e)(1 - c \cdot n)] + 4 \sigma \delta T^3 (T_s - T). \quad (7)$$

### 6.3. WYZNACZANIE TURBULENCYJNYCH STRUMIENI CIEPŁA JAWNEGO I UTAJONEGO

Wymiana ciepła jawnego i utajonego ( $P$ ,  $LE$ ) stanowi najważniejszą pozycję rozchodową w równaniu bilansu cieplnego ciała człowieka. Wielkość tej wymiany uwarunkowana także reakcjami termoregulacyjnymi wpływa na stan termiczny i samopoczucie człowieka.

Czynnikami meteorologicznymi decydującymi o wielkości turbulencyjnej wymiany ciepła jawnego ( $P$ ) jest różnica temperatury między ciałem człowieka a atmosferą oraz ruch powietrza. Tak więc:

$$P = \rho C_p d (T_s - T), \quad (8)$$

gdzie  $\rho$  oznacza gęstość powietrza ( $g \cdot m^{-3}$ ) zależną od temperatury powietrza i ciśnienia,  $C_p$  – pojemność cieplną powietrza przy stałym ciśnieniu, tj. 1000 hPa ( $J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$ ),  $d$  – współczynnik dyfuzji turbulencyjnej ( $cm \cdot s^{-1}$ ).

Współczynnik dyfuzji turbulencyjnej jest w przybliżeniu równy pierwiastkowi kwadratowemu z prędkości wiatru (Lee, Lemons 1949; Budyko 1975):

$$d = m \sqrt{v},$$

gdzie  $v$  to prędkość wiatru ( $m \cdot s^{-1}$ ),  $m$  – stała liczbowa równa 1,0.

Współczynnik dyfuzji turbulencyjnej ulega zwiększeniu w przypadku, gdy poszczególne składniki równania bilansu cieplnego wyznaczane są dla człowieka w ruchu. Wówczas należy uwzględnić względną prędkość człowieka w nieruchomym powietrzu w ten sposób, że do obserwowanej prędkości wiatru dodaje się odpowiednią wartość tym większą, im większy jest ten ruch (patrz Fanger 1974, tab. 1.1). Ponadto miesięczne wartości prędkości wiatru z poszczególnych stacji meteorologicznych zredukowano do wysokości 2 m według wzoru:

$$v_z = v_w \left( \frac{hz}{hw} \right)^{0,2},$$

gdzie  $v_z$  – prędkość wiatru na wysokości 2 m ( $hz$ ),  $v_w$  – prędkość wiatru na wysokości wiatromierza ( $hw$ ).

Jak podaje V. J. Milevskij (1960), obliczona w ten sposób prędkość wiatru jest obarczona błędem nie przekraczającym  $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Parowanie wody z powierzchni ciała człowieka i związane z tym znaczne straty energii odgrywają istotną rolę w procesie wymiany ciepła. Warto tu dodać, że na wyparowanie 1 g wody zużywa się około  $0,385 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , przy czym wielkość ta zależy od temperatury powietrza (Clark, Edholm 1985). W przypadku gdy temperatura powietrza jest wyższa od temperatury skóry człowieka, transpiracyjne straty ciepła są jedyną znaczącą formą jego oddawania (Höppe 1982b). Jak już wspomniano w podrozdziale 4.1, wydzielanie wody z powierzchni ciała człowieka zachodzi w wyniku dyfuzji pary wodnej z komórek skóry, jak też poprzez działalność gruczołów potowych, która podlega układowi termoregulacyjnemu. Proces parowania wydzielonej poprzez powierzchnię ciała człowieka wody zależy natomiast od stanu fizycznego środowiska atmosferycznego. O wielkości ewaporacyjnych strat ciepła decyduje różnica wilgotności między powierzchnią ciała człowieka i otaczającym powietrzem, a czynnikiem przyspieszającym proces parowania jest ruch powietrza.

Na ważną rolę parowania dla prawidłowej gospodarki cieplnej ustroju człowieka zwracali już uwagę B. A. Ajzenštat i V. K. Marinov, którzy uznali intensywność wydzielania potu oraz ilość ciepła oddawanego w procesie jego parowania za ważny wskaźnik bioklimatyczny, odzwierciedlający stopień obciążenia termicznego ustroju (patrz rozdz. 3).

Doświadczalne wyznaczanie ilości wody wydzielonej przez organizm człowieka odbywa się na ogół w warunkach laboratoryjnych przez ważenie osobników poddawanych eksperymentom lub przez mierzenie przewodnictwa elektrycznego skóry, które zależy od stopnia jej uwilgocenia. Takie metody stosuje się w badaniach prowadzonych w Pracowni Obciążeń Termicznych Centralnego Instytutu Ochrony Pracy w Warszawie.

W równaniu bilansu cieplnego ciała człowieka M. I. Budyko straty ciepła na parowanie (LE) wyznaczone są w następujący sposób:

$$LE = Lq d (q_s - q) a, \quad (9)$$

gdzie L oznacza utajone ciepło parowania ( $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ ), zależne od temperatury powietrza,  $q_s$  – wilgotność właściwą powietrza nasyconego w temperaturze skóry człowieka ( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ),  $q$  – wilgotność właściwą powietrza ( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ),  $a$  – wskaźnik wielkości powierzchni zwilżonej ciała człowieka, wyrażający stosunek powierzchni wilgotnej do całkowitej powierzchni ciała człowieka (Norma ISO 7933).

Wartości współczynnika  $a$  zależą przede wszystkim od temperatury skóry człowieka. Podawane w literaturze dane mówią, że zmienia się on od 0,03 do 1,00 (Ajzenštat i in. 1974), od 0,07 do 1,00 (Tuller 1975), i od 0,11 do 1,00 (Liopo, Cicenکو 1971). Gwałtowne zwiększenie powierzchni zwilżonej, w wyniku działalności gruczołów potowych, rozpoczyna się wtedy, gdy  $T_s$  osiąga  $34,0^\circ$ , przy czym całkowite pokrycie powierzchni ciała człowieka potem

zachodzi wtedy, gdy  $T_s$  zbliża się do  $37^\circ\text{C}$ ; wówczas  $a = 1,0$  (Freitas 1985). Do wyznaczenia  $a$  posłużył autorce wzór skonstruowany przez Ajzenštata i współpracowników (1974):

$$a = (1,031/(37,5 - T_s) - 0,065).$$

#### 6.4. WYZNACZANIE STRAT CIEPŁA POWSTAJĄCYCH W PROCESIE ODDYCHANIA

Wdychane przez człowieka powietrze jest w górnych drogach oddechowych ogrzewane drogą konwekcji i nasyca się parą wodną w wyniku parowania wilgotnej powierzchni błon śluzowych. Ilość energii (w postaci ciepła jawnego i utajonego) traconej w tym ważnym procesie fizjologicznym jest tym większa, im większa jest różnica temperatury i wilgotności powietrza wdychanego i wydychanego (Fanger 1974).

Jak wykazały badania modelowe (Mayer 1977c, Höpfe 1979, 1981), w strefie klimatu umiarkowanego straty ciepła powstające w procesie oddychania są niewielkie, w porównaniu z innymi formami jego oddawania z powierzchni ciała człowieka, osiągając maksymalne wartości w chłodnej porze roku. W dodatnich temperaturach powietrza straty te są mniejsze niż  $8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Ten składnik równania bilansu cieplnego ciała człowieka ( $B$ ) wyznaczono jako funkcję temperatury i wilgotności względnej powietrza (Liopo, Cicenko 1971). Zależność tę opisuje następujący wzór:

$$B = T(0,0005f + 0,1117) + (0,0133f - 9,6533) + 0,1466, \quad (10)$$

gdzie  $T$  to temperatura powietrza ( $^\circ\text{C}$ ),  $f$  – wilgotność względna powietrza (%).

#### 6.5. UWZGLĘDNIANIE RODZAJU ODZIEŻY W RÓWNANIU BILANSU CIEPLNEGO CIAŁA CZŁOWIEKA

Przedstawione wyżej postępowanie rachunkowe pozwala na wyznaczenie strumieni ciepła, które ciało człowieka nie chronione odzieżą otrzymuje i traci. Jednak bez uwzględnienia odzieży w procesie wymiany ciepła między ciałem człowieka a otoczeniem wyniki takie nie mają znaczenia praktycznego. Jak już bowiem podkreślono w rozdziale 5, odpowiednio dobrana odzież, dzięki swym właściwościom termoizolacyjnym, umożliwia utrzymanie równowagi cieplnej ustroju niezależnie od zmieniających się warunków meteorologicznych.

Wprowadzenie do równania bilansu cieplnego ciała człowieka informacji dotyczących rodzaju odzieży jest możliwe dzięki empirycznie wyznaczonemu przez M. I. Budyko średniemu współczynnikowi przewodnictwa cieplnego odzieży  $K'$ , którego wielkość zależy od jej termoizolacyjnych właściwości wyrażonych w jednostce  $\text{clo}$  (tab. 5).

$$K' = \frac{0,53}{\text{liczba jednostek clo}}$$

Współczynnik ten przyjmuje wymiar  $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ .



Dalsze postępowanie polegało na rozwiązaniu układu dwóch równań, które opisują wymianę ciepła zachodzącą na powierzchni odzieży i pod nią. Równanie bilansu cieplnego powierzchni ciała człowieka pod odzieżą przybiera następującą postać:

$$M = LE' + P' + B, \quad (11)$$

gdzie  $LE' = L \varrho K' (q_s - q_x) a$ ,  $P' = \varrho C_p K' (T_s - T_x)$ ,  $T_x$  i  $q_x$  – temperatura i wilgotność właściwa powietrza na poziomie zewnętrznej powierzchni odzieży.

Bilans ciepła na zewnętrznej powierzchni odzieży można opisać za pomocą następującego równania, w którym po stronie dochodowej, oprócz promieniowania słonecznego pochłoniętego, znajduje się strumień ciepła jawnego, skierowany od powierzchni ciała człowieka ku zewnętrznej powierzchni odzieży  $P'$ :

$$R_k + P' = P_x + R_{lx}, \quad (12)$$

gdzie  $P_x = \varrho C_p d (T_x - T)$ ,  $R_{lx} = L_0 + 4\sigma\delta T^3 (T_x - T)$ .

Jak już wspomniano w rozdziale 5, w czasie przechodzenia przez warstwy odzieży wielkość strumienia pary wodnej nie ulega zmianie. A zatem:

$$\varrho K' (q_s - q_x) \cdot a = \varrho d (q_s - q) a. \quad (13)$$

Ostateczna postać równania bilansu cieplnego ciała człowieka ubranego w określony rodzaj odzieży wynika z przekształcenia równań (11)–(13):

$$R_k \frac{\varrho C_p K'}{\varrho C_p K' + \varrho C_p d + 4\sigma\delta T^3} + M = P' \frac{\varrho C_p K'}{\varrho C_p K' + \varrho C_p d + 4\sigma\delta T^3} + LE' \frac{\varrho C_p K'}{\varrho C_p K' + \varrho C_p d} + R_{lx} \frac{\varrho C_p K'}{\varrho C_p K' + \varrho C_p d + 4\sigma\delta T^3} + B. \quad (14)$$

W równaniu tym składniki  $R_k$ ,  $LE$ ,  $P$  i  $R_l$  są mnożone przez czynnik odzwierciedlający wpływ odzieży na wielkość tych strumieni ciepła. Przy czym

$$\frac{\varrho C_p K'}{\varrho C_p K' + \varrho C_p d + 4\sigma\delta T^3}$$

jest współczynnikiem osłabienia przepływu ciepła przez odzież drogą promieniowania krótkofalowego, konwekcji i promieniowania długofalowego, a

$$\frac{\varrho C_p K'}{\varrho C_p K' + \varrho C_p d}$$

drogą ewaporacji.

Wartości liczbowe tych współczynników (zawsze mniejsze od 1,0) zależą przede wszystkim od rodzaju odzieży i stanu fizycznego otaczającego środowiska, a w szczególności od prędkości wiatru i temperatury powietrza.

Tak więc, wyznaczone w wyżej opisany sposób składniki równań (4)–(13) wyrażają strumienie ciepła ( $W \cdot m^{-2}$ ) systemu skóra-ubranie-powietrze. O tym,

że model bilansu cieplnego Budyko z niewielkimi przekształceniami dokonany przez autorkę został wybrany do oceny i typologii bioklimatu Polski decydowały następujące czynniki:

- sprawdzenie przez fizjologów i klimatologów dokładności metody bilansu cieplnego. W toku bezpośrednich pomiarów przeprowadzonych w różnych strefach klimatycznych b. Związku Radzieckiego, którymi objęto znaczną grupę ludzi stwierdzono, że odchylenia wartości  $T_s$  obliczonych za pomocą równania (14) i zmierzonych sięgają  $\pm 0,7 - \pm 0,5^\circ\text{C}$ , przy czym są one mniejsze w przypadku dodatnich temperatur powietrza. Brak systematycznych różnic między wartościami obliczonymi i zmierzonymi wskazuje, że wpływ elementów meteorologicznych na wielkość strumieni ciepła został uwzględniony prawidłowo (Kričagin, Cicenکو 1961; Kandror i in. 1966, 1974; Liopo, Cicenکو 1971);

- możliwość posługiwania się średnimi wartościami elementów meteorologicznych przy wyznaczaniu poszczególnych strumieni ciepła.

Trzeba mieć na uwadze, że przyjęcie w równaniu (14) średnich wartości parametrów fizjologicznych, takich jak: ciepło metaboliczne, wydzielanie potu, utrata energii przez oddychanie powoduje, że określona za pomocą tego równania wymiana ciepła dotyczy „średniego” człowieka, to znaczy o przeciętnej wadze, wzroście i wieku (75 kg, 175 cm, 35 lat), bez uwzględnienia różnic wynikających z płci.

A zatem, równanie (14) zostało wykorzystane do wyznaczenia średnich miesięcznych wartości:

- wskaźnika termoizolacyjności odzieży (w jednostce clo), która gwarantuje komfort cieplny człowiekowi obciążonemu wysiłkiem fizycznym o zróżnicowanej intensywności. Opór cieplny odzieży stanowi tu czynnik równoważący zyski i straty ciepła w warunkach stacjonarnych, a także wskaźnik oceny warunków bioklimatycznych Polski;

- struktury bilansu cieplnego ciała człowieka, to znaczy stosunku wartości strumieni ciepła traconego do ilości, jaką człowiek otrzymuje w warunkach komfortu termicznego.

Do obliczeń zastosowano metodę kolejnych przybliżeń szukanej wartości clo w ten sposób, aby lewa strona równania (14) była równa liczbowo prawej. W procedurze obliczeniowej przyjęto, że dokładność wyznaczania poszczególnych strumieni ciepła wynosi  $\pm 2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , gdyż pozwala ona na uzyskanie wartości clo z dokładnością 0,01; a więc wystarczającą na potrzeby tej pracy.

Wymienione wskaźniki zostały obliczone dla 57 miejscowości w Polsce, na podstawie wartości elementów meteorologicznych z II terminu obserwacyjnego.

## 7. WYMIANA CIEPŁA MIĘDZY CIAŁEM CZŁOWIEKA A ŚRODOWISKIEM ATMOSFERYCZNYM NA OBSZARZE POLSKI

### 7.1. ENERGETYCZNE ZASOBY BIOKLIMATU POLSKI – PROMIENIOWANIE SŁONECZNE POCHŁONIĘTE PRZEZ POWIERZCHNIĘ CIAŁA CZŁOWIEKA

Zanim zostanie omówiona wymiana ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem atmosferycznym na obszarze Polski, niezbędne jest poznanie rozkładu przestrzennego jednego z najważniejszych czynników kształtujących bioklimat – promieniowania słonecznego, a szczególnie tej jego części, która jest pochłaniana przez ciało człowieka. Jest to tym istotniejsze, iż znaczenie energetyczne i biologiczne promieniowania słonecznego w zespole fizycznych bodźców klimatycznych oddziałujących na człowieka jest od dawna doceniane (Terjung 1970; Ajzenštat 1971; Kozłowska-Szczęśna, red., 1985; Freitas, Ryken 1989).

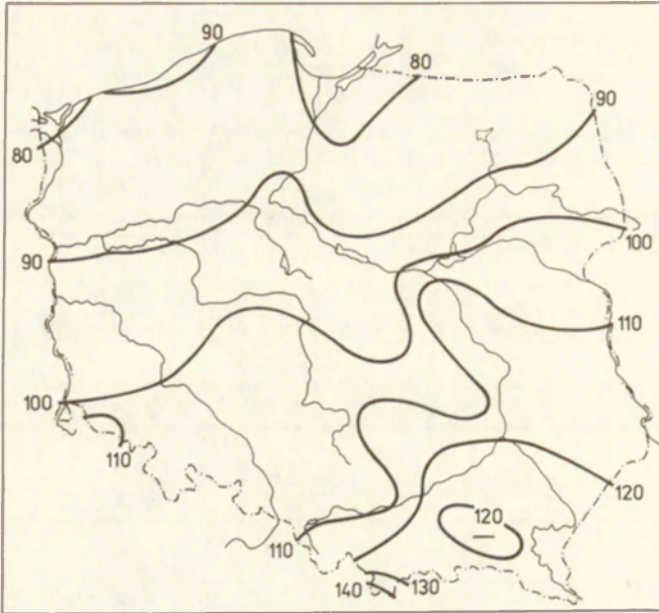
Strumień energii słonecznej dociera do powierzchni ciała człowieka w postaci promieniowania bezpośredniego, rozproszonego i odbitego od powierzchni ziemi. Część otrzymywanej energii słonecznej zostaje odbita od powierzchni ciała człowieka, reszta – jest pochłonięta i bierze udział w procesie wymiany ciepła między ciałem człowieka a otoczeniem. Właśnie ta część energii krótkofalowej stanowi dla człowieka zewnętrzne źródło ciepła. Tak więc, wielkość strumienia promieniowania słonecznego pochłoniętego przez ciało człowieka nie ubranego można traktować jako energetyczne zasoby bioklimatu Polski. Oczywiście trzeba mieć na uwadze, że o wielkości i strukturze wymiany ciepła, a zatem o subiektywnych odczuciach termicznych człowieka decyduje kompleks czynników meteorologicznych (w tym radiacyjnych), cyrkulacja atmosfery nad obszarem Polski, a także czynniki fizjologiczne i rodzaj noszonej odzieży.

Sposób wyznaczania krótkofalowego promieniowania pochłoniętego przez jednostkę powierzchni ciała człowieka ( $R_k$ ) został przedstawiony w podrozdziale 6.1, a wyniki obliczeń w postaci wartości średnich miesięcznych i rocznych (dla 57 stacji i posterunków meteorologicznych, rozmieszczonych w miarę równomiernie na obszarze Polski) zawiera tabela 6. Ilustracją rozkładu przestrzennego  $R_k$  są trzy mapy (ryc. 2, 3, 4), wykonane dla najchłodniejszego (styczeń) i najcieplejszego (lipiec) miesiąca oraz roku. Dane zawarte w tabeli 6 zostały wyznaczone przy założeniu, że modelem ciała

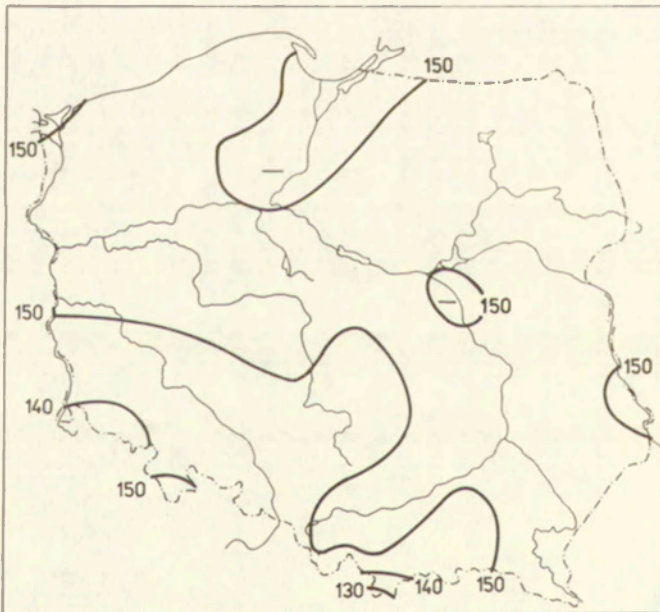
Tabela 6. Promieniowanie słoneczne pochłonięte przez ciało człowieka nie osłonięte odzieżą Rk ( $W \cdot m^{-2}$ ). Wartości średnie miesięczne i roczne z okresu 1961-1970, II termin obserwacyjny  
Solar radiation absorbed by unclothed man Rk ( $W \cdot m^{-2}$ ). Mean values 1961-1970, 13<sup>00</sup> official time

Nazwa stacji	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Aleksandrowice	115,8	128,4	141,7	149,3	143,8	149,3	152,8	147,9	166,8	142,4	97,0	94,2	135,8
Białowieża	100,5	108,9	148,6	141,7	141,0	153,5	152,8	147,9	163,3	120,7	63,5	61,4	125,3
Biebrza-Pieńczyków	85,8	118,6	147,2	136,1	145,2	161,9	161,9	158,4	154,9	118,6	63,5	60,0	126,0
Busko-Zdrój	121,4	131,2	134,0	142,4	145,9	157,0	152,8	156,3	158,4	134,0	90,7	66,3	132,5
Bydgoszcz IMUZ	90,7	116,5	142,4	136,1	141,0	159,1	147,2	153,5	165,4	117,9	78,2	66,3	126,2
Chełm Lubelski	117,2	123,5	134,0	143,1	136,8	157,0	148,6	155,6	164,0	134,7	78,2	80,9	131,1
Chojnice	85,8	116,5	149,3	141,7	145,9	164,7	149,3	152,8	154,9	115,1	74,7	59,3	125,8
Ciechocinek	90,0	106,8	139,6	141,7	145,9	165,4	152,1	153,5	157,7	121,4	69,1	66,3	125,8
Cieszyn-Bobrek	96,3	114,4	129,1	135,4	134,0	140,3	140,3	143,8	153,2	133,3	78,8	94,9	124,5
Gdynia	80,2	109,6	141,7	142,4	149,3	171,7	148,6	157,0	159,8	126,3	75,4	74,7	128,1
Gorzów Wielkopolski	88,6	113,7	143,8	137,5	145,9	161,9	152,8	153,5	157,0	120,7	69,1	73,3	126,5
Hel	76,8	106,8	150,7	146,6	157,0	179,3	159,1	166,8	160,5	130,5	77,5	65,6	131,4
Iwonicz-Zdrój	117,2	122,1	139,6	144,5	143,8	145,2	150,7	153,5	162,6	145,2	87,9	75,4	132,3
Jelenia Góra	110,3	131,2	132,6	131,2	135,4	143,8	134,0	143,1	152,1	137,5	92,1	90,7	127,8
Kalisz	105,4	132,6	139,6	147,2	144,5	159,1	155,6	157,7	163,3	131,9	78,8	72,6	132,4
Kasprowy Wierch	143,8	152,1	160,5	166,8	136,1	127,7	117,2	127,7	150,7	151,4	117,9	113,7	138,8
Katowice	105,4	120,0	131,2	138,9	142,4	150,0	150,0	150,7	157,0	131,2	87,9	74,7	128,3
Kołobrzeg	90,0	114,4	143,1	141,0	154,9	169,6	153,5	164,0	160,5	118,6	74,7	61,4	128,8
Kraków Obs. Astr.	98,4	120,7	139,6	147,2	150,7	152,1	155,6	161,2	165,4	145,2	95,6	78,8	134,2
Krynica	124,9	134,0	157,0	143,8	142,4	143,8	143,8	155,6	153,5	145,9	98,4	90,7	136,2
Laskowice Oławskie	106,8	116,5	126,3	136,8	139,6	149,3	143,8	145,2	147,9	122,1	72,6	77,5	123,7
Lądek-Zdrój	105,4	126,3	143,8	143,8	141,0	150,0	150,7	152,1	163,3	143,1	93,5	88,6	133,5
Lesko	122,8	124,2	137,5	141,0	143,8	125,6	152,8	159,1	166,1	143,8	87,2	82,3	132,2
Leszno-Strzyżewice	96,3	124,9	149,3	140,3	147,2	161,9	150,0	150,7	160,5	129,1	83,7	73,3	130,6
Łódź-Lublinek	97,7	113,7	137,5	142,4	145,2	157,7	149,3	152,1	159,1	131,9	74,0	65,6	127,2
Mikołajki	85,8	124,2	150,7	137,5	146,6	161,9	152,1	156,3	154,4	115,1	76,8	60,0	126,8

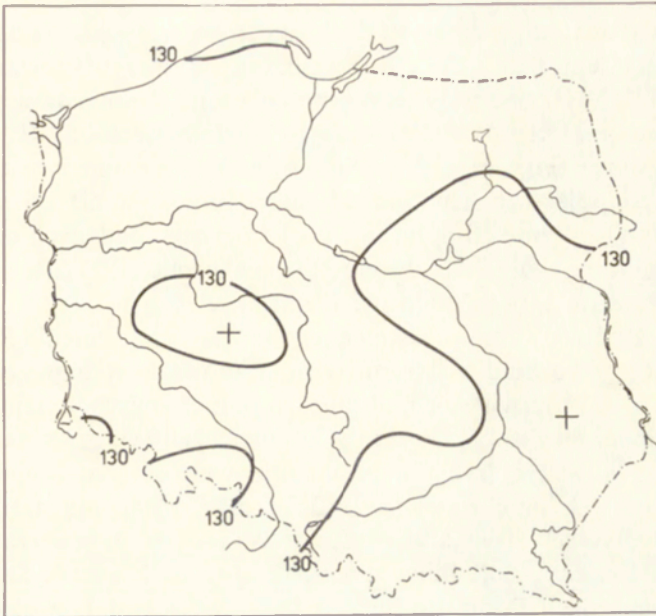
Muszyna	114,4	136,1	150,7	140,3	143,8	142,4	143,8	157,0	164,0	152,1	92,1	92,1	135,7
Opole	100,5	113,0	136,1	150,0	150,0	154,2	143,1	158,4	159,1	131,2	82,3	77,5	129,6
Ostrołęka	93,5	116,5	155,6	142,4	150,7	166,8	158,4	170,3	160,5	127,0	71,9	75,4	132,4
Polanica-Zdrój	104,7	129,1	147,2	142,4	141,0	145,9	150,0	150,7	165,4	140,3	87,9	80,9	132,1
Poświętne	97,0	111,0	145,9	145,2	152,1	166,8	160,5	163,3	164,0	134,0	74,0	72,6	132,2
Poznań Ławica	90,7	112,3	147,9	147,9	148,6	166,8	155,6	155,6	163,3	122,8	73,3	80,2	130,4
Prabuty	78,8	114,4	147,9	138,9	141,0	166,8	149,3	150,7	152,1	115,1	74,0	58,6	124,0
Puławy	112,3	113,7	134,7	143,8	149,3	160,5	152,8	155,6	160,5	129,8	78,8	80,9	131,1
Rabka	124,2	145,9	150,7	142,4	143,8	142,4	148,6	153,5	162,6	152,1	100,5	96,3	138,6
Resko	83,7	120,0	143,8	141,0	153,5	166,8	154,9	164,0	164,0	132,6	74,0	53,0	129,3
Rzeszów-Jasionka	123,5	124,2	137,5	150,7	150,7	159,1	159,1	164,0	171,7	139,6	95,6	74,0	137,5
Sinolęka	100,5	119,3	145,2	142,4	151,4	166,1	157,7	160,5	165,4	136,1	68,4	65,6	131,6
Skierniewice	96,3	113,0	137,5	147,2	151,4	164,7	152,8	156,3	159,1	132,6	78,2	72,6	130,1
Skroniów	117,9	116,5	138,2	143,1	145,9	157,0	150,0	152,8	160,5	134,0	82,3	78,8	131,4
Sobieszyn	113,0	114,4	143,1	143,8	145,9	159,1	150,7	159,1	163,3	129,8	78,8	75,4	131,4
Suwałki	80,9	117,9	157,0	136,8	148,6	165,4	157,0	155,6	152,1	114,4	59,3	69,1	126,2
Szczawno-Zdrój	100,5	114,4	134,0	132,6	129,8	143,1	139,6	138,9	157,0	134,7	89,3	80,2	124,5
Szczecin-Dąbie	82,3	117,9	144,5	138,2	150,7	164,7	151,4	153,5	161,2	117,9	74,0	56,5	126,1
Szepietowo	100,5	121,4	157,7	141,7	152,8	165,4	157,0	164,0	164,7	127,0	69,1	67,0	132,4
Śnieżka	120,0	138,9	157,7	156,3	140,3	133,3	130,5	120,0	145,2	141,0	101,9	113,0	133,2
Świbno	77,5	110,3	141,0	143,8	147,2	166,8	147,2	159,1	150,7	118,6	74,7	66,3	125,3
Świnoujście	75,4	117,9	144,5	136,1	139,6	143,8	142,4	156,3	157,0	115,8	76,8	66,3	122,7
Tarnów	116,5	120,0	133,3	142,4	141,0	150,0	143,8	150,7	153,4	138,9	95,6	79,5	130,4
Terespol	100,5	129,8	153,5	149,3	152,8	161,9	160,5	169,6	164,0	132,6	78,8	80,9	136,2
Topola-Błonie	87,2	101,9	137,5	146,6	142,4	160,5	150,7	154,9	157,0	122,8	73,3	69,8	125,4
Ustka	90,7	115,8	137,5	145,2	152,1	175,1	159,1	163,3	160,5	120,0	69,8	67,7	129,7
Warszawa-Bielany	116,5	116,5	143,8	148,6	151,4	163,3	147,9	161,2	170,3	134,0	74,0	65,6	132,8
Wieluń	100,5	115,1	140,3	151,4	144,5	152,8	148,6	148,6	158,4	129,1	78,2	73,3	128,4
Włodawa	114,4	129,8	152,1	150,7	150,0	160,5	157,0	160,5	163,3	129,8	74,0	82,3	135,4
Zakopane	137,5	155,6	171,7	147,2	136,1	136,1	134,0	143,8	150,7	150,7	110,3	111,0	140,4
Zgorzelec	94,2	115,1	126,3	135,4	136,8	144,5	147,2	140,3	130,5	129,1	78,2	77,5	121,3



Ryc. 2. Promieniowanie słoneczne pochłonięte przez ciało człowieka nie osłonięte odzieżą  $R_k$  ( $W \cdot m^{-2}$ ), STYCZEŃ. Wartości średnie z okresu 1961–1970, II termin obserwacyjny  
 Solar radiation absorbed by unclad man  $R_k$  ( $W \cdot m^{-2}$ ), JANUARY. Mean values (1961–1970), 13<sup>00</sup> official time



Ryc. 3. Promieniowanie słoneczne pochłonięte przez ciało człowieka nie osłonięte odzieżą  $R_k$  ( $W \cdot m^{-2}$ ), LIPIEC. Wartości średnie z okresu 1961–1970, II termin obserwacyjny  
 Solar radiation absorbed by unclad man  $R_k$  ( $W \cdot m^{-2}$ ), JULY. Mean values (1961–1970), 13<sup>00</sup> official time



Ryc. 4. Promieniowanie słoneczne pochłonięte przez ciało człowieka nie osłonięte odzieżą Rk ( $W \cdot m^{-2}$ ), ROK. Wartości średnie z okresu 1961–1970, II termin obserwacyjny  
Solar radiation absorbed by unclad man Rk ( $W \cdot m^{-2}$ ). Mean annual (1961–1970), 13° official time

człowieka jest pionowy walec. Średnie miesięczne i roczne wartości Rk wyrażone w  $W \cdot m^{-2}$  odnoszą się do godzin okołopołudniowych (II termin obserwacyjny) i ciała człowieka nie osłoniętego odzieżą.

Analiza danych liczbowych pozwala zauważyć regionalne zróżnicowanie występowania maksymalnych w ciągu roku wartości natężenia promieniowania słonecznego pochłoniętego przez ciało człowieka. Na obszarze Polski można wyróżnić trzy typy tego zróżnicowania:

- typ wczesnoletni, kiedy to maksymalne wartości Rk (od 158 w Łodzi do 179  $W \cdot m^{-2}$  na Helu) obserwuje się w czerwcu. Ten typ obejmuje prawie całą Polskę północną, środkową i wschodnią;

- typ wczesnojesienny, w którym maksymalne wartości Rk występują we wrześniu (od 153 w Cieszynie do 171  $W \cdot m^{-2}$  w Rzeszowie). Obejmuje on swym zasięgiem południową i zachodnią część kraju;

- typ wiosenny, obserwowany w terenach górskich, gdzie maksymalne wartości Rk pojawiają się w kwietniu (Kasprowy Wierch 167  $W \cdot m^{-2}$ ) lub w marcu (Zakopane 172  $W \cdot m^{-2}$ , Śnieżka 158  $W \cdot m^{-2}$ , Krynica 157  $W \cdot m^{-2}$ ).

Rozkład przestrzenny najniższych w ciągu roku wartości Rk jest mniej zróżnicowany niż wartości najwyższych. Na prawie całym obszarze Polski występują one w grudniu, osiągając 50–60  $W \cdot m^{-2}$  w północnej części kraju do 80–90  $W \cdot m^{-2}$  w części środkowej i południowej.

Rozpatrując sezonową zmienność  $R_k$  trzeba zauważyć, że na obszarze całej Polski (z wyjątkiem Tatr i Sudetów) zaznacza się uprzywilejowanie miesięcy letnich (VI, VII, VIII) pod względem natężenia tego strumienia w porównaniu z pozostałymi porami roku. Porównując średnie wartości  $R_k$  dla wiosny i jesieni (tab. 6) widzimy, że większe radiacyjne nagrzewanie powierzchni ciała człowieka występuje w miesiącach od marca do maja niż od września do listopada, i to niezależnie od położenia geograficznego badanych miejscowości. Podobne wyniki uzyskały T. N. Liopo i G. V. Cicenکو (1971) dla graniczących z Polską obszarów Litwy, Białorusi i Ukrainy.

Ilustracją zróżnicowania przestrzennego natężenia strumienia  $R_k$  w okresie zimowym jest jego rozkład w styczniu (ryc. 2). Wówczas to najwyższe ( $120\text{--}140 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) wartości obserwuje się na krańcach południowych, a najniższe ( $80\text{--}90 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) – na północy kraju. W okresie letnim (rozpatrywanym na przykładzie lipca) można zauważyć (ryc. 3), że średnie wartości natężenia strumienia promieniowania  $R_k$  przekraczające  $150 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  występują na: Pobrzeżach Południowobałtyckich (z wyjątkiem Żuław Wiślanych), pojezierzach (z wyjątkiem części Pojezierza Południowopomorskiego), na Nizinach Środkowopolskich i Wysoczyznach Podlasko-Białoruskich. Na pozostałym obszarze kraju wartości  $R_k$  wynoszą w lipcu  $140\text{--}150 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , podczas gdy w górach kształtują się poniżej  $130 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Rozkład średnich rocznych wartości  $R_k$  jest na obszarze Polski mało zróżnicowany (ryc. 4). Najwyższe wartości tego strumienia obserwuje się na krańcach północnych, a także w części południowo-wschodniej. Różnica między najwyższym (Zakopane) a najniższym (Zgorzelec) średnim rocznym natężeniem strumienia  $R_k$  wynosi zaledwie  $20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Analizując przyczyny wyżej opisanego rozkładu czasowego i przestrzennego natężenia promieniowania krótkofalowego pochłoniętego przez ciało człowieka trzeba wziąć pod uwagę, że na wartość  $R_k$  wpływa kilka czynników:

- czynnik astronomiczny (deklinacja Słońca),
- czynniki meteorologiczne (dopływ do powierzchni ziemi krótkofalowej energii słonecznej uwarunkowany przezroczystością atmosfery i wielkością zachmurzenia, zaleganie pokrywy śnieżnej),
- czynnik geograficzny (wyniesienie nad poziomem morza),
- model ciała człowieka.

Uprzywilejowanie Polski północnej, środkowej i wschodniej pod względem natężenia strumienia  $R_k$  w okresie letnim uzasadnić można obserwowanym tu największym usłonecznieniem i najmniejszym zachmurzeniem (Kuczmariski 1982, Miara i in. 1987). Najkorzystniejsze natomiast (pod względem ilości pochłoniętej przez człowieka energii krótkofalowej) warunki, obserwowane wczesną wiosną w terenach górskich, mają uzasadnienie w znacznym natężeniu energii słonecznej oraz w zwiększonym (wskutek utrzymującej się jeszcze pokrywy śnieżnej) strumieniu promieniowania odbitego od powierzchni ziemi i docierającego do powierzchni człowieka stojącego, nie chronionego odzieżą.



Interesujące jest porównanie natężenia promieniowania pochłoniętego, które – jak już wcześniej wspomniano – stanowi zewnętrzne źródło energii, z ilością ciepła metabolicznego wytwarzanego w organizmie człowieka. W równaniu bilansu cieplnego (1)  $M$  stanowi składnik dodatni, to znaczy, że strumień energii skierowany jest od wnętrza do powierzchni ciała człowieka. Przyjmując, że człowiek znajdujący się w pozycji stojącej wytwarza ciepło metaboliczne w ilości  $70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  (patrz tab. 3) można zauważyć, że w listopadzie i w grudniu pochłonięte promieniowanie słoneczne nie przekracza więcej niż o 30% ilość ciepła wytwarzanego w procesach metabolicznych. W miesiącach, w których występują maksymalne wartości  $R_k$ , strumień  $M$  stanowi zaledwie 40–50% natężenia promieniowania pochłoniętego przez powierzchnię ciała człowieka.

## 7.2. DYNAMICZNE UWARUNKOWANIA BIOKLIMATU POLSKI – TYPY CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ

Właściwości klimatu a także bioklimatu, rozpatrywane z punktu widzenia wymiany ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem atmosferycznym, kształtuje nie tylko czynnik energetyczny, ale również dynamiczny, związany z sezonową zmiennością cyrkulacji atmosferycznej nad Polską. Znaczenie tego czynnika zostanie rozpatrzone na podstawie częstości typów cyrkulacji atmosferycznej, które występowały najczęściej w latach 1961–1970. Określony typ cyrkulacji atmosferycznej i związana z nią adwekcja mas powietrza o różnych cechach fizycznych, warunkuje bowiem wartości poszczególnych elementów meteorologicznych, od których zależy wielkość wymiany ciepła między ciałem człowieka a otoczeniem.

Jako materiał podstawowy do analizy służy opracowany przez B. Osuchowską-Klein *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej*, w którym wyróżniła ona trzynaście takich typów (cyt. za T. Kozłowską-Szczęsną, red., 1991). W nowszych pracach B. Osuchowska-Klein (Paszyński, Niedźwiedz 1991) zawężyła swoją typologię do ośmiu głównych typów kształtujących pogodę w Polsce, traktując pięć pozostałych jako typy drugorzędne, których częstość jest zbyt mała (na ogół  $< 5\%$  dni w miesiącu), aby mogły decydować o cechach klimatu Polski. W sumie stanowią one od 8,3% (w lipcu) do 27,4% (w październiku) liczby wszystkich typów, obejmując takie sytuacje, gdy nad obszar Polski napływa powietrze z południa, w cyklonalnych lub antycyklonalnych układach barycznych. Przyjmując to założenie, w tabeli 7 zamieszczono średnią częstość (%) występowania głównych i drugorzędnych typów cyrkulacji atmosferycznej nad obszarem Polski w okresie 1961–1970.

W obrębie cyrkulacji cyklonalnej są to:

A – typ cyrkulacji zachodniej z maksimum frekwencji we wrześniu, dość częsty również w styczniu;

CB – typ cyrkulacji północno-zachodniej, najczęściej występujący w lipcu a także w grudniu, kiedy to nad obszar Polski napływa ciepłe zimą, a chłodne latem, wilgotne powietrze znad Atlantyku;

Tabela 7. Średnia częstość (%) typów cyrkulacji atmosferycznej. Dane z okresu 1961-1970  
(wg Osuchowskiej-Klein)

Mean frequency (in percentage) of the types of atmospheric circulation, 1961-1970  
(by Osuchowska-Klein)

Miesiąc	Typy główne								Typy drugorzędne
	A	CB	D	B	E <sub>0</sub>	C <sub>2</sub> D	E	E <sub>1</sub>	
I	11,9	9,0	7,4	6,5	8,7	8,7	15,5	14,9	17,4
II	6,4	12,8	10,6	3,9	7,5	9,9	12,4	13,1	23,4
III	8,1	15,5	10,0	4,5	7,4	8,7	11,9	11,6	22,3
IV	8,0	14,0	8,0	5,3	14,0	9,7	12,7	12,7	15,6
V	8,7	9,3	5,2	8,1	16,5	9,7	20,3	5,5	16,7
VI	6,0	9,7	4,0	2,0	9,3	18,7	27,3	4,0	19,0
VII	7,1	22,6	3,9	1,3	7,1	27,1	18,4	4,2	8,3
VIII	11,0	15,5	4,2	4,8	7,7	16,5	21,6	5,5	13,2
IX	14,7	11,7	7,3	3,0	3,3	12,7	10,0	12,7	24,6
X	7,8	8,1	10,0	7,1	2,9	13,2	10,0	13,5	27,4
XI	10,7	11,7	12,7	12,0	5,3	8,7	9,3	13,0	16,6
XII	6,1	21,0	7,7	9,7	4,2	7,5	10,6	8,4	24,8
Rok	8,9	13,4	7,6	5,7	7,8	12,6	15,0	9,9	19,1

Typy cyrkulacji atmosferycznej:

- A - zachodnia cyrkulacja cyklonalna,
- CB - północno-zachodnia cyrkulacja cyklonalna,
- D - południowo-zachodnia cyrkulacja cyklonalna,
- B - południowa cyrkulacja cyklonalna,
- E<sub>0</sub> - północno-wschodnia cyrkulacja cyklonalna,
- C<sub>2</sub>D - zachodnia cyrkulacja antycyklonalna,
- E - północno-wschodnia cyrkulacja antycyklonalna,
- E<sub>1</sub> - południowo-wschodnia i wschodnia cyrkulacja antycyklonalna.

D - stosunkowo rzadko występujący typ cyrkulacji atmosferycznej (z maksimum w listopadzie), przynoszący nad obszar kraju ciepłe powietrze z południo-zachodu;

B - również bardzo rzadko (5,7% dni w roku) pojawiający się typ cyrkulacji południowej, ze słabo zaznaczonym maksimum w listopadzie;

E<sub>0</sub> - typ cyrkulacji północno-wschodniej z maksimum częstości w kwietniu i maju, przynoszący nad obszar Polski chłodne masy powietrza polarnego kontynentalnego.

W obrębie cyrkulacji antycyklonalnej występują najczęściej:

C<sub>2</sub>D - typ cyrkulacji zachodniej, obserwowany na ogół w miesiącach letnich;

E - typ cyrkulacji północno-wschodniej, osiągający wyraźną przewagę nad innymi typami w maju, w czerwcu, a także w styczniu, przynoszący nad obszar kraju stosunkowo suche i chłodne powietrze polarne kontynentalne lub arktyczne i znaczne spadki temperatur (zimą);

E<sub>1</sub> - typ cyrkulacji południowo-wschodniej i wschodniej przynoszący w okresie jesiennym dłuższe okresy rozpozodzeń, który ma również dość znaczny udział w styczniu.

Łącząc wyróżnione wyżej główne typy cyrkulacji z punktu widzenia kierunku napływu i rodzaju mas atmosferycznych w „makrotypy” (Osuchowska-Klein 1973) można stwierdzić, że nad obszar kraju częściej napływa powietrze pochodzenia morskiego z sektora zachodniego (typ A, CB, D, B, C<sub>2</sub>D), niż kontynentalne w cyrkulacji wschodniej (E<sub>0</sub>, E, E<sub>1</sub>), co niesie z sobą określone następstwa pogodowe i warunkuje cechy klimatu Polski.

### 7.3. OCENA BIOKLIMATU POLSKI Z PUNKTU WIDZENIA ZAPOTRZEBOWANIA NA ODZIEŻ O OPTYMALNEJ TERMOIZOLACYJNOŚCI

Jak już wspomniano w rozdziale 5, wskaźnik termoizolacyjności (ciepłochronności) odzieży oznacza wielkość oporu cieplnego odzieży gwarantującej komfort termiczny człowiekowi. Wskaźnik ten, wyrażony w jednostce cło, będący funkcją wielu czynników meteorologicznych i fizjologicznych, może stanowić podstawę oceny bioklimatu Polski w skali lokalnej i regionalnej.

Zbadanie zarówno zmienności sezonowej, jak i rozkładu przestrzennego termoizolacyjnych właściwości odzieży, gwarantującej komfort cieplny człowiekowi, ma znaczenie nie tylko poznawcze, ale również praktyczne. Dostarcza bowiem informacji istotnych dla ludzi, których zawód wymaga długotrwałego przebywania w różnych warunkach środowiska naturalnego. Właściwie dobrana odzież umożliwi zrównoważoną wymianę ciepła między ciałem człowieka a otoczeniem, gwarantuje komfort termiczny i sprzyja właściwym warunkom pracy i odpoczynku w środowisku naturalnym.

Procedura wyznaczania średnich miesięcznych wartości wskaźnika termoizolacyjności odzieży (w cło) z równania bilansu cieplnego (14) polegała na równoważeniu zysków i strat ciepła przy temperaturze skóry człowieka (T<sub>s</sub>) oznaczającej stan komfortu termicznego. Wzięto tu pod uwagę fakt, że w wyniku procesów adaptacyjnych do niskich i wysokich temperatur otoczenia następują sezonowe zmiany T<sub>s</sub>, i to także w zakresie wartości opisujących komfort (Klonowicz, Kozłowski 1970). Przyjęto zatem, że w półroczu chłodnym (XI–IV) komfort termiczny człowieka jest określony średnią ważoną temperaturą skóry człowieka – 32,0° C, a w półroczu ciepłym – 33,0° C (Liopo, Cicenکو 1971).

W obliczeniach nie brano natomiast pod uwagę sezonowych zmian adaptacyjnych w odniesieniu do drugiego stałego czynnika w równaniu bilansu cieplnego (14), to znaczy strumienia ciepła wytwarzanego metabolicznie (M), gdyż zmiany te, jak już wspomniano w rozdziale 4.2, są niewielkie i mogą być pominięte. Chcąc uwzględnić w modelu bilansu cieplnego różną aktywność fizyczną człowieka, wykorzystano dowiedzioną badaniami fizjologicznymi zależność pomiędzy rodzajem aktywności fizycznej a ilością ciepła wytwarzanego metabolicznie (tab. 3). A zatem średnie miesięczne i roczne wartości wskaźnika termoizolacyjności odzieży (w cło) o godzinie 13<sup>00</sup> wyznaczono dla:

– człowieka stojącego, to znaczy przy małym wysiłku fizycznym i poziomie metabolizmu  $70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ,

– człowieka spacerującego z prędkością  $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  (umiarkowany wysiłek fizyczny), wówczas  $M = 174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . W tym przypadku należało jeszcze wziąć pod uwagę, że względna prędkość człowieka w nieruchomym powietrzu wynosi  $1,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

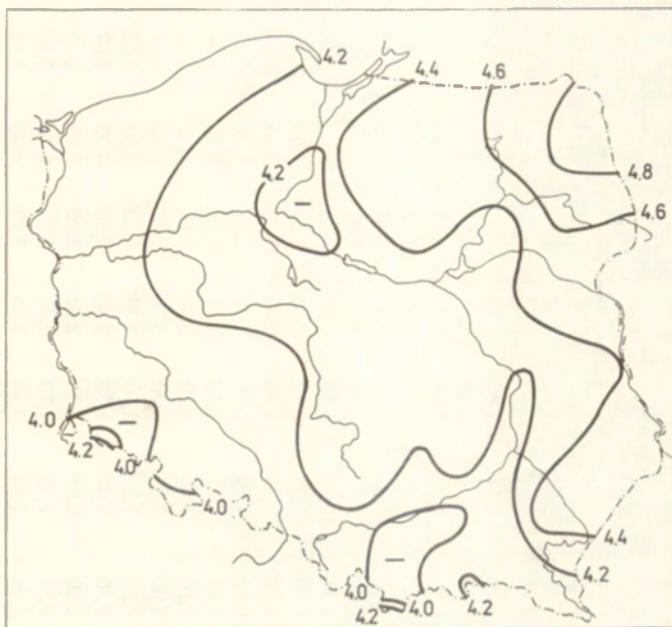
### 7.3.1. ROZKŁAD SEZONOWY I PRZESTRZENNY WSKAŹNIKA TERMOIZOLACYJNOŚCI ODZIEŻY GWARANTUJĄCEJ KOMFORT TERMICZNY CZŁOWIEKOWI PRZY MAŁYM WYSIŁKU FIZYCZNYM

Analizując sezonową zmienność i rozkład geograficzny wskaźnika termoizolacyjności odzieży szukano odpowiedzi na pytanie: jakie typy odzieży są człowiekowi niezbędne w poszczególnych miesiącach roku, w różnych warunkach fizycznogeograficznych Polski, aby jego wymiana ciepła była zrównoważona, a odczucia termiczne komfortowe?

Do praktycznej interpretacji uzyskanych wyników służą dane zamieszczone w tabeli 5. Przypomnieć warto, że przyjęta typologia zestawów odzieży na podstawie ich izolacyjności cieplnej obejmuje: trzy typy odzieży letniej (bardzo lekka, lekka, zwykła), odzież sezonów przejściowych oraz trzy typy odzieży zimowej (lekka, zwykła, ciężka (arktyczna)).

Oceniając warunki bioklimatyczne Polski z punktu widzenia zapotrzebowania na odzież o optymalnych właściwościach termoizolacyjnych można zauważyć (tab. 8), że w miesiącach zimowych (XII, I, II), w godzinach okołopołudniowych, człowiekowi stojącemu (w pozycji rozluźnionej) niezbędna jest odzież charakteryzująca się wysokimi własnościami ciepłochronnymi. W styczniu powinien on być zaopatrzony w odzież o oporze cieplnym od 3,90 (Zakopane, Rabka, Jelenia Góra) do 5,30 clo (Śnieżka), co oznacza, że o ile na znacznym obszarze kraju do zagwarantowania komfortu termicznego wystarcza człowiekowi zwykła odzież zimowa, o tyle na szczytach Tatr i Sudetów oraz w Polsce północno-wschodniej niezbędna jest odzież ciężka (arktyczna). Równie wysoka ciepłochronność wymagana jest w grudniu i lutym.

Izolinie clo mają w styczniu przebieg południkowy (ryc. 5). Oznacza to, że ciepłochronność odzieży musi zwiększać się z zachodu na północo-wschód, co może świadczyć o decydującej roli adwekcji chłodnych mas powietrza kontynentalnego w kształtowaniu warunków bioklimatycznych Polski w tym miesiącu. Najniższą w ciągu roku ciepłochłonność odzieży notuje się w lipcu (0,90–1,50 clo) na obszarze prawie całego kraju, z wyjątkiem Pobrzeży Południowobałtyckich, Karpat, Sudetów i ich pogórzy, gdzie roczne minimum wartości przyjętego wskaźnika występuje w sierpniu. Oceniając okres letni (VI–VIII) z punktu widzenia zapotrzebowania na odzież o optymalnych dla człowieka właściwościach termoizolacyjnych należy zauważyć, że na obszarze całego kraju (przy małym wysiłku fizycznym) niezbędna jest zwykła odzież letnia z dodatkami podwyższającymi jej ciepłochronność. Oczywiście na Kasprowym Wierchu i na Śnieżce nawet latem nieodzowna jest zwykła odzież zimowa.



Ryc. 5. Wskaźnik termoizolacyjności odzieży gwarantującej komfort cieplny człowiekowi (w clo) przy małym wysiłku fizycznym ( $M = 70 \text{ W m}^{-2}$ ), STYCZEŃ. Wartości średnie z okresu 1961–1970, II termin obserwacyjny

Insulation of clothing (clo values) required for thermal comfort of man in standing posture ( $M = 70 \text{ W m}^{-2}$ ), JANUARY. Mean values (1961–1970), 13<sup>00</sup> official time

Rozkład przestrzenny wskaźnika termoizolacyjności odzieży w lipcu (ryc. 6) jest bardziej skomplikowany niż w styczniu. Na Pobrzeżach Południowobałtyckich, gdzie w lipcu obserwuje się najwyższe wymagania cieplne stawiane odzieży ( $\text{clo} > 1,30$ ), oraz w Karpatach Zachodnich i Sudetach izoliny mają przebieg równoleżnikowy. Na pozostałym obszarze kraju – południkowy, co może wskazywać, że warunki bioklimatyczne, rozpatrywane z punktu widzenia wymiany ciepła między ciałem człowieka a otoczeniem, kształtowane są w lipcu zarówno przez czynnik radiacyjny, jak i adwekcyjny. W tym miesiącu zaznacza się z jednej strony uprzywilejowanie pod względem natężenia promieniowania pochłoniętego przez powierzchnię ciała człowieka północnej części kraju, z drugiej zaś, w lipcu obserwuje się największą w roku częstość północno-zachodniej (typ CB) i zachodniej (typ  $C_2D$ ) cyrkulacji, niosącej nad obszar Polski chłodne masy powietrza (tab. 7).

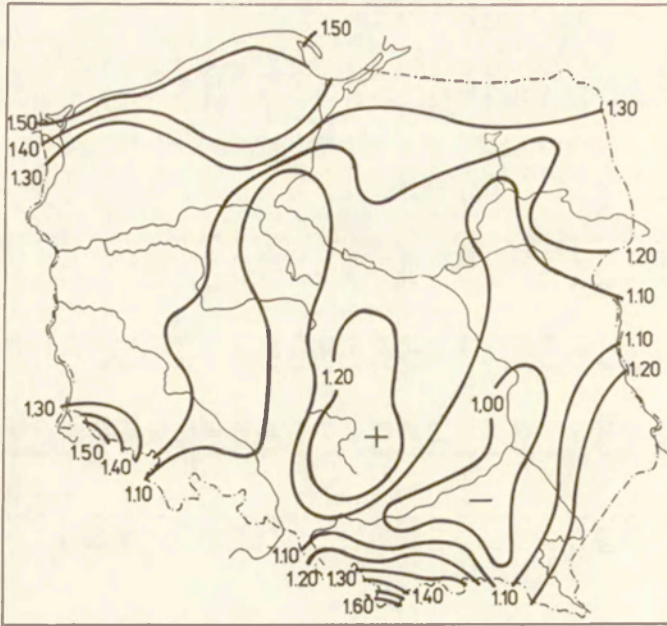
Porównując okres wiosenny (III–V) i jesienny (IX–XI) zauważyć można uprzywilejowanie tego ostatniego, przy czym korzystnie pod względem rozpatrywanego wskaźnika bioklimatycznego wyróżnia się wrzesień. Ciepłochronność odzieży gwarantującej komfort cieplny jest wtedy wyraźnie mniejsza niż w poszczególnych miesiącach wiosennych i pozostałych jesiennych. Przyczyny tego należy szukać w dynamicznych uwarunkowaniach bioklimatu Polski. Miesiące wczesnojesienne są bowiem uprzywilejowanie nie tyle pod względem

Tabela 8. Wskaźnik termoizolacyjności odzieży gwarantującej komfort cieplny człowiekowi (w clo) przy małym wysiłku fizycznym ( $M = 70 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Wartości średnie z okresu 1961-1970, II termin obserwacyjny

Insulation of clothing (clo values) required for thermal comfort of man in standing posture ( $M = 70 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Mean values 1961-1970, 13<sup>oo</sup> official time

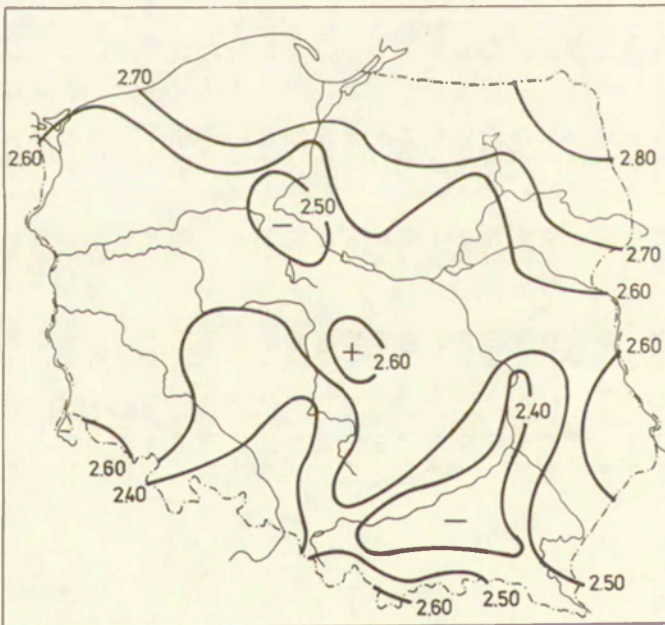
Nazwa stacji	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Aleksandrowice	4,10	3,80	3,30	2,20	2,00	1,37	1,22	1,32	1,60	2,30	3,10	4,00	2,53
Białowieża	4,50	4,30	3,50	2,40	1,90	1,30	1,21	1,30	1,70	2,60	3,50	4,30	2,71
Biebrza-Pieńczyków	4,80	4,40	3,50	2,50	2,00	1,30	1,20	1,31	1,80	2,60	3,50	4,40	2,78
Busko-Zdrój	4,20	3,80	3,20	2,10	1,80	1,17	1,04	1,12	1,45	2,20	3,00	4,00	2,42
Bydgoszcz IMUZ	4,00	3,80	3,20	2,10	1,80	1,10	1,05	1,10	1,40	2,30	3,10	4,00	2,41
Chełm Lubelski	4,50	4,20	3,50	2,40	2,00	1,32	1,25	1,22	1,65	2,40	3,30	4,30	2,67
Chojnice	4,30	4,10	3,50	2,40	2,10	1,40	1,40	1,40	1,80	2,60	3,50	4,20	2,72
Ciechocinek	4,10	4,00	3,20	2,20	1,80	1,10	1,00	1,05	1,50	2,30	3,20	4,00	2,45
Cieszyn-Bobrek	4,00	3,60	3,10	2,10	1,80	1,27	1,09	1,15	1,40	2,10	2,90	3,70	2,35
Gdynia	4,20	4,00	3,50	2,80	2,50	1,70	1,55	1,50	1,80	2,50	3,30	4,00	2,78
Gorzów Wielkopolski	4,10	3,90	3,20	2,30	2,00	1,30	1,20	1,20	1,60	2,40	3,20	4,00	2,53
Hel	4,20	4,00	3,30	2,50	2,20	1,50	1,32	1,30	1,70	2,40	3,30	3,90	2,64
Iwonicz-Zdrój	4,10	3,70	3,10	1,90	1,70	1,15	0,90	1,00	1,30	2,10	2,90	4,00	2,32
Jelenia Góra	3,90	3,60	3,20	2,40	2,10	1,46	1,44	1,37	1,70	2,30	3,10	3,90	2,54
Kalisz	4,10	3,80	3,20	2,10	1,80	1,20	1,10	1,09	1,50	2,30	3,10	4,00	2,44
Kasprowy Wierch	5,20	5,10	4,80	3,80	3,70	3,10	3,00	3,00	3,20	3,70	4,40	5,10	4,01
Katowice	4,20	3,90	3,30	2,20	1,90	1,30	1,20	1,25	1,60	2,30	3,00	4,00	2,52
Kołobrzeg	4,00	3,80	3,20	2,70	2,40	1,70	1,50	1,48	1,70	2,40	3,10	4,00	2,67
Kraków-Obs. Astr.	4,00	3,70	2,90	2,00	1,70	1,10	1,00	0,95	1,30	2,00	2,80	3,80	2,27
Krynica	4,30	4,10	3,30	2,30	2,10	1,50	1,33	1,36	1,80	2,40	3,10	4,20	2,65
Laskowice Oławskie	4,10	3,80	3,20	2,10	1,80	1,25	1,15	1,20	1,50	2,30	3,10	4,00	2,46
Lądek Zdrój	4,00	3,60	3,00	2,00	1,80	1,20	1,05	1,10	1,40	2,10	3,00	3,90	2,35
Lesko	4,20	3,90	3,30	2,20	1,90	1,45	1,20	1,20	1,55	2,30	3,00	4,10	2,52
Leszno-Strzyżewice	4,10	3,90	3,20	2,30	1,90	1,30	1,20	1,30	1,50	2,40	3,10	4,10	2,52
Łódź-Lublinek	4,30	4,00	3,50	2,30	2,00	1,40	1,28	1,35	1,70	2,50	3,30	4,20	2,65
Mikołajki	4,60	4,20	3,50	2,50	2,00	1,40	1,30	1,35	1,80	2,60	3,50	4,40	2,76

Muszyna	4,10	3,50	3,00	2,00	1,80	1,30	1,10	1,00	1,40	2,00	2,80	4,00	2,33
Opole	4,10	3,70	3,10	2,00	1,70	1,15	1,10	1,10	1,40	2,20	2,90	4,00	2,37
Ostrołęka	4,40	4,20	3,30	2,20	1,80	1,06	1,04	1,10	1,50	2,40	3,40	4,20	2,55
Polanica-Zdrój	4,00	3,60	3,00	2,10	1,80	1,30	1,00	1,10	1,30	2,10	3,00	3,90	2,35
Poświętne	4,40	4,00	3,30	2,30	1,90	1,23	1,15	1,18	1,60	2,40	3,30	4,20	2,58
Poznań-Lawica	4,30	3,90	3,20	2,40	2,00	1,30	1,25	1,30	1,60	2,40	3,30	4,10	2,59
Prabuty	4,40	4,10	3,30	2,50	2,00	1,25	1,23	1,30	1,60	2,50	3,40	4,20	2,65
Puławy	4,20	3,90	3,20	2,10	1,70	1,05	0,95	0,97	1,30	2,20	3,10	4,00	2,39
Rabka	3,90	3,50	3,10	2,20	1,90	1,40	1,19	1,17	1,40	1,90	2,90	3,80	2,36
Resko	4,10	3,80	3,20	2,30	1,90	1,21	1,19	1,14	1,50	2,30	3,20	4,00	2,49
Rzeszów-Jasionka	4,40	4,00	3,40	2,10	1,80	1,18	1,07	1,12	1,50	2,30	3,10	4,20	2,51
Sinoleka	4,40	4,10	3,40	2,30	1,80	1,18	1,10	1,18	1,50	2,40	3,40	4,20	2,58
Skierzwice	4,40	4,10	3,40	2,20	1,90	1,20	1,15	1,20	1,60	2,40	3,30	4,20	2,59
Skroniów	4,20	4,10	3,30	2,20	1,90	1,30	1,15	1,20	1,60	2,40	3,20	4,10	2,56
Sobieszyn	4,30	4,00	3,40	2,20	1,70	1,12	1,05	1,13	1,50	2,35	3,20	4,10	2,50
Suwałki	4,80	4,40	3,70	2,60	2,10	1,40	1,35	1,40	1,90	2,70	3,70	4,40	2,87
Szczawno-Zdrój	4,10	3,90	3,20	2,30	2,10	1,38	1,25	1,34	1,60	2,30	3,10	4,10	2,56
Szczecin-Dąbie	4,20	4,00	3,20	2,30	1,90	1,26	1,25	1,23	1,60	2,40	3,20	3,80	2,53
Szepietowo	4,60	4,30	3,50	2,40	1,90	1,25	1,23	1,28	1,70	2,60	3,40	4,30	2,70
Śnieżka	5,30	5,00	4,70	4,00	3,80	3,20	3,00	3,20	3,40	3,90	4,40	5,10	4,08
Świbno	4,30	4,10	3,50	2,70	2,30	1,60	1,40	1,40	1,70	2,50	3,30	4,10	2,74
Świnoujście	4,20	3,80	3,30	2,70	2,40	1,90	1,50	1,45	1,70	2,40	3,20	4,00	2,71
Tarnów	4,00	3,80	3,20	2,00	1,70	1,15	1,00	1,01	1,40	2,10	2,90	4,00	2,36
Terespół	4,50	4,10	3,50	2,30	1,80	1,18	1,08	1,12	1,60	2,40	3,30	4,20	2,59
Topola-Błonie	4,40	4,10	3,40	2,20	1,90	1,24	1,15	1,21	1,60	2,40	3,30	4,20	2,59
Ustka	4,10	3,90	3,40	2,70	2,50	1,80	1,55	1,45	1,70	2,40	3,20	4,00	2,72
Warszawa-Bielany	4,20	4,00	3,30	2,20	1,80	1,20	1,15	1,15	1,50	2,30	3,20	4,10	2,51
Wieluń	4,20	3,80	3,10	2,00	1,70	1,17	1,04	1,10	1,40	2,20	3,10	4,00	2,40
Włodawa	4,40	4,10	3,40	2,20	1,80	1,17	1,05	1,12	1,50	2,40	3,30	4,30	2,56
Zakopane	3,90	3,60	3,20	2,30	2,20	1,65	1,53	1,48	1,70	2,20	3,00	3,80	2,55
Zgorzelec	4,10	3,80	3,20	2,30	2,00	1,40	1,24	1,33	1,70	2,30	3,20	4,00	2,55



Ryc. 6. Wskaźnik termoizolacyjności odzieży gwarantującej komfort cieplny człowiekowi (w clo) przy małym wysiłku fizycznym ( $M = 70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ), LIPIEC. Wartości średnie z okresu 1961–1970, II termin obserwacyjny

Insulation of clothing (clo values) required for thermal comfort of man in standing posture ( $M = 70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ), JULY. Mean values (1961–1970), 13<sup>00</sup> official time



Ryc. 7. Wskaźnik termoizolacyjności odzieży gwarantującej komfort cieplny człowiekowi (w clo) przy małym wysiłku fizycznym ( $M = 70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ), ROK. Wartości średnie z okresu 1961–1970, II termin obserwacyjny

Insulation of clothing (clo values) required for thermal comfort of man in standing posture ( $M = 70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Mean annual (1961–1970), 13<sup>00</sup> official time



częstości antycyklonalnych typów cyrkulacji zarówno zachodnich ( $C_2D$ ), jak i południowo-wschodnich ( $E_1$ ), niosących pogodę o małym zachmurzeniu i dość wysokich temperaturach, ile pod względem frekwencji drugorzędnych typów cyrkulacji, wśród których znajdują się takie, które przynoszą z południa masy powietrza zwrotnikowego.

Średnie roczne wartości wskaźnika termoizolacyjności odzieży rosną z południa na północo-wschód kraju (ryc. 7). Różnica między najwyższą (poza górami) a najniższą średnią roczną wartością tego wskaźnika zawiera się w przedziale od 2,87 (Suwałki) do 2,27 clo (Kraków). Taki kierunek zmian badanego wskaźnika nawiązuje do kierunku wzrostu kontynentalizmu klimatu Polski.

### 7.3.2. ROZKŁAD SEZONOWY I PRZESTRZENNY WSKAŹNIKA TERMOIZOLACYJNOŚCI ODZIEŻY GWARANTUJĄCEJ KOMFORT CIEPLNY CZŁOWIEKOWI PRZY UMIARKOWANYM WYSILKU FIZYCZNYM

Śledząc zmiany sezonowe i przestrzenne wskaźnika termoizolacyjności odzieży, wyznaczonego przy założeniu, że człowiek porusza się w terenie z prędkością  $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , trzeba mieć na uwadze, że metaboliczne wytwarzanie ciepła przy takiej aktywności fizycznej wzrasta do  $174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , czyli o blisko 150% w porównaniu z ilością produkowaną przez człowieka w pozycji stojącej. W takiej sytuacji komfortowe odczucia termiczne mogą być zachowane za pomocą odzieży o znacznie mniejszej termoizolacyjności. Ponadto względny ruch powietrza na skutek poruszania się człowieka zmniejsza opór cieplny odzieży (Lee, Lemons 1949).

W godzinach okołopołudniowych miesięcy zimowych, na obszarze całego kraju (poza górami) człowiekowi poruszającemu się z prędkością  $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  wystarczy do utrzymania komfortu termicznego zwykła odzież letnia z dodatkami podwyższającymi jej termoizolacyjność lub odzież sezonów przejściowych ( $1,60 > \text{clo} > 0,83$ ). W okresie letnim natomiast, do tego samego celu wystarczy bardzo lekka odzież letnia o oporze cieplnym  $< 0,5 \text{ clo}$ . I podobnie, jak to miało miejsce w przypadku człowieka w postawie stojącej, mniejsze wartości tego wskaźnika obserwowane są jesienią niż wiosną (tab. 9).

Rozkład przestrzenny wskaźnika termoizolacyjności odzieży w styczniu (ryc. 8), w lipcu (ryc. 9) oraz średnio w roku (ryc. 10) jest mniej zróżnicowany niż opisany w poprzednim podrozdziale, a dotyczący człowieka stojącego. Jednakże w obu przypadkach kierunek przebiegu izolinii i tendencja zmian ciepłochronności odzieży pod wpływem czynników środowiska atmosferycznego (w tym radiacyjnych i cyrkulacyjnych), a także czynników fizjologicznych są takie same.

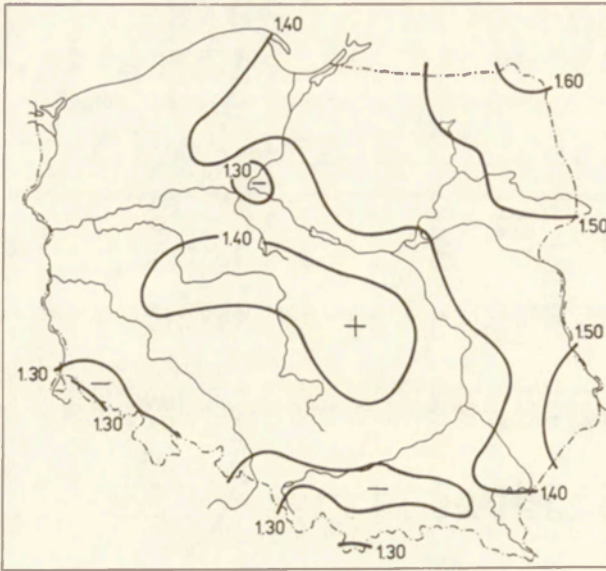
Porównując wartości badanego wskaźnika dla obu rodzajów aktywności fizycznej (małej i umiarkowanej) trzeba zauważyć, że podczas większej aktywności fizycznej człowieka (szybki spacer) równowaga zysków i strat ciepła oraz stan komfortu termicznego zostają osiągnięte przy oporze cieplnym odzieży mniejszym niż przy niewielkim wysiłku fizycznym (w miesiącach zimowych o 2–3 clo i o 0,8–1,0 clo w okresie od czerwca do sierpnia). Natomiast

Tabela 9. Wskaźnik termoizolacyjności odzieży gwarantującej komfort cieplny człowiekowi (w clo) przy umiarkowanym wysiłku fizycznym ( $M = 174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Wartości średnie z okresu 1961–1970, II termin obserwacyjny

Insulation of clothing (clo values) required for thermal comfort of walking man ( $M = 174 \text{ W m}^{-2}$ ). Mean values 1961–1970, 13<sup>00</sup> official time

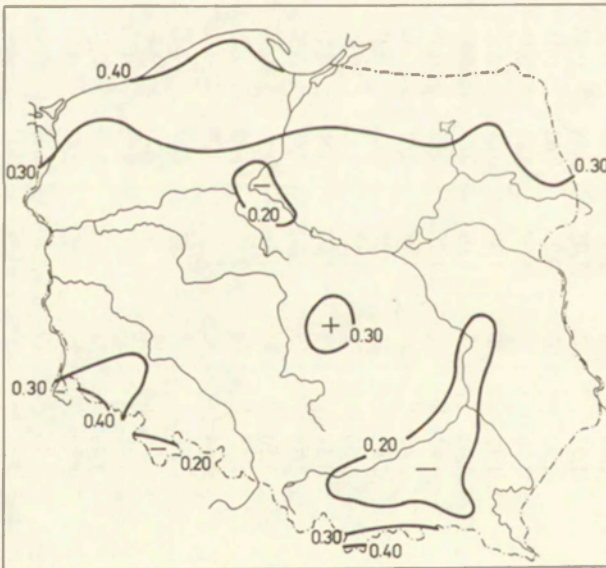
Nazwa stacji	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Aleksandrowice	1,33	1,20	1,05	0,65	0,56	0,32	0,26	0,31	0,40	0,67	0,95	1,30	0,75
Białowieża	1,50	1,40	1,13	0,72	0,52	0,31	0,27	0,31	0,45	0,80	1,10	1,40	0,83
Biebrza-Pieńczyków	1,52	1,42	1,15	0,75	0,57	0,33	0,29	0,31	0,50	0,82	1,13	1,45	0,85
Busko-Zdrój	1,32	1,20	1,02	0,62	0,49	0,26	0,21	0,24	0,36	0,65	0,94	1,25	0,71
Bydgoszcz IMUZ	1,22	1,16	0,97	0,58	0,46	0,19	0,18	0,19	0,32	0,64	0,94	1,23	0,67
Chełm Lubelski	1,50	1,40	1,17	0,72	0,58	0,33	0,29	0,31	0,46	0,75	1,10	1,40	0,83
Chojnice	1,45	1,32	1,12	0,75	0,62	0,35	0,35	0,35	0,50	0,82	1,10	1,40	0,84
Ciechocinek	1,34	1,25	1,02	0,63	0,48	0,22	0,19	0,20	0,35	0,66	1,09	1,29	0,73
Cieszyn-Bobrek	1,25	1,12	0,95	0,59	0,48	0,28	0,22	0,23	0,33	0,60	0,90	1,15	0,68
Gdynia	1,40	1,34	1,14	0,89	0,76	0,47	0,42	0,40	0,53	0,79	1,08	1,30	0,88
Gorzów Wielkopolski	1,32	1,22	1,00	0,68	0,56	0,30	0,27	0,28	0,40	0,70	1,03	1,28	0,75
Hel	1,35	1,30	1,05	0,78	0,63	0,38	0,32	0,30	0,46	0,75	1,06	1,30	0,81
Iwonicz-Zdrój	1,28	1,17	0,95	0,50	0,40	0,20	0,10	0,13	0,26	0,53	0,85	1,24	0,63
Jelenia Góra	1,25	1,15	1,05	0,73	0,64	0,37	0,37	0,32	0,45	0,70	0,98	1,25	0,77
Kalisz	1,32	1,18	1,00	0,60	0,50	0,25	0,21	0,24	0,36	0,65	1,00	1,30	0,72
Kasproy Wierch	1,75	1,72	1,60	1,25	1,21	0,98	0,94	0,94	1,03	1,24	1,47	1,73	1,32
Katowice	1,35	1,23	1,05	0,64	0,54	0,32	0,27	0,28	0,42	0,69	0,97	1,33	0,76
Kołobrzeg	1,30	1,20	1,05	0,83	0,72	0,48	0,37	0,37	0,47	0,74	0,99	1,28	0,82
Kraków-Obs. Astr.	1,28	1,15	0,90	0,56	0,44	0,23	0,16	0,14	0,27	0,54	0,83	1,20	0,64
Krynica	1,40	1,30	1,02	0,66	0,59	0,36	0,31	0,33	0,47	0,69	0,97	1,33	0,79
Laskowice Oławskie	1,30	1,23	1,02	0,63	0,52	0,29	0,25	0,26	0,38	0,68	0,99	1,30	0,74
Lądek-Zdrój	1,22	1,11	0,88	0,52	0,41	0,18	0,13	0,15	0,29	0,55	0,90	1,20	0,63
Lesko	1,35	1,25	1,05	0,65	0,55	0,35	0,27	0,27	0,40	0,68	0,96	1,34	0,76
Leszno-Strzyżewice	1,40	1,25	1,05	0,69	0,58	0,33	0,29	0,33	0,42	0,72	1,01	1,32	0,78
Łódź-Lublinek	1,43	1,31	1,13	0,72	0,60	0,36	0,34	0,36	0,48	0,77	1,08	1,40	0,83
Mikołajki	1,47	1,40	1,18	0,79	0,60	0,35	0,33	0,35	0,46	0,83	1,12	1,41	0,86

Muszyna	1,23	1,07	0,91	0,55	0,45	0,25	0,18	0,15	0,29	0,53	0,85	1,18	0,64
Opole	1,33	1,17	0,95	0,57	0,47	0,25	0,21	0,22	0,33	0,61	0,91	1,25	0,69
Ostrołęka	1,45	1,31	1,05	0,67	0,48	0,22	0,21	0,21	0,37	0,70	1,07	1,35	0,76
Polanica-Zdrój	1,20	1,10	0,90	0,58	0,48	0,26	0,15	0,16	0,26	0,55	0,87	1,21	0,64
Poświętne	1,43	1,35	1,10	0,70	0,53	0,29	0,25	0,27	0,42	0,72	1,05	1,35	0,79
Poznań-Ławica	1,40	1,30	1,06	0,75	0,60	0,33	0,31	0,33	0,45	0,75	1,05	1,35	0,81
Prabuty	1,45	1,35	1,07	0,75	0,59	0,31	0,30	0,32	0,42	0,76	1,10	1,41	0,82
Puławy	1,32	1,22	1,01	0,58	0,43	0,18	0,14	0,14	0,27	0,61	0,94	1,22	0,67
Rabka	1,20	1,09	0,96	0,62	0,51	0,31	0,24	0,23	0,32	0,52	0,85	1,17	0,67
Resko	1,30	1,18	1,00	0,68	0,53	0,26	0,25	0,22	0,37	0,68	1,00	1,27	0,73
Rzeszów-Jasionka	1,42	1,30	1,08	0,64	0,52	0,26	0,23	0,25	0,39	0,70	1,00	1,40	0,77
Sinoleka	1,42	1,33	1,08	0,67	0,48	0,25	0,22	0,26	0,38	0,70	1,08	1,38	0,77
Skierzwice	1,42	1,32	1,10	0,68	0,53	0,29	0,27	0,28	0,43	0,72	1,05	1,35	0,79
Skroniów	1,40	1,30	1,08	0,65	0,52	0,30	0,26	0,27	0,42	0,70	1,02	1,35	0,77
Sobieszyn	1,40	1,30	1,06	0,65	0,45	0,21	0,19	0,23	0,39	0,70	1,03	1,33	0,74
Suwałki	1,60	1,48	1,20	0,83	0,61	0,38	0,35	0,37	0,55	0,88	1,20	1,50	0,91
Szcza wno-Zdrój	1,34	1,21	1,00	0,66	0,57	0,31	0,26	0,29	0,39	0,67	0,98	1,30	0,75
Szczecin-Dąbie	1,35	1,27	1,00	0,70	0,57	0,31	0,30	0,28	0,42	0,73	1,02	1,20	0,76
Szepietowo	1,50	1,38	1,10	0,70	0,54	0,29	0,29	0,31	0,46	0,77	1,10	1,42	0,82
Śnieżka	1,85	1,78	1,63	1,35	1,29	1,07	1,03	1,07	1,15	1,32	1,55	1,80	1,41
Świbno	1,44	1,32	1,10	0,83	0,72	0,46	0,38	0,36	0,50	0,78	1,06	1,34	0,86
Świnoujście	1,33	1,23	1,05	0,85	0,73	0,55	0,40	0,38	0,46	0,74	1,02	1,28	0,84
Tarnów	1,30	1,18	0,98	0,56	0,44	0,23	0,17	0,16	0,31	0,57	0,87	1,27	0,67
Terespol	1,48	1,35	1,10	0,68	0,50	0,27	0,23	0,24	0,42	0,75	1,07	0,37	0,79
Topola-Blonie	1,45	1,35	1,12	0,68	0,56	0,29	0,25	0,28	0,43	0,75	1,05	1,38	0,80
Ustka	1,32	1,25	1,10	0,85	0,77	0,51	0,42	0,38	0,47	0,74	1,03	1,29	0,84
Warszawa-Bielany	1,36	1,29	1,06	0,64	0,49	0,26	0,24	0,25	0,38	0,69	1,02	1,33	0,75
Wieluń	1,33	1,20	0,98	0,57	0,47	0,25	0,19	0,22	0,32	0,64	0,97	1,30	0,70
Włodawa	1,48	1,36	1,10	0,65	0,51	0,27	0,22	0,25	0,40	0,75	1,05	1,40	0,79
Zakopane	1,15	1,10	1,00	0,66	0,61	0,41	0,36	0,33	0,42	0,60	0,90	1,15	0,72
Zgorzelec	1,35	1,20	1,02	0,68	0,59	0,35	0,28	0,32	0,46	0,71	1,01	1,32	0,77



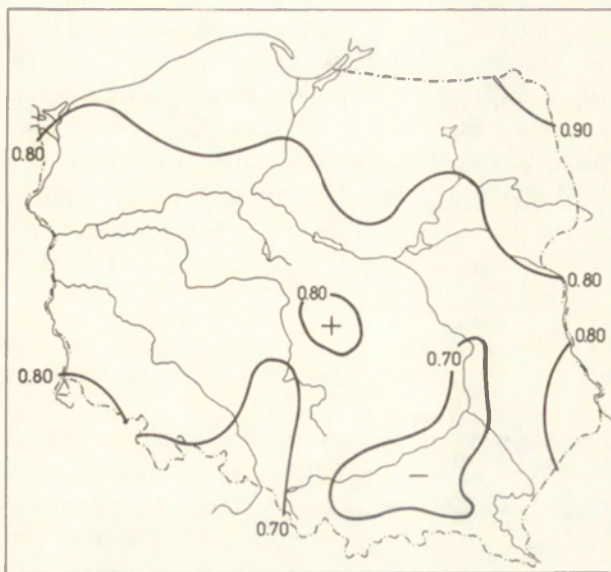
Ryc. 8. Wskaźnik termoizolacyjności odzieży gwarantującej komfort cieplny człowiekowi (w clo) przy umiarkowanym wysiłku fizycznym ( $M = 174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ), STYCZEŃ. Wartości średnie z okresu 1961–1970, II termin obserwacyjny

Insulation of clothing (clo values) required for thermal comfort of walking man ( $M = 174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ), JANUARY. Mean values (1961–1970), 13<sup>00</sup> official time



Ryc. 9. Wskaźnik termoizolacyjności odzieży gwarantującej komfort cieplny człowiekowi (w clo) przy umiarkowanym wysiłku fizycznym ( $M = 174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ), LIPIEC. Wartości średnie z okresu 1961–1970, II termin obserwacyjny

Insulation of clothing (clo values) required for thermal comfort of walking man ( $M = 174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ), JULY. Mean values (1961–1970), 13<sup>00</sup> official time



Ryc. 10. Wskaźnik termoizolacyjności odzieży gwarantującej komfort cieplny człowiekowi (w clo), przy umiarkowanym wysiłku fizycznym ( $M = 174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ), ROK. Wartości średnie z okresu 1961–1970, II termin obserwacyjny

Insulation of clothing (clo values) required for thermal comfort of walking man ( $M = 174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Mean annual (1961–1970), 13<sup>00</sup> official time

w partiach szczytowych Tatr i Sudetów obniżenie termoizolacyjności odzieży spowodowane wzrostem aktywności fizycznej i metabolizmu (od 70 do 174  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) wynosi od 2,0 do 3,5 clo, niezależnie od pory roku.

Porównując uzyskane wyniki z badaniami innych autorów warto przytoczyć dane N. V. Gvasaliji (1986) z terytorium Gruzji. Stwierdziła ona zmniejszenie termoizolacyjności odzieży (w tym samym zakresie co w tej pracy) przy zwiększonym wysiłku fizycznym od 1,0–1,5 clo w styczniu do 0,3–0,6 w lipcu. Oczywiście różnice wartości otrzymane dla Gruzji i Polski mają swoje źródło w odmiennych warunkach klimatycznych obu krajów. Zarówno N. V. Gvasalija, jak i autorka stosowały bowiem ten sam model bilansu cieplnego ciała człowieka. Porównywanie bezwzględnych wartości wskaźnika termoizolacyjności z danymi uzyskanymi przez innych autorów wydaje się niecelowe z uwagi na różne okresy obserwacyjne materiałów wyjściowych i odmienną metodykę obliczeń. Warto jedynie zauważyć, że w opracowaniu T. N. Liopo i G. V. Cicenکو (1971), opartym również na modelu M. I. Budyko, zamieszczono mapy rozkładu wskaźnika termoizolacyjnych właściwości odzieży dla całego b. Związku Radzieckiego, w tym i dla terenów graniczących z Polską. Pomimo niewielkich różnic w wartościach bezwzględnych, uzyskano zgodność przebiegu izolinii clo na obszarach przygranicznych obu krajów.

Istnieją tylko dwa opracowania poruszające zagadnienie termoizolacyjności odzieży dotyczące terenu Polski: M. Gregorczyka (1967b) i J. Skrzypskiego

(1989), przy czym mapy rozkładu wskaźnika izolacyjności cieplnej daje tylko drugi z autorów. Ze względu jednak na odmienną metodykę obliczeń (nieuwzględnienie wpływu promieniowania słonecznego, inną wielkość metabolizmu) oraz inny okres obserwacyjny (1951–1960), porównanie wartości bezwzględnych wskaźnika termoizolacyjności odzieży z danymi uzyskanymi przez J. Skrzypskiego nie jest możliwe. Na mapach Skrzypskiego i autorki można natomiast zauważyć podobną tendencję wzrostu wymagań cieplnych stawianych odzieży w miarę przesuwania się z zachodu na wschód Polski.

#### 7.4. STRUKTURA BILANSU CIEPLNEGO CIAŁA CZŁOWIEKA W STANIE KOMFORTU TERMICZNEGO I JEJ TYPOLOGIA

Kształtowanie się wymiany ciepła między ciałem człowieka a otoczeniem w warunkach komfortu termicznego (który gwarantuje odzież o odpowiedniej termoizolacji) przedstawiono za pomocą struktury bilansu cieplnego. Pod pojęciem tym należy rozumieć wyrażony w procentach stosunek bezwzględnych wartości strumieni ciepła ( $W \cdot m^{-2}$ ) traconego przez ciało człowieka ( $P$ ,  $LE$ ,  $RI$ ,  $B$ ) do ilości, jaką on dysponuje w wyniku pochłaniania promieniowania słonecznego i procesów metabolicznych ( $R_k + M$ ). Stosunek ten wyraża wielkość względnych strat ciepła lub udział poszczególnych strumieni w bilansie cieplnym ciała człowieka. Posługiwanie się wartościami względnymi gwarantuje porównywalność wyników i ułatwia ich interpretację. Struktura bilansu cieplnego informuje o sposobach odprowadzania ciepła z ustroju człowieka w różnych warunkach środowiska geograficznego Polski. Dalej rozpatrywane będą średnie miesięczne i roczne wartości:

$P/(R_k + M)$  – jako udział strat ciepła jawnego w bilansie cieplnym ciała człowieka,

$LE/(R_k + M)$  – jako udział strat ciepła utajonego związanego z parowaniem wody z powierzchni ciała człowieka,

$RI/(R_k + M)$  – jako udział ciepła związanego z promieniowaniem długofalowym z powierzchni ciała człowieka,

$B/(R_k + M)$  – jako udział ciepła związanego z procesem oddychania.

W warunkach stacjonarnych, gdy wymiana ciepła na powierzchni ciała człowieka jest zrównoważona,  $P/(R_k + M) + LE/(R_k + M) + RI/(R_k + M) + B/(R_k + M) = 100\%$ .

Związki ilościowe między względnymi wartościami wymienionych form wymiany energii są natomiast podstawą typologii struktury bilansu cieplnego ciała człowieka. Podział typologiczny został sporządzony z punktu widzenia dominującego mechanizmu wymiany ciepła.

Analiza uzyskanych wyników (średnie miesięczne i roczne wartości z II terminu obserwacyjnego dla 57 stacji) wykazała, że w strukturze strat dominował zawsze turbulencyjny strumień ciepła jawnego. W takiej sytuacji uznano, że mamy do czynienia z grupą typów konwekcyjnych (A) struktury bilansu cieplnego ciała człowieka. Następnie skonstruowano podział tej grupy na typy

i układy strukturalne na podstawie stosunku liczbowego  $P/(Rk+M)$  do pozostałych form utraty energii. Podział ten przedstawia się następująco:

$$P/(Rk+M) > LE/(Rk+M) > RI/(Rk+M) > B/(Rk+M) \rightarrow A.1,$$

$$P/(Rk+M) > LE/(Rk+M) > B/(Rk+M) > RI/(Rk+M) \rightarrow A.2,$$

$$P/(Rk+M) > RI/(Rk+M) > B/(Rk+M) > LE/(Rk+M) \rightarrow A.3,$$

$$P/(Rk+M) > RI/(Rk+M) > LE/(Rk+M) > B/(Rk+M) \rightarrow A.4,$$

$$P/(Rk+M) > B/(Rk+M) > LE/(Rk+M) > RI/(Rk+M) \rightarrow A.5,$$

$$P/(Rk+M) > B/(Rk+M) > RI/(Rk+M) > LE/(Rk+M) \rightarrow A.6.$$

Wyróżnione typy tworzą trzy układy strukturalne, które charakteryzują się jednakowym stosunkiem do drugiej co do wielkości formy wymiany energii.

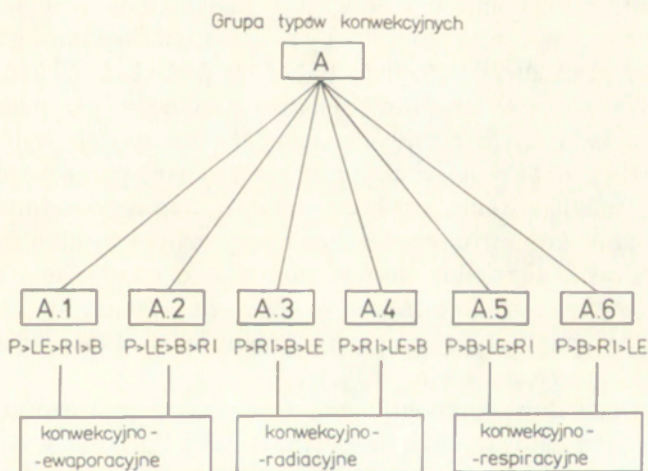
A więc typy:

A.1 i A.2 można nazwać konwekcyjno-ewaporacyjnymi,

A.3 i A.4 – konwekcyjno-radiacyjnymi,

A.5 i A.6 – konwekcyjno-respiracyjnymi.

Schemat typologii struktury bilansu cieplnego ciała człowieka ilustruje rycina 11; w celu uproszczenia zapisu pominięto mianownik, który w każdym przypadku występuje w tej samej postaci  $(Rk+M)$ .



Ryc. 11. Typologia struktury bilansu ciała człowieka

Typology of the structure of the human body heat balance. A – group of convective types; A.1, A.2 convective- evaporative types; A.3, A.4 – convective-radiative types; A.5, A.6 – convective-respirative types

Wyróżniono również typ mieszany struktury bilansu cieplnego (M.A), w którym znalazły się te nieliczne przypadki, gdy średnie miesięczne wartości dwóch spośród czterech form wymiany ciepła były równe liczbowo. W obrębie typu M.A istnieje teoretyczna możliwość wystąpienia dziewięciu układów strukturalnych. Nie będą one tu prezentowane z uwagi na sporadyczność pojawiania się (zaledwie 0,6% wszystkich przypadków w całym materiale liczbowym).

Gdy człowiek stojący (wytwarzający ciepło metaboliczne w ilości  $70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) znajduje się w stanie komfortu termicznego, wymiana ciepła z otoczeniem odbywa się głównie dzięki turbulencyjnemu strumieniowi ciepła jawnego. Z danych zamieszczonych w tabeli 10 wynika, że na obszarze Polski ta forma oddawania ciepła stanowi średnio w roku od 47% (w Muszynie) do 61% (na Śnieżce) wszystkich strat ciepła z powierzchni ciała człowieka. Ogólnie można stwierdzić, że wszędzie tam, gdzie w badanym dziesięcioleciu wystąpiły najniższe prędkości wiatru, a więc w dolinach rzecznych (reprezentowanych przez stacje: Bydgoszcz IMUZ, Ciechocinek, Opole, Kraków-Obs. Astr.), w kotlinach i dolinach śródgórskich (Polanica-Zdrój, Iwonicz-Zdrój, Łądek-Zdrój, Muszyzna), turbulencyjna wymiana ciepła jawnego nie osiąga 50% sumy strat ciepła.

Drugim co do wielkości sposobem wymiany energii jest parowanie wody z powierzchni ciała człowieka. W ten sposób zużywa się od 20% (na Kasprowym Wierchu) do około 25% (na Nizinach Środkowopolskich i Północnym Podkarpaciu) ilości energii, jaką człowiek otrzymuje.

Udział promieniowania długofalowego w bilansie cieplnym ciała człowieka wynosi średnio w roku od 7 do 19% i jest nieco większy tam, gdzie warunki środowiska geograficznego sprzyjają mniejszej prędkości wiatru.

Najmniejsza rola w strukturze bilansu cieplnego przypada procesom energetycznym związanym z oddychaniem. Na ten sposób wymiany energii przypada zaledwie 8–11% ilości ciepła otrzymywanego przez ustrój człowieka.

Tak więc, zróżnicowanie struktury bilansu cieplnego odnoszące się do człowieka w stanie komfortu termicznego i przy małym wysiłku fizycznym jest na obszarze Polski niewielkie. Biorąc pod uwagę najwyższe i najniższe na terenie kraju wartości średnie roczne względnych strat ciepła, zróżnicowanie ich wynosi: w przypadku konwekcyjnej wymiany ciepła 14%, radiacyjnej 12%, transpiracyjnej 7%, respiracyjnej 3%.

Poddając podziałowi typologicznemu średnie roczne wartości względnych strat ciepła można zauważyć, że na obszarze całej Polski (z wyjątkiem partii szczytowych Karpat i Sudetów) występuje tylko jeden układ strukturalny, a mianowicie konwekcyjno-ewaporacyjny typ A.1. Natomiast na Śnieżce i Kasprowym Wierchu – A.2, który różni się od wyżej wymienionego tym, że respiracyjne straty ciepła (związane z oddychaniem) są tam nieco większe niż radiacyjne (spowodowane promieniowaniem długofalowym z powierzchni ciała człowieka).

Z punktu widzenia bioklimatologii człowieka interesujące informacje można uzyskać śledząc strukturę bilansu cieplnego w kolejnych miesiącach i pamiętając, że odnosi się ona do godzin okołopołudniowych. Ze względu na małe zróżnicowanie przestrzenne rozpatrywanych wartości liczbowych na obszarze Polski, do analizy udziału różnych form wymiany ciepła w przebiegu rocznym wybrano 11 miejscowości, reprezentujących różne regiony fizycznogeograficzne (podprowincje według regionalizacji J. Kondrackiego, 1978).



Tabela 10. Struktura bilansu ciepłego ciała człowieka w stanie komfortu termicznego przy małym wysiłku fizycznym ( $M = 70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Wartości średnie roczne (%) z okresu 1961–1970, II termin obserwacyjny

The structure of the heat balance within thermal comfort of man in standing posture ( $M = 70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Mean annual 1961–1970 (in percentage), 13<sup>00</sup> official time.

Nazwa stacji	P/(Rk + M)	LE/(Rk + M)	RI/(Rk + M)	B/(Rk + M)
Aleksandrowice	50,8	25,2	15,2	8,7
Białowieża	50,8	25,5	14,6	9,1
Biebrza-Pięczykówek	51,5	25,2	14,2	9,1
Busko-Zdrój	49,9	26,2	15,4	8,5
Bydgoszcz IMUZ	47,8	25,8	17,8	8,6
Chelm Lubelski	51,8	25,9	13,3	9,0
Chojnice	52,2	25,2	13,6	9,1
Ciechocinek	49,3	26,0	16,1	8,5
Cieszyn-Bobrek	49,0	25,9	16,6	8,4
Gdynia	53,3	24,5	13,0	9,2
Gorzów Wielkopolski	50,3	25,8	15,1	8,7
Hel	52,2	24,6	14,4	8,8
Iwonicz-Zdrój	47,9	24,6	19,2	8,2
Jelenia Góra	50,9	25,6	14,7	8,8
Kalisz	49,8	26,0	15,7	8,6
Kasprowy Wierch	58,0	20,0	11,0	11,1
Katowice	50,4	26,2	14,6	8,8
Kolobrzeg	54,2	24,2	14,4	9,0
Kraków-Obs. Astr.	48,2	26,5	17,0	8,3
Krynica	50,3	24,9	15,8	9,0
Laskowice Oławskie	50,1	26,5	14,7	8,7
Łądek-Zdrój	47,8	24,5	19,3	8,4
Lesko	50,5	25,9	14,9	8,8
Leszno-Strzyżewice	51,4	26,4	13,4	8,8
Łódź-Lublinek	52,0	26,1	12,8	9,1
Mikołajki	51,8	25,1	14,0	9,1
Muszyna	47,3	25,6	18,7	8,4
Opole	49,3	26,3	15,9	8,5
Ostrołęka	50,1	25,9	15,2	8,7
Polanica-Zdrój	48,1	25,0	18,5	8,4
Poświętne	50,8	25,7	14,7	8,8
Poznań-Lawica	51,5	26,6	13,0	8,9
Prabuty	51,0	25,5	14,5	9,0
Puławy	48,4	26,0	17,0	8,5
Rabka	48,7	25,6	17,2	8,4
Resko	50,0	25,4	15,9	8,6
Rzeszów-Jasionka	51,1	26,3	13,8	8,7
Sinolęka	50,1	25,5	15,6	8,8
Skieriewice	50,8	26,1	14,2	8,9
Skroniów	50,5	26,0	14,6	8,8
Sobieszyn	49,6	25,7	16,0	8,7
Suwałki	52,5	25,2	12,9	9,3
Szczawno-Zdrój	50,0	25,0	16,1	8,8
Szczecin-Dąbie	51,1	25,9	14,2	8,8
Szepietowo	51,1	25,2	14,6	9,0

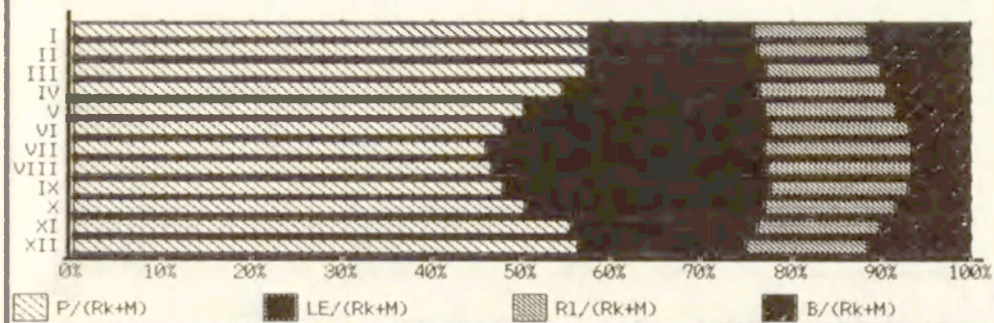
cd. tab. 10

Nazwa stacji	$P/(Rk + M)$	$LE/(Rk + M)$	$RI/(Rk + M)$	$B/(Rk + M)$
Śnieżka	61,0	20,4	7,5	11,2
Świbno	53,0	24,6	13,4	9,1
Świnoujście	52,4	24,4	14,1	9,1
Tarnów	48,6	26,4	16,6	8,5
Terespol	50,9	26,1	14,1	8,8
Topola - Błonie	51,2	25,9	14,1	8,8
Ustka	52,9	24,1	14,0	9,0
Warszawa - Bielany	50,0	26,1	15,1	8,7
Wieluń	49,6	26,0	15,9	8,5
Włodawa	50,9	26,3	14,0	8,7
Zakopane	49,0	24,1	18,1	8,7
Zgorzelec	50,7	25,7	14,7	8,8

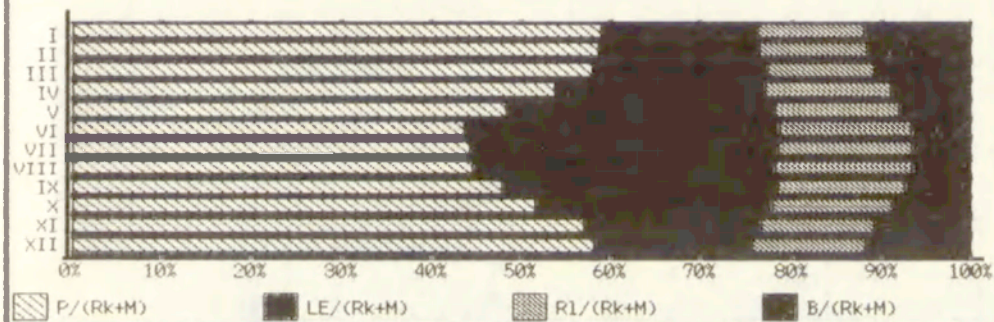
Z prezentowanych przykładów wynika (ryc. 12), że we wszystkich tych miejscowościach struktura bilansu cieplnego ciała człowieka kształtuje się w ciągu roku podobnie. Maksimum roczne względnych wartości turbulencyjnych strat ciepła jawnego występuje zawsze w miesiącach zimowych (styczeń, luty), osiągając 50–60% wszystkich strat ciepła, i to niezależnie od położenia geograficznego badanej miejscowości. Wiąże się to z występowaniem w tych miesiącach najniższych w ciągu roku temperatur powietrza, a co za tym idzie największych różnic termicznych między ciałem człowieka a atmosferą. W połączeniu ze wzmożonym ruchem powietrza sprzyja to intensywnemu oddawaniu ciepła przez ustrój człowieka. Udział strumienia ciepła utajonego jest największy w lipcu (32–37% przychodów ciepła), nie stanowi on jednak wówczas głównej pozycji rozchodowej w bilansie cieplnym ciała człowieka. Roczne maksimum  $LE/(Rk + M)$ , zaobserwowane w całej Polsce w lipcu, można wytłumaczyć występowaniem najwyższych w ciągu roku temperatur powietrza w godzinach okołopoludniowych, co wywołuje podwyższenie temperatury skóry człowieka i większą aktywność gruczołów potowych niż w innych miesiącach roku. Natomiast mała prędkość wiatru, obserwowana w tym czasie, nie sprzyja innym formom wymiany energii, na przykład przez ciepło jawne.

Udział pozostałych dwóch strumieni, to znaczy  $RI$  i  $B$ , w sumie rozchodów ciepła jest w ciągu roku mało zróżnicowany. Radiacyjne straty ciepła stanowią na obszarze Polski 12–15% wszystkich strat energii z powierzchni ciała człowieka, ze słabo zaznaczonym maksimum w miesiącach letnich. Natomiast respiracyjna wymiana ciepła (związana z procesem oddychania) ma najmniejszy udział w ciągu roku na obszarze prawie całego kraju (wyjątkiem są obszary wysokogórskie). Ta forma wymiany ciepła stanowi 6–13% wszystkich strat energii, osiągając maksimum (11–13%) w styczniu, kiedy to różnice między temperaturą powietrza wdychanego i wydychanego są w ciągu roku największe.

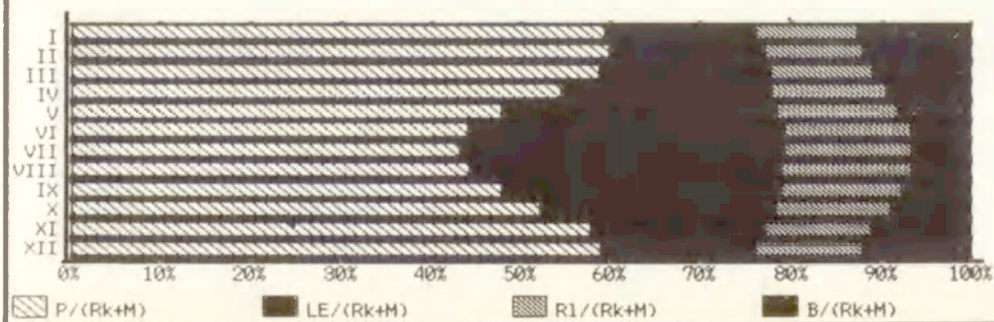
## KOŁOBRZEG



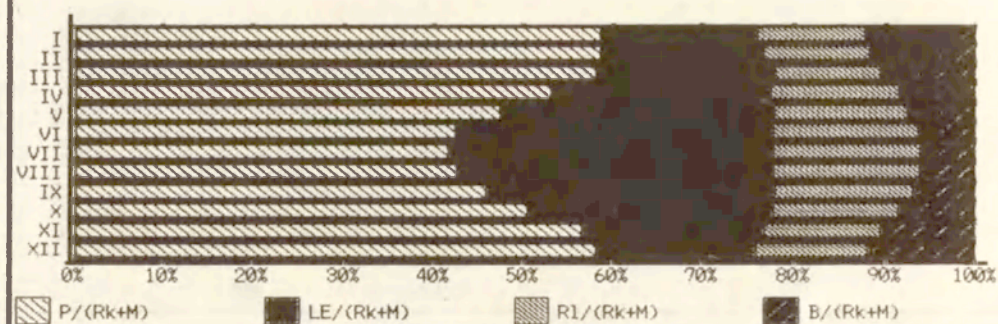
## CHOJNICE



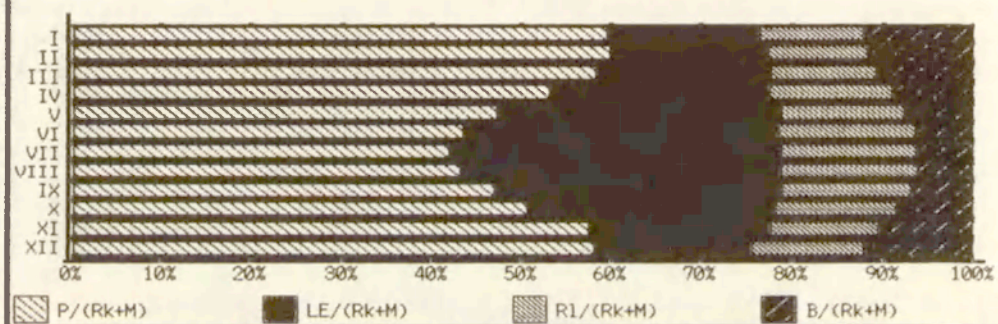
## SUWAŁKI



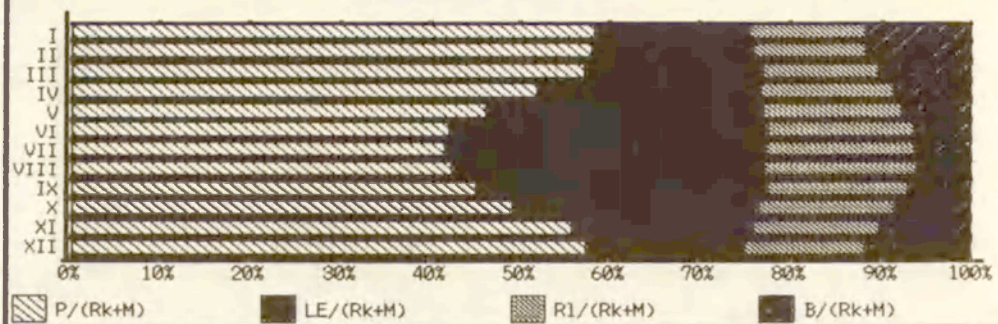
## TOPOLA - BŁONIE



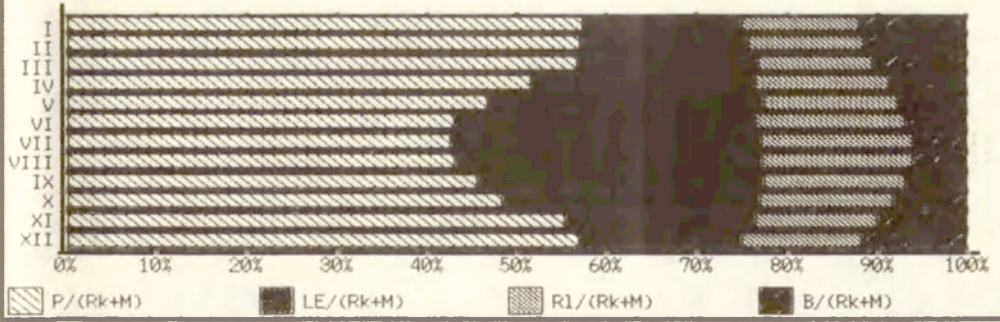
## CHEŁM LUBELSKI



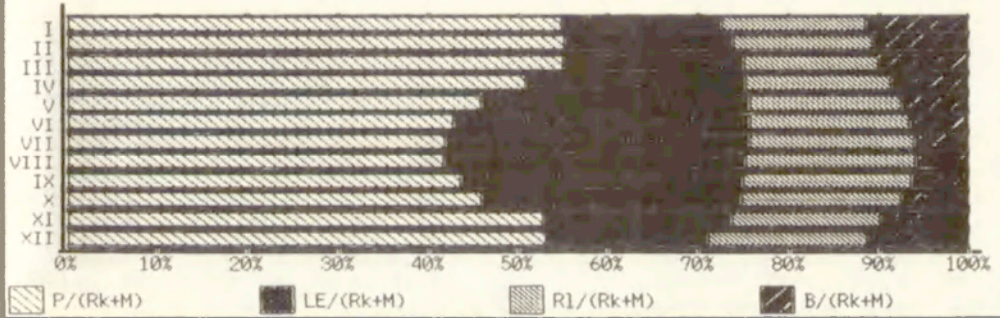
## SKRONIÓW



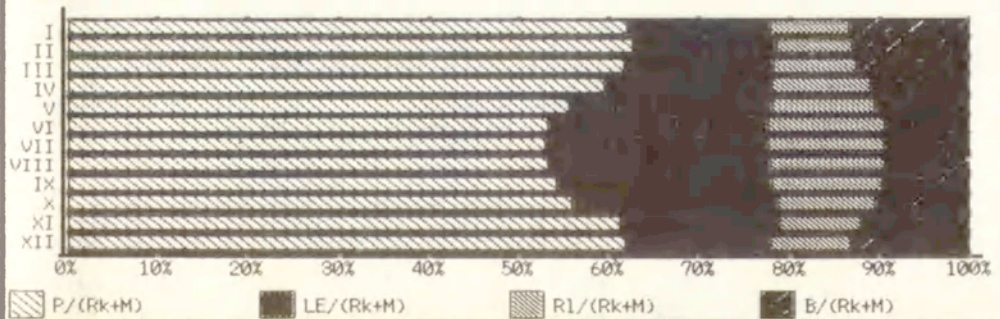
## LESKO



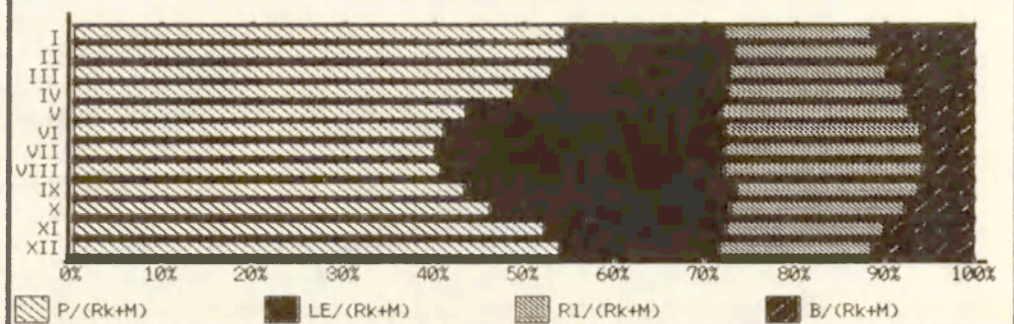
## RABKA



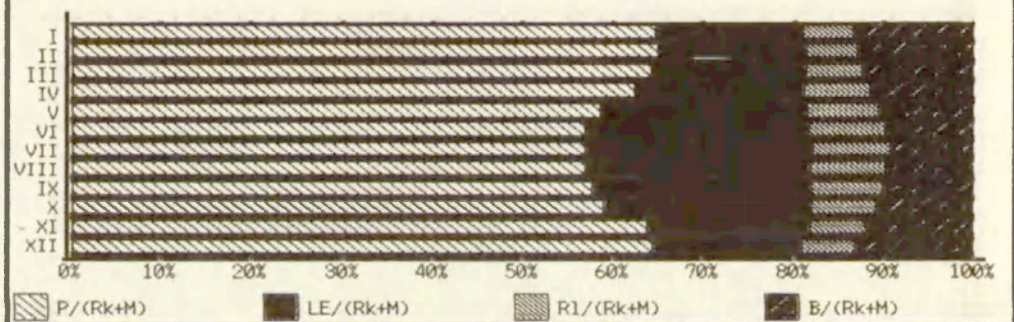
## KASPROWY WIERCH



## ŁĄDEK - ZDRÓJ



## ŚNIEŻKA



Ryc. 12. Struktura bilansu ciepła ciała człowieka w stanie komfortu termicznego przy małym wysiłku fizycznym ( $M = 70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Wartości średnie z okresu 1961–1970, II termin obserwacyjny. Wybrane przykłady reprezentują główne jednostki fizycznogeograficzne Polski

$P/(Rk+M)$  – udział strat ciepła jawnego w bilansie cieplnym ciała człowieka,  $LE/(Rk+M)$  – udział strat ciepła utajonego związanego z parowaniem wody z powierzchni ciała człowieka,  $Rl/(Rk+M)$  – udział strat ciepła związanego z promieniowaniem długofalowym z powierzchni ciała człowieka,  $B/(Rk+M)$  – udział strat ciepła związanego z procesem oddychania

The structure of the heat balance within thermal comfort of standing man ( $M = 70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Mean values (1961–1970), 13<sup>00</sup> official time. The data represent the main geographical units of Poland

$P/(Rk+M)$  – share of the sensible heat loss,  $LE/(Rk+M)$  – share of the evaporative heat loss,  $Rl/(Rk+M)$  – share of the long-wave radiation loss,  $B/(Rk+M)$  – share of the heat loss due to respiration

Odmienne od wyżej opisanej kształtuje się wymiana ciepła między ciałem człowieka a otoczeniem w partiach szczytowych Karpat i Sudetów. Niskie temperatury powietrza i znaczna prędkość wiatru sprawiają, że udział ciepła jawnego jest tu większy niż w innych regionach fizycznogeograficznych kraju, osiągając w miesiącach zimowych 63–65% wszystkich strat ciepła. Mniejszy

jest natomiast udział ciepła utajonego, stanowiący w lipcu około 25% ilości otrzymywanej energii. Nieco większy niż gdzie indziej w Polsce obserwuje się tu udział w bilansie cieplnym respiracyjnych strat ciepła. Porównując strukturę bilansu cieplnego na obu stacjach wysokogórskich można zauważyć, że udział turbulencyjnych strumieni ciepła jawnego i utajonego jest na Śnieżce większy niż na Kasprowym Wierchu, co można wytłumaczyć nieco odmiennymi warunkami klimatycznymi panującymi w partiach szczytowych Karpat Zachodnich i Sudeców. O ile średnia temperatura powietrza w godzinach okołopoludniowych jest w poszczególnych miesiącach roku o prawie 2°C niższa na Kasprowym Wierchu aniżeli na Śnieżce, o tyle prędkość wiatru – czynnik decydujący o wielkości turbulencyjnej wymiany ciepła – jest na Śnieżce znacznie większa: średnio o  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  w miesiącach letnich i  $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  w miesiącach zimowych.

Na podstawie wybranych przykładów pochodzących z różnych regionów fizycznogeograficznych Polski można stwierdzić (ryc. 12), że obraz struktury bilansu cieplnego człowieka pozostającego w stanie komfortu termicznego przy małym wysiłku fizycznym jest (poza górami) mało zróżnicowany. Dotyczy to przede wszystkim ilościowego udziału różnych form wymiany ciepła w poszczególnych miesiącach.

Na przeważającym obszarze kraju w ciągu całego roku występuje tylko jeden typ struktury bilansu cieplnego ciała człowieka – konwekcyjno-cwaporacyjny A.1, co oznacza, że wtedy, gdy człowiek stojąc znajduje się w stanie komfortu termicznego, relacje między poszczególnymi formami utraty ciepła kształtują się następująco:

$$P/(Rk + M) > LE/(Rk + M) > RI/(Rk + M) > B/(Rk + M).$$

Więcej niż jeden układ strukturalny w ciągu roku zaobserwowano jedynie na 18 stacjach meteorologicznych w Polsce i tylko te przypadki zawiera tabela 11. Inne niż A.1 typy struktury bilansu cieplnego ciała człowieka wystąpiły na tych stacjach w miesiącach od listopada do marca. Są to: A.2 – charakteryzujący się tym, że przy dominacji turbulencyjnej wymiany ciepła jawnego respiracyjne straty ciepła są większe niż radiacyjne, oraz typ A.4 – (konwekcyjno-radiacyjny), który występuje wtedy, gdy radiacyjna wymiana energii jest większa niż transpiracyjna. Sporadycznie wystąpił w styczniu typ mieszany M.A (Biebrza-Pieńczyków, Świbno, Topola-Blonie), w którym podczas przewagi turbulencyjnej wymiany ciepła radiacyjne jego straty równe były liczbowo respiracyjnym, czyli:

$$P/(Rk + M) > LE/(Rk + M) > RI/(Rk + M) = B/(Rk + M).$$

W Polanicy-Zdroju w grudniu zaobserwowano natomiast, że udział transpiracyjnej wymiany ciepła był równy radiacyjnej:

$$P/(Rk + M) > LE/(Rk + M) = RI/(Rk + M) > B/(Rk + M).$$

Porównanie otrzymanych wyników z rezultatami badań innych autorów jest dość trudne ze względu na różne podejście metodyczne, a ponadto są one uzależnione od miejscowych warunków klimatycznych. Umiarkowanych sze-

Tabela 11. Typy struktury bilansu cieplnego ciała człowieka w stanie komfortu termicznego przy małym wysiłku fizycznym ( $M = 70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ )  
 The types of the structure of the heat balance within thermal comfort of man in standing posture ( $M = 70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

Nazwa stacji	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Biebrza-												
-Pieńczykówek	A.2	M.A	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1
Bydgoszcz IMUZ	A.4	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1
Chelm Lubelski	A.2	A.2	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1
Gdynia	A.2	A.2	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1
Iwonicz-Zdrój	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.4
Kasprowy Wierch	A.2	A.2	A.2	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.2	A.2
Łódź-Lublinek	A.2	A.2	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.2
Mikołajki	A.2	A.2	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1
Muszyna	A.4	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.4
Polanica-Zdrój	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	M.A
Poznań-Ławica	A.2	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1
Rabka	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.4
Suwałki	A.2	A.2	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.2
Śnieżka	A.2	A.2	A.2	A.2	A.2	A.2	A.2	A.2	A.2	A.2	A.2	A.2
Świbno	M.A	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1
Topola-Blonie	M.A	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1
Włodawa	A.2	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1
Zakopane	A.4	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.4

Tabela zawiera tylko te miejscowości, w których wystąpił w ciągu roku więcej niż jeden układ strukturalny.  
 Table contains only that sites, where more than one type was observed throughout the year.

rokości geograficznych dotyczyły badania struktury bilansu cieplnego człowieka M. I. Budyko i G. V. Cicenکو (1960). Podają oni, że w europejskiej części b. Związku Radzieckiego turbulencyjna wymiana ciepła jawnego stanowi 50–60% wszystkich strat ciepła, parowanie wody 20–25%, długofalowe straty energii jedynie 5–20%. Natomiast na przedgórzu ukraińskich Karpat (Sakali i in. 1981) stwierdzono, że latem w godzinach okołopoludniowych wymiana ciepła utajonego jest znacznie większa i wynosi prawie 60% wszystkich strat ciepła. Porównywalność wyników uzyskanych przez tych autorów z prezentowanymi wyżej jest ograniczona, ponieważ dotyczą one człowieka pozbawionego odzieży.

#### 7.4.2. STRUKTURA BILANSU CIEPLNEGO CIAŁA CZŁOWIEKA W STANIE KOMFORTU TERMICZNEGO PRZY UMIARKOWANYM WYSIŁKU FIZYCZNYM

Gdy aktywność fizyczna człowieka rośnie, zwiększa się również jego wymiana ciepła z otoczeniem. Wynika to z jednej strony z konieczności odprowadzania zwiększonej (z 70 do  $174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) ilości energii wytwarzanej w procesach metabolicznych, z drugiej zaś – oddawaniu ciepła sprzyja wzmocniony ruch powietrza wywołany poruszaniem się człowieka, co uwzględniono w równaniu bilansu cieplnego. Tak więc, gdy człowiek jest obciążony



Tabela 12. Struktura bilansu cieplnego ciała człowieka w stanie komfortu termicznego przy umiarkowanym wysiłku fizycznym ( $M=174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Wartości średnie roczne (%) z okresu 1961–1970, II termin obserwacyjny

The structure of the heat balance within thermal comfort of walking man ( $M=174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Mean annual 1961–1970 (in percentage), 13<sup>00</sup> official time

Nazwa stacji	P/(Rk + M)	LE/(Rk + M)	RI/(Rk + M)	B/(Rk + M)
Aleksandrowice	54,7	25,6	16,3	3,4
Białowieża	54,7	26,0	15,7	3,6
Biebrza-Pieńczykówek	55,3	25,8	15,2	3,6
Busko-Zdrój	53,6	26,4	16,6	3,3
Bydgoszcz IMUZ	51,7	25,7	19,2	3,4
Chelm Lubelski	55,6	26,6	14,2	3,6
Chojnice	56,0	25,8	14,5	3,6
Ciechocinek	53,1	26,2	17,3	3,4
Cieszyn-Bobrek	52,8	26,0	17,9	3,3
Gdynia	57,1	25,3	13,9	3,6
Gorzów Wielkopolski	54,1	26,2	16,3	3,4
Hel	56,0	25,1	15,4	3,5
Iwonicz-Zdrój	51,8	24,2	20,8	3,2
Jelenia Góra	54,6	26,2	15,7	3,5
Kalisz	53,5	26,3	16,8	3,4
Kasprowy Wierch	62,6	21,1	11,8	4,4
Katowice	54,1	26,6	15,7	3,3
Kolobrzeg	56,2	24,8	15,5	3,5
Kraków-Obs. Astr.	52,0	26,5	18,3	3,2
Krynica	54,2	25,3	17,0	3,5
Laskowice Oławskie	53,9	26,9	15,8	3,4
Lądek-Zdrój	51,8	24,0	20,9	3,3
Lesko	54,3	26,3	16,0	3,5
Leszno-Strzyżewice	55,1	27,1	14,4	3,5
Łódź-Lublinek	55,7	26,9	13,7	3,6
Mikołajki	55,9	25,8	14,4	3,5
Muszyna	51,1	25,4	20,2	3,3
Opole	53,1	26,5	17,1	3,3
Ostrołęka	54,0	26,2	16,4	3,4
Polanica-Zdrój	52,0	24,7	20,0	3,3
Poświętne	54,5	26,2	15,8	3,5
Poznań-Ławica	55,3	27,3	13,9	3,5
Prabuty	54,8	26,1	15,5	3,6
Puławy	52,3	25,9	18,4	3,3
Rabka	52,5	25,6	18,6	3,3
Resko	53,8	25,7	17,1	3,4
Rzeszów-Jasionka	54,9	26,8	14,8	3,4
Sinolęka	53,9	25,8	16,8	3,5
Skarniewice	54,6	26,6	15,3	3,5
Skroniów	54,3	26,5	15,7	3,5
Sobieszyn	53,5	25,9	17,2	3,4
Suwałki	56,4	26,0	13,9	3,7
Szczawno-Zdrój	53,9	25,2	17,4	3,5
Szczecin-Dąbie	54,8	26,4	15,3	3,4
Szeptowo	55,0	25,8	15,7	3,5

cd. tab. 12

Nazwa stacji	$P/(Rk + M)$	$LE/(Rk + M)$	$RI/(Rk + M)$	$B/(Rk + M)$
Śnieżka	65,8	21,7	8,0	4,4
Świbno	56,8	25,3	14,3	3,6
Świnoujście	56,2	25,1	15,1	3,6
Tarnów	52,4	26,4	17,9	3,3
Terespol	54,7	26,6	15,2	3,5
Topola-Blonie	55,0	26,4	15,1	3,5
Ustka	56,7	24,8	14,9	3,6
Warszawa-Bielany	53,8	26,5	16,3	3,4
Wieluń	53,4	26,1	17,1	3,3
Włodawa	54,7	26,7	15,1	3,5
Zakopane	52,8	24,2	19,5	3,5
Zgorzelec	54,5	26,2	15,8	3,5

umiarkowanym wysiłkiem fizycznym (spacer z prędkością  $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ), udział turbulencyjnej wymiany ciepła jawnego zwiększa się o blisko 5% (w stosunku do ilości obserwowanej wtedy, gdy człowiek znajduje się w pozycji stojącej), osiągając średnio w roku (tab. 12) od 51% (w Muszynie) do 66% (na Śnieżce) wszystkich strat ciepła. Nieznacznie, bo tylko o 2–3% wzrasta udział promieniowania długofalowego, nie ulega natomiast zmianie procentowy udział transpiracyjnych strat ciepła. Wtedy, gdy człowiek porusza się, zaobserwowano niewielki (bo tylko 5%) spadek udziału wymiany energii w procesie oddychania. Uzyskany wynik wydaje się nieoczekiwany i wymaga komentarza.

W przyjętym modelu wielkość respiracyjnych strat ciepła zależy tylko od termiczno-wilgotnościowych warunków środowiska atmosferycznego (patrz podrozdz. 6.4), które dla obu rozpatrywanych rodzajów aktywności fizycznej są takie same. Wyznaczając strumień  $B$  nie uwzględnia się faktu, że przy zwiększonym wysiłku fizycznym zachodzi wzrost intensywności oddychania, co może mieć wpływ na wielkość utraty ciepła. Stanowi to pewne ograniczenie przyjętego modelu bilansu cieplnego ciała człowieka. Tak więc, wartość względnych strat energii przez respirację  $B/(Rk + M)$  może być przy umiarkowanym wysiłku fizycznym mniejsza, gdyż dochodowa strona równania w tym przypadku wzrasta na skutek zwiększenia  $M$ .

W celu zbadania czasowego (przebieg roczny) i przestrzennego zróżnicowania struktury bilansu cieplnego przy umiarkowanym wysiłku fizycznym, średnie miesięczne i roczne względne wartości poszczególnych form utraty ciepła odniesiono do wyróżnionych układów strukturalnych. Analiza całego materiału liczbowego ujawniła dość jednolity obraz, gdyż w ciągu całego roku występuje na obszarze całej Polski jeden typ struktury bilansu cieplnego – konwekcyjno-ewaporacyjny A.1. Tylko w 8 miejscowościach (tab. 13) położonych (poza Gdynią i Bydgoszczą) w południowej części kraju zaobser-

wowano, że w grudniu i styczniu pojawia się typ A.4. Charakteryzuje się on tym, że przy dominacji strat ciepła jawnego straty radiacyjne przeważają nad transpiracyjnymi i respiracyjnymi (typ konwekcyjno-ewaporacyjny). Należy sądzić, że taka struktura bilansu cieplnego kształtuje się pod wpływem niskich temperatur powietrza w tych miesiącach, a zatem i znacznych różnic termicznych między ciałem człowieka a otoczeniem, które warunkują wielkość radiacyjnych strat ciepła.

Tabela 13. Typy struktury bilansu cieplnego człowieka w stanie komfortu termicznego przy umiarkowanym wysiłku fizycznym ( $M=174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

The types of the structure of the heat balance within thermal comfort of walking man, ( $M=174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

Nazwa stacji	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Bydgoszcz IMUZ	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.4
Gdynia	A.4	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1
Iwonicz-Zdrój	A.4	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.4
Łądek-Zdrój	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.2	A.4
Muszyna	A.4	A.4	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.4
Polanica-Zdrój	A.4	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.4
Rabka	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.4
Zakopane	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.1	A.4

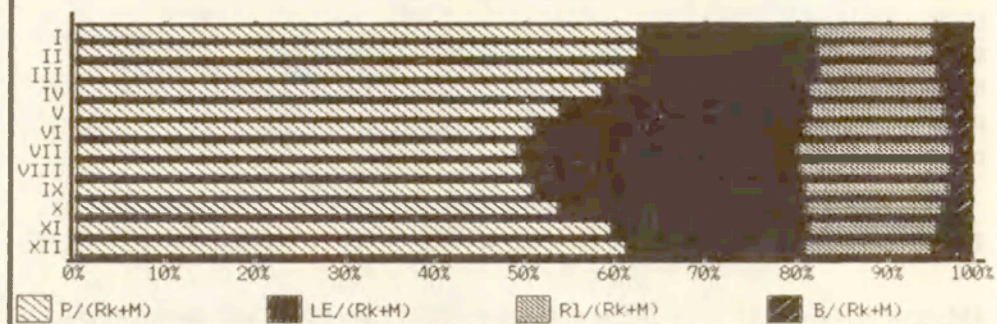
Tabela zawiera tylko te miejscowości, w których w ciągu roku wystąpił więcej niż jeden układ strukturalny.  
Table contains only that sites where more than one type was observed throughout the year.

Porównano także strukturę bilansu cieplnego kształtującą się przy małym (ryc. 12) i umiarkowanym (ryc. 13) wysiłku fizycznym. Analiza ujawniła, że między wybranymi 11 stacjami (reprezentatywnymi z uwagi na swoje położenie dla głównych jednostek fizycznogeograficznych Polski) ujawniły się następujące podobieństwa i różnice:

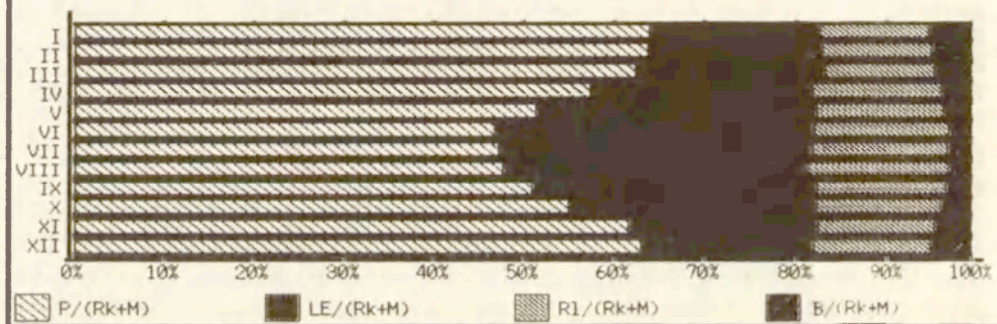
- przewaga udziału ciepła jawnego (60–65%) nad innymi formami jego wymiany w miesiącach zimowych (styczeń, luty); wyraźniej zaznacza się przy umiarkowanym wysiłku fizycznym,
- maksimum roczne względnych wartości transpiracyjnych strat ciepła występuje w lipcu (dla obu rodzajów aktywności fizycznej człowieka),
- roczne maksimum względnych wartości respiracyjnych strat ciepła obserwuje się w styczniu lub w grudniu. Jest ono słabiej zaznaczone w sytuacji, gdy człowiek znajduje się w ruchu.

Na zakończenie rozważań o cechach struktury bilansu cieplnego ciała człowieka (obserwowanych przy różnych rodzajach aktywności fizycznej) nasuwa się uwaga, że dominacja typów konwekcyjnych na obszarze całego kraju świadczyć może o kształtowaniu procesu wymiany ciepła przez czynnik adwekcyjny.

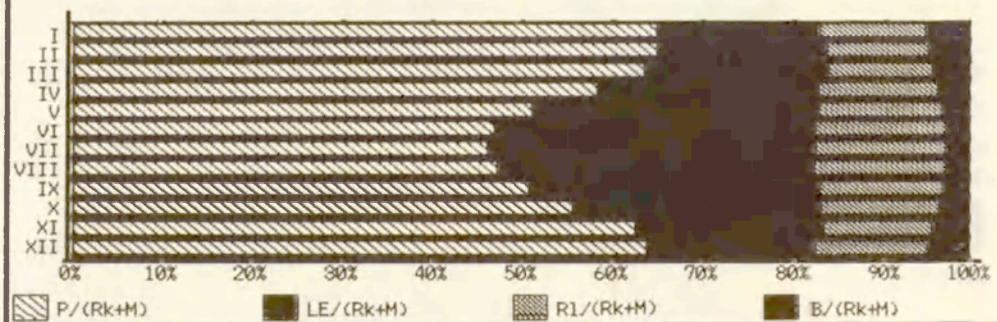
## KOŁOBRZEG



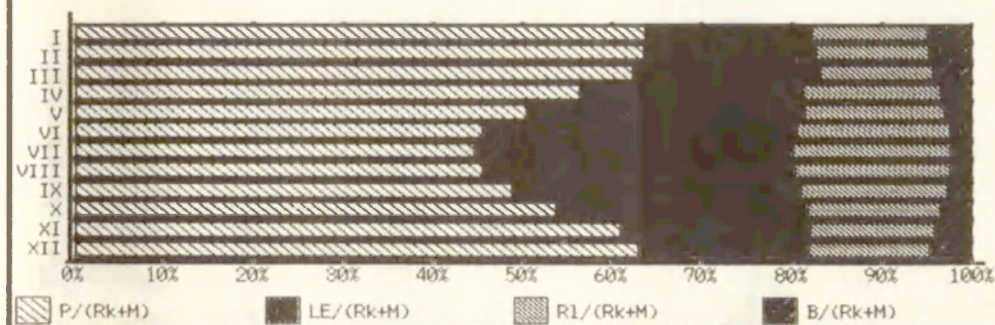
## CHOJNICE



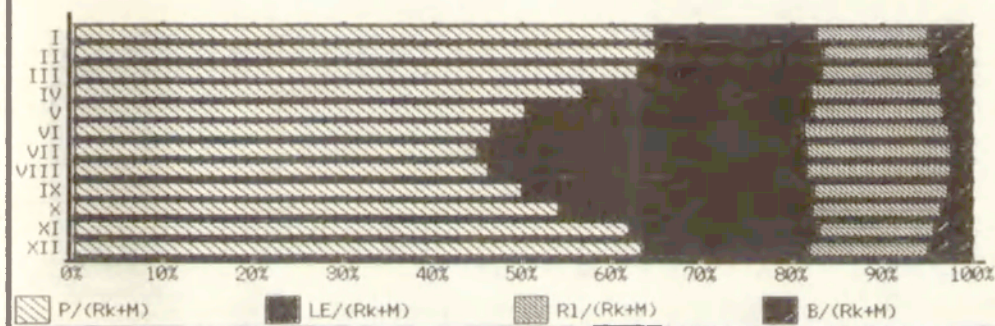
## SUWAŁKI



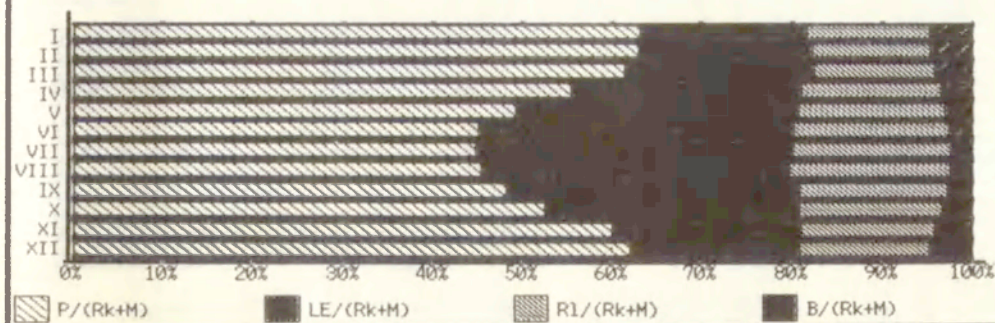
## TOPOLA - BŁONIE



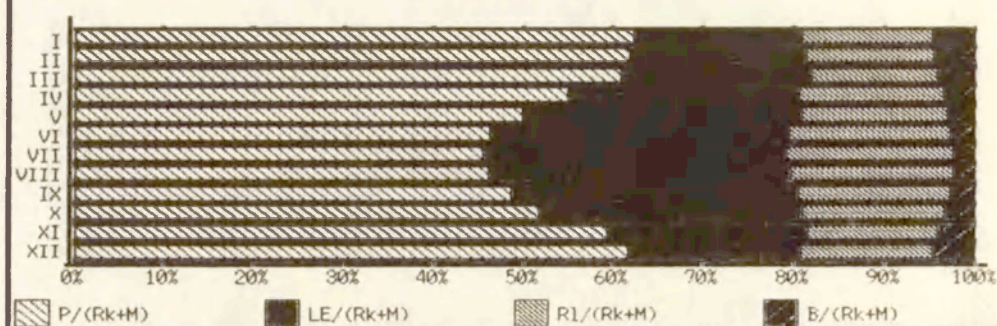
## CHEŁM LUBELSKI



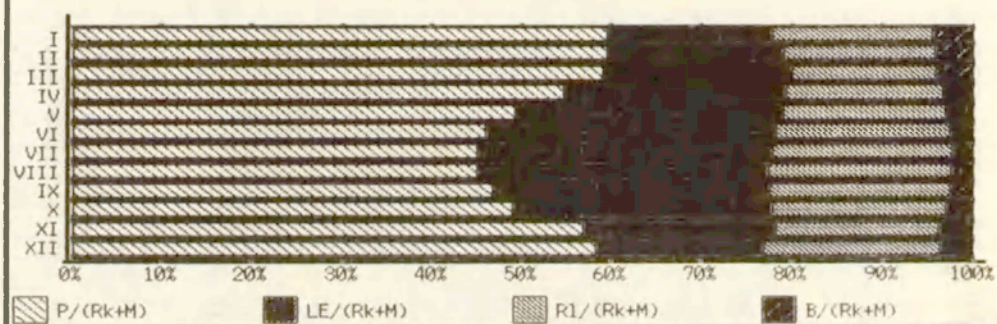
## SKRONIÓW



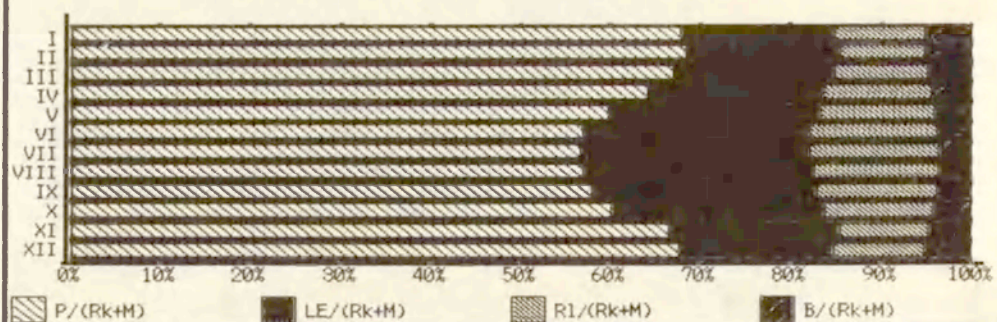
## LESKO



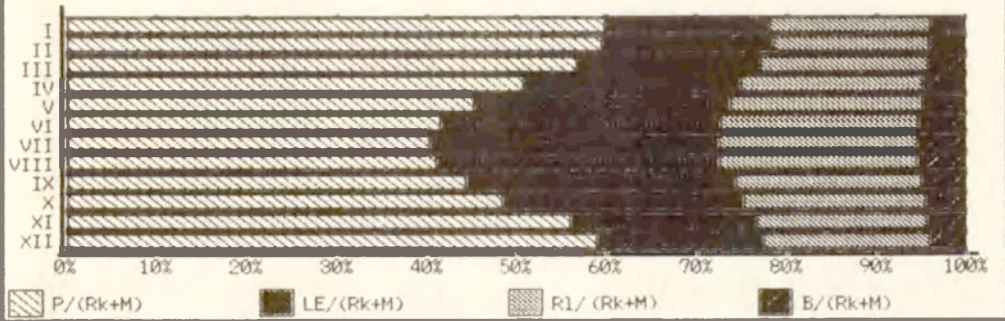
## RABKA



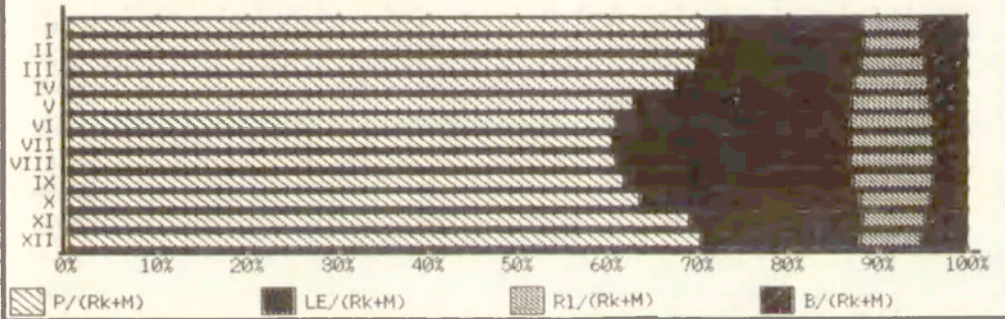
## KASPROWY WIERCH



## ŁĄDEK - ZDRÓJ



## ŚNIEŻKA



Ryc. 13. Struktura bilansu cieplnego ciała człowieka w stanie komfortu termicznego przy umiarkowanym wysiłku fizycznym ( $M = 174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Wartości średnie z okresu 1961–1970, II termin obserwacyjny. Wybrane przykłady reprezentują główne jednostki fizycznogeograficzne Polski. Objaśnienia patrz ryc. 12

The structure of the heat balance within thermal comfort of walking man ( $M = 174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Mean values (1961–1970), 13<sup>00</sup> official time. The data represent the main geographical units of Poland. Explanations as on fig. 12

## 8. TYPOLOGIA I OCENA BIOKLIMATU POLSKI

Rezultatem badań bioklimatu zarówno w skali regionalnej, jak i lokalnej winno być na ogół wydzielenie na badanym terenie jednostek typologicznych, charakteryzujących się jednakowym stopniem oddziaływania miejscowych warunków klimatycznych na ustrój człowieka. Jednostki te stanowią podstawę map bonitacyjnych, sporządzanych z punktu widzenia różnych potrzeb praktycznych, takich jak: klimatoterapia, turystyka i wypoczynek, praca na wolnym powietrzu.

Pierwsze typologie bioklimatu Polski miały charakter opisowy i w sposób uproszczony wiązały cechy fizycznogeograficzne terenu (położenie, wysokość nad poziomem morza) z reakcjami fizjologicznymi ustroju człowieka. Były to „lekarskie podziały klimatu” L. Korczyńskiego i A. Sabatowskiego sporządzone na potrzeby lecznictwa uzdrowiskowego.

Zastosowanie w bioklimatologii metod ilościowych, a więc skonstruowanie modeli matematycznych, ujmujących związek między subiektywnymi odczuciami cieplnymi ludzi a wartościami różnych parametrów meteorologicznych w postaci kompleksowych wskaźników biometeorologicznych, pozwoliło na obiektywną ocenę bioklimatu w różnych skalach przestrzennych.

W pierwszym tego typu opracowaniu dotyczącym obszaru Polski (Cena, Słomka 1966) regiony bioklimatyczne zostały wyznaczone na podstawie przebiegu izarytm wielkości ochładzającej powietrza. Podobną metodę zastosował M. Gregorczyk (1968), z tym że oprócz ochładzania, przy wydzieleniu regionów ciepła i chłodu, uwzględnił on także temperaturę efektywną. Typologii i oceny bioklimatu Polski dotyczyły również dwa opracowania autorki. W pierwszym z nich (Krawczyk 1988) do oceny bioklimatu zastosowano metodę bonitacji liczbowej wybranych elementów meteorologicznych o silnym, niekorzystnym działaniu na ustrój człowieka. Na tej podstawie wyróżniono trzy stopnie uciążliwości warunków biotermicznych na obszarze kraju. Drugie opracowanie (Krawczyk 1991) jest przykładem wykorzystania metod taksonomicznych w typologii bioklimatycznej. W celu wyłonienia grup miejscowości jednorodnych pod względem wielkości jednego z najważniejszych wskaźników bioklimatycznych – temperatury radiacyjno-efektywnej, zastosowano metodę przeciętnych różnic i łączonych par Sokala i Michenera. W wyniku tych procedur grupowania otrzymano na obszarze Polski jednaście typów (w tym cztery jednoobiektywne) miejscowości, różniących się ze względu na wielkość



przyjętego wskaźnika. Za kompleksową należy uznać typologię i regionalizację bioklimatu Polski T. Kozłowskiej-Szczęsnej (1987a, b, 1991), opracowaną na podstawie progowych wartości kilkunastu elementów meteorologicznych i wskaźników klimatu. Na obszarze Polski wyróżniła ona cztery typy i dwa podtypy bioklimatu nazwanego „antropoklimatem”. Natomiast do wydzielenia siedmiu regionów i czterech podregionów posłużyła się T. Kozłowska-Szczęsna częstością występowania warunków pogodowych o silnym działaniu bodźcowym.

Mimo iż ten przegląd dotyczy prac w skali całego kraju, warto jeszcze wspomnieć o typologii bioklimatycznej 19 uzdrowisk polskich K. Błażejczyka (1983), z uwagi na oryginalną metodę badawczą. Autor ten posłużył się metodą modelową i taksonomiczną, a podobieństwa i różnice między badanymi obiektami (uzdrowiskami) określał na podstawie następujących cech: wskaźnik oceny warunków klimatu lokalnego, wskaźnik oceny rzeźby terenu i wskaźnik oceny stopnia jego zagospodarowania. Trzeba jeszcze w tym miejscu zwrócić uwagę na monografie bioklimatyczne uzdrowisk i miejscowości potencjalnie uzdrowiskowych w Polsce, w których do wydzielenia jednostek biotopoklimatycznych i bonitacji terenu stosowano zarówno metody opisowe, jak i ilościowe, w tym modelowanie matematyczne i taksonomię numeryczną (Tyczka 1964; Jankowiak, Parczewski 1978). Niektóre tego rodzaju opracowania opublikowano w latach 1975–1981, w „Dokumentacji Geograficznej” IGiPZ PAN pod redakcją T. Kozłowskiej-Szczęsnej oraz w „Problemach Uzdrowiskowych”.

Pojawiające się w ostatnich latach w literaturze bioklimatycznej modele bilansu cieplnego ciała człowieka pozwalają na nowoczesne ujęcie zmian czasowych i przestrzennych wymiany energii i stopnia obciążenia układu termoregulacyjnego. Analiza równania bilansu cieplnego ciała człowieka dostarcza również informacji przydatnych do wydzielenia jednostek typologicznych na badanym terenie. Ten kierunek badawczy zyskał w wielu krajach uznanie i stanowi podstawę licznych opracowań zarówno w skali regionalnej, jak i lokalnej. Warto też przypomnieć, że przegląd prac ilustrujących praktyczne wykorzystanie modeli bilansu cieplnego ciała człowieka do celów bioklimatycznych zamieszczono w rozdziale 3 (patrz tab. 2).

#### 8.1. WYMIANA CIEPŁA MIĘDZY CIAŁEM CZŁOWIEKA A ŚRODOWISKIEM ATMOSFERYCZNYM JAKO PODSTAWA TYPOLOGII I OCENY BIOKLIMATU POLSKI

Wymienione wyżej zalety metody równoważenia zysków i strat ciepła na powierzchni ciała człowieka skłoniły autorkę do przyjęcia jej za podstawę typologii i oceny bioklimatu Polski. Typologia taka może służyć nie tylko do obiektywnej oceny bioklimatu, lecz także dostarczyć praktycznych informacji przydatnych dla ludzi, których zawód wymaga długotrwałego przebywania na wolnym powietrzu.

Za podstawę wydzielenia na obszarze kraju jednostek typologicznych, w obrębie których wielkość i rodzaj wymiany ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem atmosferycznym kształtuje się w sposób podobny, przyjęto dwie cechy różnicujące, które stanowią dwa kryteria podziału.

Pierwsze, służące do wydzielenia grup typów bioklimatu, to roczna amplituda wskaźnika termoizolacyjności odzieży ( $\Delta$  clo). Amplituda ta stanowi różnicę między najwyższą i najniższą średnią miesięczną wartością tego wskaźnika wyznaczoną z równania bilansu cieplnego ciała człowieka dla II terminu obserwacyjnego. Jak już wcześniej wykazano, wielkość oporu cieplnego odzieży zapewniającej komfort termiczny jest determinowana warunkami meteorologicznymi, aktywnością fizyczną człowieka i jego reakcjami fizjologicznymi, a zatem stanowić może podstawę kompleksowej oceny bioklimatu. W pracy przyjęto, że amplituda roczna wyznaczonych z równania (14) wartości clo jest wskaźnikiem zróżnicowania termoizolacyjności odzieży w ciągu roku. Z punktu widzenia potrzeb człowieka należy pamiętać, że tam, gdzie występują większe wartości  $\Delta$  clo, człowiek powinien dysponować większą liczbą typów odzieży (charakteryzującej się różnorodnymi właściwościami ciepłochronnymi) niż tam, gdzie amplituda ta jest mniejsza.

Jako drugie kryterium podziału, służące do wyróżnienia typów bioklimatu, przyjęto udział strat ciepła na parowanie w stanie komfortu termicznego. Podstawą podziału jest tu stosunek średnich rocznych wartości strumienia ciepła utajonego do sumy wszystkich strat ciepła:  $LE/(P + LE + Rl + B)$ . Wartości liczbowe tego stosunku informują o stopniu obciążenia układu termoregulacyjnego człowieka. Im większy jest bowiem udział LE w bilansie cieplnym, tym reakcje fizjologiczne związane z wydzielaniem wody (czynność gruczołów potowych) i zmianą jej stanu skupienia są intensywniejsze.

Tabela 14 zawiera wartości liczbowe obu cech, na podstawie których sporządzono typologię bioklimatu Polski. Dane te odnoszą się do godzin okołopołudniowych i małej aktywności fizycznej człowieka (pozycja stojąca), przy której wielkość metabolizmu wynosi  $70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Roczna amplituda wskaźnika termoizolacyjności odzieży ( $\Delta$  clo) waha się od 2,20 na Kasprowym Wierchu do ponad 3,00 na wschodzie kraju (3,60 Biebrza-Pieńczyków).  $LE/(P + LE + Rl + B)$  zawiera się natomiast w przedziale od 0,200 na stacjach wysokogórskich (Kasprowy Wierch, Snieżka) do ponad 0,270 (Kraków-Obs. Astr., Opole, Poznań, Laskowice Oławskie).

Przy podziale kraju na jednostki typologiczne (przestrzenne) i wydzieleniu grup bioklimatu kierowano się założeniem, że zmiana wartości amplitudy wskaźnika termoizolacyjności odzieży o 0,50 clo oznacza istotną dla człowieka zmianę typu odzieży, niezależnie od jej właściwości termoizolacyjnych (patrz tab. 5).

Wyróżniono zatem cztery grupy typów bioklimatu Polski charakteryzujące się określonym stopniem zróżnicowania termoizolacyjności odzieży w ciągu roku:

Tabela 14. Amplituda roczna wskaźnika termoizolacyjności odzieży ( $\Delta$  clo) oraz wielkość obciążenia układu termoregulacji człowieka  $LE/(P + LE + R1 + B)$  przy małym wysiłku fizycznym ( $M = 70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Wartości średnie z okresu 1961–1970, II termin obserwacyjny

Annual amplitude of the insulation of clothing ( $\Delta$  clo) and load of thermoregulative system  $LE/(P + LE + R1 + B)$ , for standing man ( $M = 70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Mean values 1961–1970, 13<sup>oo</sup> official time

Nazwa	$\Delta$ clo	$LE/(P + LE + R1 + B)$
Aleksandrowice	2,88	0,257
Białowieża	3,29	0,260
Biebrza-Pieńczyków	3,60	0,260
Busko-Zdrój	3,16	0,268
Bydgoszcz IMUZ	2,95	0,266
Chelm Lubelski	3,28	0,264
Chojnice	2,90	0,258
Ciechocinek	3,10	0,268
Cieszyn Bobrek	2,91	0,265
Gdynia	2,70	0,249
Gorzów Wielkopolski	2,90	0,264
Hel	2,90	0,250
Iwonicz-Zdrój	3,20	0,254
Jelenia Góra	2,53	0,260
Kalisz	3,01	0,268
Kasprowy Wierch	2,20	0,201
Katowice	3,00	0,268
Kolobrzeg	2,52	0,246
Kraków-Obs. Astr.	3,05	0,274
Krynica	2,97	0,253
Laskowice Olawskie	2,95	0,273
Lądek-Zdrój	2,95	0,254
Lesko	3,00	0,264
Leszno-Strzyżewice	2,90	0,272
Łódź-Lublinek	3,02	0,267
Mikołajki	3,30	0,256
Muszyna	3,10	0,262
Opole	3,00	0,270
Ostrołęka	3,36	0,268
Polanica-Zdrój	3,00	0,257
Poświętne	3,25	0,266
Poznań-Lawica	3,05	0,272
Prabuty	3,17	0,262
Puławy	3,25	0,270
Rabka	2,73	0,263
Resko	2,96	0,262
Rzeszów-Jasionka	3,33	0,269
Sinolęka	3,30	0,265
Skierniewice	3,25	0,267
Skroniów	3,05	0,266
Sobieszyn	3,25	0,266
Suwalki	3,45	0,258

cd. tab. 14

Nazwa	$\Delta$ clo	LE/(P + LE + Rl + B)
Szczawno-Zdrój	2,85	0,259
Szczecin-Dąbie	2,97	0,266
Szepietowo	3,37	0,259
Śnieżka	2,30	0,204
Świbno	2,90	0,250
Świnoujście	2,75	0,248
Tarnów	3,00	0,271
Terespol	3,42	0,270
Topola-Błonie	3,25	0,266
Ustka	2,65	0,246
Warszawa-Bielany	3,05	0,269
Wieluń	3,16	0,266
Włodawa	3,35	0,270
Zakopane	2,42	0,245
Zgorzelec	2,86	0,262

- $\Delta$  clo  $\leq$  2,50 – bardzo małe zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży,  
 $\Delta$  clo 2,51–3,00 – małe zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży,  
 $\Delta$  clo 3,01–3,50 – umiarkowane zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży,  
 $\Delta$  clo  $\geq$  3,51 – znaczne zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży.

W dalszym postępowaniu klasyfikującym, każdej z wymienionych czterech grup typów bioklimatu przypisano cztery przedziały wartości liczbowych stosunku ciepła utajonego do pozostałych form jego oddawania z powierzchni ciała człowieka, charakteryzującego różny stopień obciążenia układu termoregulacji w wyniku parowania. Na podstawie rozkładu liniowego wartości LE/(P + LE + Rl + B) przyjęto, że:

LE/(P + LE + Rl + B)  $\leq$  0,240 oznacza nieznaczne obciążenie układu termoregulacji,

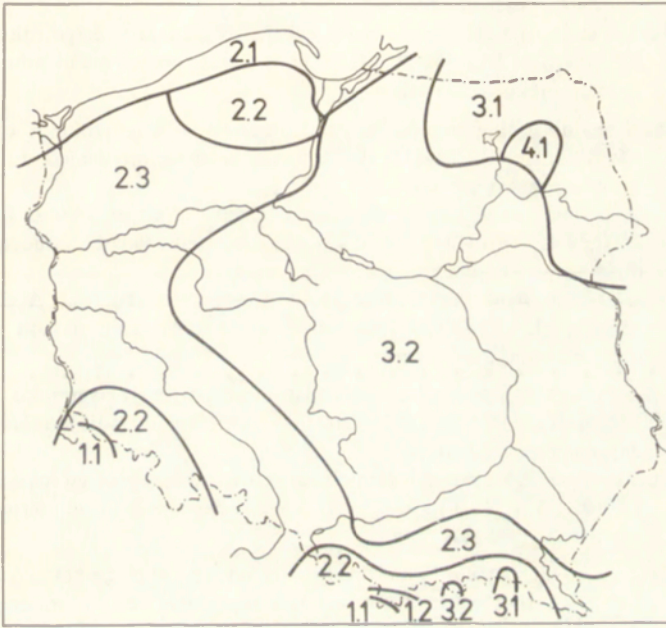
LE/(P + LE + Rl + B) 0,241–250 – bardzo małe obciążenie układu termoregulacji,

LE/(P + LE + Rl + B) 0,251–0,260 – małe obciążenie układu termoregulacji,

LE/(P + LE + Rl + B)  $\geq$  0,261 – umiarkowane obciążenie układu termoregulacji.

Tak więc, w tym podziale istnieje teoretyczna możliwość wystąpienia na obszarze Polski szesnastu jednostek typologicznych różniących się wielkością i rodzajem wymiany ciepła między ciałem człowieka a otoczeniem. Jednak rzeczywiste wartości obu kryteriów podziału sprawiły, że nie w każdej grupie wystąpiły wszystkie teoretyczne możliwe typy. Opracowana w opisany sposób klasyfikacja bioklimatu obejmuje tylko osiem jednostek typologicznych występujących na obszarze Polski, zwanych dalej „typami”. Należy podkreślić, że

mimo iż podstawą typologii są niesformalizowane kryteria podziału, są one jednak ściśle sprecyzowane i dostosowane do potrzeb bioklimatologii człowieka. W tabeli 15 zamieszczono wartości liczbowe obu kryteriów podziału w obrębie wyróżnionych typów bioklimatu, mapa (ryc. 14) zaś przedstawia ich zasięgi przestrzenne.



Ryc. 14. Typy bioklimatu Polski

1.1. Bardzo małe zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży w ciągu roku. Nieznaczne obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem. 1.2. Bardzo małe zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży w ciągu roku. Bardzo małe obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem. 2.1. Małe zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży w ciągu roku. Bardzo małe obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem. 2.2. Małe zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży w ciągu roku. Małe obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem. 2.3. Małe zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży w ciągu roku. Umiarkowane obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem. 3.1. Umiarkowane zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży w ciągu roku. Małe obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem. 3.2. Umiarkowane zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży w ciągu roku. Umiarkowane obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem. 4.1. Znaczne zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży w ciągu roku. Małe obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem

#### The types of bioclimate of Poland

1.1. Very small differentiation of thermal clothing insulation throughout the year. Slightly load of thermoregulative system due to evaporation. 1.2. Very small differentiation of thermal clothing insulation throughout the year. Very small load of thermoregulative system due to evaporation. 2.1. Small differentiation of thermal clothing insulation throughout the year. Very small load of thermoregulative system due to evaporation. 2.2. Small differentiation of thermal clothing insulation throughout the year. Small load of thermoregulative system due to respiration. 2.3. Small differentiation of thermal clothing insulation throughout the year. Moderate load of thermoregulative system due to respiration. 3.1. Moderate differentiation of thermal clothing insulation throughout the year. Small load of thermoregulative system due to respiration. 3.2. Moderate differentiation of thermal clothing insulation throughout the year. Moderate load of thermoregulative system due to respiration. 4.1. Considerable differentiation of thermal clothing insulation throughout the year. Small load of thermoregulative system due to respiration

Tabela 15. Charakterystyka typów bioklimatu Polski wyróżnionych na podstawie wymiany ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem atmosferycznym

Description of the types of bioclimate of Poland distinguished on the basis of the heat exchange between the man and atmosphere

Typ bioklimatu	Charakterystyka wymiany ciepła
1.1.	Bardzo małe zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży w ciągu roku $\Delta \text{clo} \leq 2,50$ $LE/(P + LE + R1 + B) \leq 0,240$ nieznaczne obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem
1.2.	Bardzo małe zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży w ciągu roku $\Delta \text{clo} \leq 0,250$ $LE/(P + LE + R1 + B) 0,241 - 0,250$ bardzo małe obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem
2.1.	Małe zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży w ciągu roku $\Delta \text{clo} 2,51 - 3,00$ $LE/(P + LE + R1 + B) 0,241 - 0,250$ bardzo małe obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem
2.2.	Małe zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży w ciągu roku $\Delta 2,51 - 3,00$ $LE/(P + LE + R1 + B) 0,251 - 0,260$ małe obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem
2.3.	Małe zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży w ciągu roku $\Delta \text{clo} 2,51 - 3,00$ $LE/(P + LE + R1 + B) \geq 0,261$ umiarkowane obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem
3.1.	Umiarkowane zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży w ciągu roku $\Delta \text{clo} 3,01 - 3,50$ $LE/(P + LE + R1 + B) 0,251 - 0,260$ małe obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem
3.2.	Umiarkowane zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży w ciągu roku $\Delta \text{clo} 3,01 - 3,50$ $LE/(P + LE + R1 + B) \geq 0,261$ umiarkowane obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem
4.1.	Znaczne zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży w ciągu roku $\Delta \text{clo} \geq 3,51$ $LE/(P + LE + R1 + B) 0,251 - 0,260$ małe obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem

## 8.2. CHARAKTERYSTYKA TYPÓW BIOKLIMATU POLSKI

Wydzielone w wyżej opisany sposób typy bioklimatu Polski charakteryzują się następującymi cechami:

**Typ. 1.1.** Mieszczą się w nim stacje wysokogórskie: Śnieżka i Kasprowy Wierch. Typ ten odznacza się bardzo małym zróżnicowaniem termoizolacyjności odzieży w ciągu roku, na co wskazują najniższe na obszarze kraju roczne wartości amplitudy badanego wskaźnika (Kasprowy Wierch 2,20 clo, Śnieżka 2,30 clo). Oznacza to, że człowiek (w postawie stojącej) powinien dysponować tu (w godzinach okołopołudniowych) tylko 4 typami odzieży w ciągu roku, lecz o znacznej ciepłochronności (3,00–5,30 clo). Na Śnieżce i Kasprowym Wierchu winny to być różne typy odzieży zimowej (w tym tzw. odzież arktyczna). Energia zużywana na parowanie wody z powierzchni ciała człowieka osiąga tu najmniejszy na terenie kraju udział w strukturze strat ciepła. Według przyjętej klasyfikacji oznacza to nieznaczne obciążenie układu termoregulacji w wyniku tej formy oddawania ciepła.

**Typ 1.2.** W tym typie znajduje się tylko jedna stacja – Zakopane, która ze względu na kotlinne położenie wyróżnia się spośród innych miejscowości górskich i podgórskich. Obserwuje się tu również bardzo małe zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży ( $\Delta$  clo 2,40), lecz do utrzymania komfortu cieplnego w ciągu roku niezbędne jest około 5 typów odzieży, od odzieży sezonów przejściowych (dla lata) do zimowej zwykłej. Obciążenie układu termoregulacyjnego spowodowane parowaniem jest bardzo małe.

**Typ 2.1.** Obejmuje swym zasięgiem Pobrzeża Południowobałtyckie z wyjątkiem Pobrzeża Szczecińskiego. Cechą charakterystyczną warunków bioklimatycznych jest małe zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży. Według przyjętych kryteriów oznacza to, że do utrzymania komfortu termicznego potrzeba tu człowiekowi 5–6 typów odzieży w ciągu roku (od odzieży sezonów przejściowych do zimowej). Udział LE nie osiąga średnio w roku 25% wszystkich strat ciepła, co wskazuje na bardzo małe obciążenie układu termoregulacji spowodowane parowaniem wody z powierzchni ciała człowieka.

**Typ 2.2.** Ten typ bioklimatu obserwowany jest w brzeźnej strefie Karpat Zachodnich (Aleksandrowice, Krynica) i Sudetów (Jelenia Góra, Szczawno-Zdrój, Łądek-Zdrój), a także na Pojezierzu Południowopomorskim (Chojnice). Pod względem intensywności wymiany ciepła, ocenianej za pomocą rocznej amplitudy wskaźnika termoizolacyjności odzieży, ta jednostka typologiczna nie różni się od wyżej opisanej (typ 2.1), z tym że wewnątrz niej różnice są nieco większe. Na przykład wymagania odnośnie do ciepłochronności odzieży są w Sudetach o 0,10–0,20 clo mniejsze niż w Karpatach, i to zarówno latem, jak i zimą. Obciążenie systemu termoregulacyjnego na skutek oddawania ciepła przez parowanie wody jest tu małe.

**Typ 2.3.** Występuje w zachodniej i południowej części kraju, na obszarach o zróżnicowanych warunkach fizycznogeograficznych, a więc: na Pobrzeżu Szczecińskim (Szczecin-Dąbie, Resko), Pojezierzach Południowobałtyckich (Gorzów Wlkp., Bydgoszcz), Nizinach Środkowopolskich (Leszno-Strzyżewice, Opole, Laskowice Oławskie), Wyżynie Śląsko-Krakowskiej (Katowice), na Północnym Podkarpaciu (Tarnów), w Karpatach Zachodnich (Cieszyn, Rabka) i Beskidach Wschodnich (Lesko). W tym typie bioklimatu znalazł się również Zgorzelec. Warunki bioklimatyczne odznaczają się tu małym zróżnicowaniem termoizolacyjności odzieży w ciągu roku. Do utrzymania komfortu termicznego, podobnie jak w typie 2.1 i 2.2, niezbędne jest 5–6 zestawów odzieży. Natomiast obciążenie układu termoregulacyjnego, spowodowane parowaniem na obszarach zaliczanych do tego typu bioklimatu, jest umiarkowane, gdyż  $LE/(P + LE + R1 + B)$  przekracza 0,261, osiągając na Nizinie Śląskiej (Opole, Laskowice Oławskie) nawet 0,273.

**Typ 3.1.** Ten typ bioklimatu charakteryzuje się umiarkowanym zróżnicowaniem termoizolacyjności odzieży w ciągu roku. Dla zagwarantowania komfortu cieplnego człowiekowi przebywającemu na terenach Polski północno-wschodniej (Pojezierza Wschodniobałtyckie, Wysoczyzny Podlasko-Białoruskie) niezbędne jest 6–7 typów odzieży, odznaczającej się wysokimi właściwościami termoizolacyjności, szczególnie w okresie zimowym (4,50–4,80 clo).

Z punktu widzenia udziału strat ciepła na parowanie, na terenach tych obserwuje się małe obciążenie układu termoregulacyjnego. Interesujące jest to, że w tym typie bioklimatu znalazł się również z powodu małego udziału parowania w sumie strat ciepła (0,254), położony w Beskidzie Niskim, Iwonicz-Zdrój. Przyczyny tego zjawiska należy szukać w cechach klimatu lokalnego tego usytuowanego w wąskiej dolinie uzdrowiska. Notowana tu dość wysoka wilgotność powietrza powoduje mniejszą niż gdzie indziej w Karpatach różnicę  $q - q_s$ , a mała prędkość wiatru ogranicza wielkość strumienia LE.

**Typ 3.2.** Obejmuje największy obszar kraju, a więc wschodnią część Pojezierzy Południowobałtyckich (Prabuty, Ciechocinek, Poznań), Nizin Środkowopolskich (Kalisz, Łódź, Poświętne, Ostrołęka, Sinolęka, Skierniewice, Warszawa, Sobieszyn, Topola-Blonie, Wieluń), Polesie Podlaskie (Terespol, Włodawa, Chełm Lubelski), Wyżynę Wschodnio- i Środkowomłopolską (Busko-Zdrój, Puławy, Skroniów) i Północne Podkarpacie (Rzeszów, Kraków). W tym typie znalazła się również, leżąca w Karpatach Zachodnich, w szerokiej dolinie Popradu – Muszyna. Stopień zróżnicowania termoizolacyjności odzieży w ciągu roku nie różni się tu od wyżej opisanego (typ 3.1), odmiennosc polega natomiast na większym udziale strat ciepła na parowanie wody, a tym samym na znacznie większym obciążeniu układu termoregulacji człowieka, które według przyjętej klasyfikacji można określić jako umiarkowane. W tym typie bioklimatu  $LE/(P + LE + Rl + B)$  osiąga największe wartości (np. Kraków 0,274, Terespol i Włodawa 0,270, Poznań-Ławica 0,272).

**Typ 4.1.** W tym typie bioklimatu niezbędne jest znaczne zróżnicowanie termoizolacyjności odzieży. Oznacza to, że przebywający tu człowiek powinien dysponować w ciągu roku co najmniej 7 typami odzieży (o wysokiej ciepłochronności zimą), gwarantującej zrównoważoną wymianę ciepła. Reprezentująca typ 4.1 Biebrza-Pieńczykówkę charakteryzuje się najwyższą w kraju roczną amplitudą wskaźnika termoizolacyjności odzieży (3,60 clo). Natomiast obciążenie układu termoregulacyjnego związane z parowaniem wody nie różni się od obserwowanego w Polsce wschodniej i południowej.

W świetle przedstawionej klasyfikacji można stwierdzić, że warunki bioklimatyczne Polski, oceniane z punktu widzenia wielkości i rodzaju wymiany ciepła, są mało zróżnicowane. Wyraża się to zmianą (o 1,40 clo) rocznej amplitudy wskaźnika termoizolacyjności odzieży: od 2,20 (Kasprowy Wierch) do 3,60 clo (Biebrza-Pieńczykówkę). Pomijając zaś stacje wysokogórskie, z uwagi na ich specyficzne warunki klimatyczne i niewielki zasięg przestrzenny, zróżnicowanie to zmniejsza się do 1,10 clo. Uzyskane wyniki wskazują, że w miarę przesuwania się z zachodu na wschód kraju człowiek powinien zwiększyć (od około 4 do 7) liczbę typów odzieży, która w zmiennych warunkach klimatycznych umożliwi mu utrzymanie zrównoważonej wymiany ciepła i stanu komfortu termicznego. Zróżnicowanie stopnia obciążenia układu termoregulacyjnego na skutek odprowadzania wody z powierzchni ciała człowieka jest na obszarze Polski niewielkie i mało odczuwalne dla jego ustroju. Nie biorąc pod uwagę partii szczytowych Karpat i Sudetów, wartości  $LE/(P + LE + Rl + B)$  rosną z północy na południe.



Porównanie uzyskanych przez autorkę wyników z istniejącymi typologiami bioklimatu Polski jest trudne, z powodu bądź to różnych metod badawczych, bądź też innych materiałów źródłowych, na podstawie których zostały one sporządzone. Przedstawiona typologia, oparta na analizie procesu wymiany energii i strukturze bilansu cieplnego ciała człowieka, jest pierwszą tego rodzaju próbą w polskiej bioklimatologii. Wprawdzie w opracowaniu J. Skrzypskiego (1989) znajdują się dane dotyczące zróżnicowania wskaźnika termoizolacyjności odzieży na obszarze Polski, to jednak nie zostały one wykorzystane przez niego do sporządzenia typologii bioklimatycznej.

Do porównania wyników otrzymanych w niniejszej pracy może służyć jedynie typologia bioklimatu Polski opracowana przez T. Kozłowską-Szczęsną (1991). Mimo innego podejścia metodycznego, wspólną cechą obu tych typologii jest to, że zostały one sporządzone na materiałach pochodzących z tego samego okresu obserwacyjnego (1961–1970). Porównując zatem mapy typów bioklimatu „antropoklimatu” T. Kozłowskiej-Szczęsnej i autorki rozprawy zauważa się następujące różnice:

- inne zasięgi przestrzenne wyróżnionych typów bioklimatu,
- inny przebieg granic typów (w opracowaniu autorki poza górami i wybrzeżem mają one przebieg południkowy, a u T. Kozłowskiej-Szczęsnej – równoleżnikowy).

Porównując obie typologie warto jeszcze zauważyć, że T. Kozłowska-Szczęsna zalicza obszary nadmorskie i górskie do typu bioklimatu silnie bodźcowego, podczas gdy analiza wymiany ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem atmosferycznym wykazała, że tereny te odznaczają się najmniejszym zróżnicowaniem termoizolacyjności odzieży w ciągu roku. Trzeba dodać, że do wyróżnienia typów antropoklimatu T. Kozłowska-Szczęsna przyjęła zarówno kryteria ilościowe w postaci wskaźników i elementów klimatu, jak i jakościowe, szczególnie w odniesieniu do antropoklimatu terenów leśnych i zurbanizowanych. Z bioklimatycznego punktu widzenia te dwie oceny nie wykluczają się wzajemnie, bodźcowość bioklimatu odnoszona jest bowiem do systemu nerwowego człowieka, a w opracowaniu autorki przyjęte wskaźniki odzwierciedlają fizyczne i fizjologiczne procesy zachodzące na powierzchni ciała człowieka w procesie wymiany ciepła.

W tym miejscu należy się jeszcze odnieść do wcześniejszej próby autorki (Krawczyk 1991), zmierzającej do wyróżnienia typów bioklimatu Polski na podstawie temperatury radiacyjno-efektywnej w półroczu ciepłym. Jednak porównywanie poprzedniej typologii z typologią prezentowaną w tej pracy należy czynić z ostrożnością wynikającą z różnic metodycznych. Można zauważyć jednak, że obie typologie różnią się stopniem szczegółowości, ponadto widoczne jest znaczne podobieństwo rozkładu przestrzennego typów bioklimatu. Nowsza typologia, oparta na metodzie bilansowania zysków i strat ciepła, pozwoliła na wydzielenie na obszarze Polski ośmiu typów bioklimatu, podczas gdy przyjęcie temperatury radiacyjno-efektywnej jako miary podobieństwa ujawniło ich aż jedenaście.

## 9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

### 9.1. PODSUMOWANIE

Celem pracy jest zbadanie wielkości i rodzaju wymiany ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem atmosferycznym, w różnych warunkach fizycznogeograficznych Polski. Do realizacji tego celu wybrano model bilansu cieplnego ciała człowieka M. I. Budyko, do którego wprowadzono własne przekształcenia. O wyborze tego modelu zadecydowała jego przydatność dla celów bioklimatycznych, co zostało dowiedzione we wcześniejszej pracy autorki (Krawczyk 1979). Praca została oparta na wartościach średnich miesięcznych elementów meteorologicznych z okresu 1961–1970 (II termin obserwacyjny), dla 57 stacji i posterunków meteorologicznych, rozmieszczonych w miarę równomiernie na obszarze Polski.

Do rozwiązania równania bilansu cieplnego ciała człowieka niezbędne było opracowanie metodyki wyznaczania wartości strumienia promieniowania całkowitego, pochłoniętego przez powierzchnię ciała człowieka. Dysponując tylko danymi dotyczącymi usłonecznienia dla stacji meteorologicznych wykorzystanych w pracy, zastosowano w tym celu wzór Blacka, obliczając odpowiednie (dla II terminu obserwacyjnego) wartości współczynników regresji.

Do celów praktycznych opracowano (na podstawie piśmiennictwa) typologię odzieży, odpowiadającą porom roku w umiarkowanych szerokościach geograficznych.

Dokonano szczegółowej analizy wymiany ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem atmosferycznym biorąc za podstawę:

- wskaźnik termoizolacyjności odzieży (wyrażony w jednostce clo), gwarantującej człowiekowi komfort termiczny,
- strukturę bilansu cieplnego w warunkach komfortu termicznego.

Te dwie charakterystyki wymiany ciepła badano w przebiegu rocznym, uwzględniając dwa rodzaje aktywności fizycznej człowieka:

- mały wysiłek fizyczny (postawa stojąca),  $M = 70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ,
- umiarkowany wysiłek fizyczny (spacer z prędkością  $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ),  $M = 174 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Rozpatrując rozkład sezonowy i przestrzenny średnich wartości wskaźnika termoizolacyjności odzieży uzyskano odpowiedź na następujące pytanie: jaki

typ odzieży jest niezbędny człowiekowi, aby jego wymiana ciepła ze środowiskiem atmosferycznym była zrównoważona, a odczucia termiczne komfortowe?

Otrzymane wyniki rozpatrywano na tle czynników energetycznych (promieniowanie słoneczne pochłonięte przez powierzchnię ciała człowieka nie osłoniętą odzieżą) i dynamicznych (cyrkulacja atmosferyczna), tab. 6, 7.

Zróznicowanie przestrzenne termoizolacyjnych właściwości odzieży gwarantującej komfort termiczny człowiekowi przy małym wysiłku fizycznym jest na obszarze Polski większe w okresie letnim niż zimowym. Uwzględniając stacje wysokogórskie różnice te wynoszą w styczniu 1,40 clo, a w lipcu 2,05 clo. Korzystniej pod względem ciepłochronności odzieży wyróżnia się okres jesienno-wiosenny (szczególnie wrzesień) niż wiosenny. Średnie roczne wartości wskaźnika termoizolacyjności odzieży rosną z południa na północ-wschód, co może świadczyć o wpływie kontynentalizmu klimatu Polski na wielkość wymiany ciepła (tab. 8).

Gdy aktywność człowieka jest umiarkowana, termoizolacyjność odzieży jest mniejsza (o 2–3 clo w miesiącach zimowych i 0,8–1,0 clo w okresie od czerwca do sierpnia) niż w przypadku człowieka stojącego, a różnica na obszarze Polski wynosi: w styczniu 0,70, w lipcu 0,93 clo (tab. 9). Uzyskane informacje mają znaczenie praktyczne dla właściwego wypoczynku i rekreacji.

Cechy struktury bilansu ciepłego rozpatrywano badając stosunek bezwzględnych wartości strumieni ciepła traconego przez powierzchnię ciała człowieka (P, LE, RI, B) do otrzymanego ( $R_k + M$ ). Typologia tej struktury została sporządzona z punktu widzenia dominującej formy wymiany ciepła (ryc. 11).

Wykazano, że w bilansie ciepłym człowieka stojącego przeważał średnio w roku na obszarze Polski udział ciepła jawnego (47–61%), następnie – utajonego związanego z parowaniem wody (20–25%) oraz promieniowanie długofalowe (7–19%) i straty ciepła spowodowane oddychaniem (8–11%) (tab. 10).

Przy umiarkowanym wysiłku fizycznym udział turbulencyjnych strat ciepła jawnego jest nieznacznie większy (ok. 5%) niż opisany wyżej, a maleje udział wymiany ciepła w procesie oddychania (tab. 12).

Odnosząc średnie roczne wartości względnych strat ciepła do wyróżnionych układów strukturalnych można zauważyć, że na przeważającym obszarze kraju, przy obu rodzajach aktywności fizycznej, zaobserwowano tylko jeden typ struktury bilansu ciepłego: konwekcyjno-ewaporacyjny A.1. Na Śnieżce i Kasprowym Wierchu przy małym wysiłku fizycznym człowieka występuje typ A.2.

Rozpatrując sezonową zmienność struktury bilansu ciepłego (przebieg roczny) przy obu rodzajach aktywności fizycznej, ujawniono następujące podobieństwa i różnice, występujące niezależnie od położenia geograficznego badanej miejscowości:

– znaczna przewaga udziału ciepła jawnego nad innymi formami jego wymiany w miesiącach zimowych (styczeń, luty), wyraźniej zaznaczająca się przy umiarkowanym wysiłku fizycznym,

– maksimum roczne transpiracyjnych strat ciepła występuje dla obu rodzajów aktywności fizycznej w lipcu,

– roczne maksimum respiracyjnych strat ciepła obserwuje się w styczniu lub w grudniu, jest ono mniej wyraźnie zaznaczone w sytuacji, gdy człowiek znajduje się w ruchu (ryc. 12, 13).

Uzyskane wyniki pozwoliły na sporządzenie typologii bioklimatu Polski. Jako kryteria wydzielenia typów przyjęto: roczną amplitudę wyznaczonych z równania (14) wartości  $cl_0$  – jako wskaźnika zróżnicowania termoizolacyjności odzieży w ciągu roku, oraz udział strat ciepła na parowanie w sumie strat ciepła – jako miarę obciążenia układu termoregulacji.

Wydzielono na obszarze Polski osiem typów bioklimatu, różniących się stopniem zróżnicowania termoizolacyjności odzieży w ciągu roku oraz obciążeniem układu termoregulacyjnego (ryc. 14). Przedstawiona w pracy typologia i ocena bioklimatu Polski na podstawie wymiany ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem atmosferycznym jest pierwszą tego rodzaju próbą w polskiej bioklimatologii, dotyczącą całego kraju. Na podstawie tej typologii można stwierdzić, że warunki bioklimatyczne kraju są mało zróżnicowane. Na uzyskanie takich wyników złożyć się mogło między innymi przyjęcie wartości średnich dla czynników fizjologicznych i fizycznych, jako danych wejściowych do modelu bilansu cieplnego ciała człowieka.

## 9.2. WNIOSKI

1. Przeprowadzona w pracy analiza sezonowej zmienności wymiany ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem atmosferycznym w różnych warunkach fizycznogeograficznych Polski pozwoliła na realizację postawionego na wstępie celu badawczego: na ocenę bioklimatu i wydzielenie jednostek przestrzennych o jednakowych cechach rozpatrywanych z punktu widzenia gospodarki cieplnej ustroju człowieka.

2. Zastosowana w pracy metoda równoważenia zysków i strat ciepła pozwoliła na uzyskanie informacji, które mogą mieć nie tylko znaczenie poznawcze, poszerzające zakres wiedzy o bioklimacie Polski, lecz również mogą być wykorzystane w praktyce. Ustalenie warunków, jakim powinna odpowiadać noszona odzież, jest istotne bowiem dla ludzi, których zawód wymaga długotrwałego przebywania na otwartym powietrzu.

3. Uzyskane wyniki i ich zgodność z otrzymanymi przez badaczy w krajach graniczących z Polską świadczą o tym, że do rozważań został wybrany właściwy model bilansu cieplnego ciała człowieka, a modyfikacje autorki zostały do niego wprowadzone poprawnie.

4. Korzystając z tych wyników trzeba mieć na uwadze, że dotyczą one przeciętnych warunków klimatycznych panujących w godzinach okołopołud-

niowych oraz tak zwanego średniego człowieka, bez uwzględnienia różnic w indywidualnym funkcjonowaniu układu termoregulacyjnego, wynikających z płci, wieku, stanu zdrowia oraz faktu, że nie całe ciało człowieka jest osłonięte odzieżą, co może mieć znaczenie przy wyznaczaniu strumienia promieniowania pochłoniętego.

5. Zaprezentowane w pracy wyniki dotyczą zmienności sezonowej i przestrzennej wymiany ciepła, podczas gdy klimat Polski odznacza się zmiennością warunków pogodowych w ciągu doby i z dnia na dzień, co może pociągać za sobą krótkookresowe zróżnicowanie badanych zjawisk. Trzeba podkreślić, że oparcie obliczeń na średnich miesięcznych wartościach poszczególnych elementów meteorologicznych wynikało z braku codziennych danych dotyczących promieniowania słonecznego, dla wystarczającej na potrzeby tej pracy liczby stacji. Te ograniczenia sprawiają, że uzyskane wyniki nie wyczerpują wszystkich zagadnień związanych z kształtowaniem się wymiany ciepła, stanowią jednak podstawę ogólnej oceny warunków bioklimatycznych Polski.

6. Zastosowana w pracy metoda badawcza, w której wykorzystano najnowsze wyniki badań z dziedziny termofizjologii, stanowi ważny instrument badawczy w bioklimatologii, pozwala bowiem na uwzględnienie w sposób kompleksowy wszystkich czynników meteorologicznych biorących udział w procesie kształtowania wymiany ciepła, a także czynników fizjologicznych i rodzaju aktywności fizycznej człowieka. Przeszkodą w powszechnym jej stosowaniu może być duża pracochłonność.

## LITERATURA

- Afanaseva R. F., 1972, *Klimat i gigeničeskie trebovanija k odežde* (w:) *Klimat i celovek*, Vopr. Geogr., 89, 89–100.
- Ajzenštat B. A., 1971, *Radiacionnoe vlijanie elementov okružajuščej sredy na teplovaj režim celoveka*, Trudy SARNIGMI, 53/68, *Fizika atmosfery i voprosy biometeorologii*, 3–27.
- 1973, *Bioklimatičeskij atlas Srednej Azji*, Moskva, Gidrometeoizdat.
- 1974, *Metod opredelenija termoizolacionnyh svojstv odeždy obespečivajuščih sostojanie teplovogo komforta*, Trudy SARNIGMI, 20/101, 67–72.
- 1978, *Bioklimatičeskoe rajonirovane territorii Srednej Azji*, Trudy SARNIGMI, 57/138, *Voprosy prikladnoj klimatologii i biometeorologii*, 3–24.
- Ajzenštat B. A., Denisov J. M., Karpaceva O. F., 1974, *Matematičeskaja model' termo-regulacii celoveka pri stacionarnykh uslovijah v zavisimosti ot meteorologičeskikh faktorov*, Trudy SARNIGMI, 20/101, 3–16.
- Ajzenštat B. A., Lukina L. P., 1982, *Klimat i mikroklimat Taskenta*, Leningrad, Gidrometeoizdat.
- Alfano G., d'Ambrosio F. R., 1988, *Clothing: an essential individual adjustment factor for obtaining general thermal comfort*, *Healthy Build*, 88, Stockholm, 2, 355–362.
- Auliciems A., 1981, *Towards a psycho-physiological model of thermal perception*, *Int. J. Biomet.*, 25, 109–122.
- Auliciems A., Freitas C. R., de, 1976, *Cold stress in Canada, A human climatic classification*, *Int. J. Biomet.*, 20, 4, 287–294.
- Baranowska M., Boniecka-Żółcik H., Gurba A., 1986, *Weryfikacja skali klimatu odczuwalnego dla Polski*, *Przegl. Geofiz.*, 31, 1, 27–40.
- Birjukova L. A., 1966, *O metodike klimatologičeskogo rasčeta sutočnogo hoda summarnoj i pogloščennoj radiacii*, Trudy GGO, 66/128, 33–36.
- Bligh J., Johnson K. G., 1973, *Glossary of terms for thermal physiology*, *J. Appl. Physiol.*, 35, 6, 941–961.
- Błażejczyk K., 1983, *Bioklimatyczna ocena i typologia uzdrowisk Polski*, *Dok. Geogr.*, 3.
- 1984, *Bioklimatyczna klasyfikacja klimatów lokalnych z zastosowaniem do badania uzdrowisk*, *Czas. Geogr.*, 55, 4, 491–505.
- 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:) *Problemy współczesnej topoklimatologii*, Conf. Pap. IGiPZ PAN, 4, 166–174.
- 1990b, *Zróżnicowanie biotopoklimatyczne wybranych typów krajobrazu* (w:) *Problemy współczesnej topoklimatologii*, Conf. Pap. IGiPZ PAN, 4, 175–187.
- 1991, *Heat balance of the human body in different weather conditions in North-East Poland (the problem of thermal stress)*, *Grana* 30, Stockholm, 277–280.
- 1993, *Wymiana ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem w różnych warunkach środowiska geograficznego*, *Prace Geogr. IGiPZ PAN*, 159.
- Błażejczyk K., Krwaczyk B., 1991, *The influence of climatic conditions on the heat balance of the human body*, *Int. J. Biomet.*, 35, 2, 103–106.

- Boguszewska M., Kobyliński R., Kraska T., Kapuścińska E., 1960, *Badania porównawcze nad ciepłochronością odzieży wojskowej*, Lek. Wojsk., 4, 408–423.
- Boguszewska M., Lotach H., 1960, *Ilościowa ocena badań porównawczych odzieży przemysłowej i polowej*, Post. Hig., 14, 6, 679–690.
- Budyko M. I., 1975, *Klimat i życie*, (tłum.) PWN, Warszawa.
- Budyko M. I., Cicenکو G. V., 1960, *Klimatičeskie faktory teploščuščeniija celoveku*, Izv. AN SSSR, ser. geogr., 3, 3–10.
- Burt J. E., O'Rourke P. A., Terjung W. H., 1982a, *The relative influence of urban climates on outdoor human energy budgets and skin temperature*. *Man in an urban environment*, Int. J. Biomet., 26, 1, 25–35.
- 1982b, *View-factors leading to the stimulation of human heat stress and radiant exchange: an algorithm*, Arch. Met. Geophys. Bioklim. B., 30, 4, 321–331.
- Büttner K., 1938, *Physikalische Bioklimatologie, Probleme und Methoden*, Leipzig, Akad. Verl.
- 1951, *Physical aspects of human bioclimatology (w:) Compendium of Meteorology*, Boston, 1112–1125.
- Cena M., Słomka J., 1966, *Ochładzanie bioklimatyczne na obszarze Polski na tle rozkładu ochładzania na kuli ziemskiej*, Roczn. Nauk. Roln., D, 119, 33–88.
- Cicenکو G. V., 1965, *Osobennosti dnevnogo hoda harakteristik teplozaščitnyh svoistv odeždy*, Trudy GGO, 179, 180–185.
- Clark R. P., Edholm O. G., 1985, *Man and his thermal environment*, E. Arnold Publ., London.
- Dang Kim Nhung, 1990, *Typologija i ocenka bioklimata Vetnana*, maszynopis (w jęz. rosyjskim), Zakład Klimatologii IGIPZ PAN.
- Efimova N. A., 1961, *K metodike rasčeta mesjacnyh velicin efektiwnogo izlučeniija*, Met. i Hidrol., 10, 28–33.
- Fanger P., 1974, *Komfort cieplny* (tłum.), Arkady, Warszawa.
- Freitas C. R., de, 1985, *Assessment of human bioclimate based on thermal response*, Int. J. Biomet., 29, 2, 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, 1, 157–164.
- Gagge A. P., Burton A. C., Bazett H. C., 1941, *A practical system of units for the description of the heat exchange of man and his environment*, Science, 94, 428–430.
- Givoni B., 1976, *Man, climate and architecture*, Appl. Sci. Publ., London.
- Gojsa N. J., 1963, *Ob učete vlijanija oblacnosti pri klimatologičeskih rasčetah summarnoj radiacii i efektiwnogo izlučeniija*, Trudy UNIGMI, 35, 42–62.
- Goldman R. F., 1980, *Evaluating the effects of clothing on the wearer (w:) K. Cena, J. A. Clark (red.), Bioengineering, thermal physiology and comfort*, Wrocław Techn. Univ. Press, Wrocław – Elsevier Scient. Publ. Comp., s. 41–56.
- Gonzales R. R., Nishi Y., Gagge A. P., 1974, *Experimental evaluation of Standard Effective Temperature. A new biometeorological index of man's thermal discomfort*, Int. J. Biomet., 18, 1, 1–15.
- Gregorczyk M., 1967a, *Znaczenie odzieży jako czynnika środowiska biometeorologicznego*, *Odzież*, 18, 8 (206), 225–227.
- 1967b, *Bioklimatyczne podstawy rejonizacji Polski dla celów higieny odzieży*, *Odzież*, 18, 9 (207), 262–264.
- 1968, *Regiony bioklimatyczne Polski*, *Czas. Geogr.*, 39, 2, 125–136.
- Gregorczyk M., Cena K., 1967, *Distribution of effective temperature over the surface of the earth*, Int. J. Biomet., 11, 145–149.
- Gvasalija N. V., 1986, *Teplovoj balans Gruzii*, Tbilisi, Mecniereba.
- Hajrulin K. S., 1973, *Metodika ocenki zimnih pogodnyh uslovij diskomfortnyh dla celoveku*, Trudy GGO, 303, 104–114.
- Hammer N., 1985, *Ein Energiebilanzmodell des Menschen. Die Energiebilanz in einen Schneebiwak*, *Wetter u. Leben*, 37, 2, 73–87.

- Hammer N., Koch E., Rudel E. 1986, *Die Beurteilung der thermischhygrischen Befindlichkeit des Menschen nach verschiedenen Methoden*, Arch. Met. Geophys. Bioklim., B, 36, 3-4, 343-355.
- 1989, *Klimagerechte Bekleidung im Hochgebirge*, Wetter u. Leben, 41, 1-4, 235-241.
- Hentschel G., 1987, *A human biometeorology classification of climate for large and local scale (w): Climate and human health*, Proceedings of the Symposium in Leningrad 22-26 Sept. 1986, 1, 120-138.
- Holmer I., 1988, *Assessment of cold stress in terms of required clothing insulation - IREQ*, Int. J. Ind. Ergon., 3, 159-166.
- 1989a, *Recent trends in clothing physiology*, Scand. J. Work Envir. Health, 15, suppl., 1, 58-65.
- 1989b, *Relevance of required clothing insulation (IREQ) for the assessment of cold environments*, Proceedings of the 13th Symposium on Man-Thermal Environment System. Sapporo 1989, 190-193, Hokkaido Univ.
- Hoppe P., 1979, *Energetisches Modell der Respiration*, Wiss. Mitt., Met. Inst., Univ. München, 35, 155-160.
- 1981, *Temperature of expired air under varying climatic conditions*, Int. J. Biomet., 25, 2, 127-132.
- 1982a, *Physikalische Prinzipien in der Biometeorologie*, Promet. Met. Fortbild., 3/4, 4-9.
- 1982b, *Der Wasserverlust des Menschen unter verschiedenen Klimabedingungen*, Wiss. Mitt. Met. Inst., Univ. München, 45, 34-47.
- 1986a, *Die Energiebilanz des menschlichen Körpers und ihre Anwendungsmöglichkeiten*, Deutsche Met. Ges. e.V. (Traben-Trarbach) Mitt., 3/86, 12-16.
- 1986b, *Die thermische Komponente des Stadtklimas, Bioklima in der Stadt*, Wiss. Mit. Met. Inst., Univ. München, 53.
- 1987, *Experimentelle Untersuchungen zur Wärmebilanz des Menschlichen Körpers*, Wiss. Mitt. Met. Inst., Univ. München, 58, 29-40.
- Höschele K., 1970, *Ein Modell zur Bestimmung des Einflusses der Klimatischen Bedingungen auf den Wärmehaushalt und das thermische Befinden des Menschen*, Arch. Met. Geophys. Bioklim., B, 18, 1, 83-99.
- ISO/DIS 9920, 1991, *Ergonomics of the thermal environment - Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of clothing ensembles*, Int. Org. Stand. Geneva.
- ISO/DIS 7933, 1989, *Hot environments - Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation required sweat rate*, Int. Org. Stand. Geneva.
- Jankowiak J., Parczewski W. (red), 1978, *Bioklimat uzdrawisk polskich*, Wyd. Komunik. i Łączności, Warszawa.
- Jaurequi E., Soto C., 1967, *Wet-bulb temperature and discomfort index areal distribution in Mexico*, Int. J. Biomet., 11, 1, 21-28.
- Jendritzky G., 1990, *Bioklimatische Bewertungsgrundlage der Räume am Beispiel von meso-skalierten Bioklimakarten (w): H. Schirmer (red.), Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen*, ARL Hannover, 114, 7-69.
- Jendritzky G., Menz G., 1987, *Bioclimatic maps of heat exchange of the human being in different scales (w): Climate and human health*, Proceedings of the Symposium in Leningrad 22-26 Sept. 1986, 2, 107-115.
- Jendritzky G., Sievers U., 1986, *Numerical simulation of the thermal environment of the human being in the street canyons (w): Climate and human health*, Proceedings of the Symposium in Leningrad 22-26 Sept. 1986, 2, 171-179.
- Jokl M. V., 1965, *Hodnoceni mikroklimatickyh podminek na pracovištih*, Pracovni Lek., 17, 9, 408-423.
- 1982, *Standard layers - a new criterion of the thermal insulation properties of clothing*, Int. J. Biomet., 26, 1, 37-48.
- Jokl M. V., Moos P., 1990, *The nonlinear solution of the thermal interaction of the human body with its environment*, Proceedings of the Symposium on human biometeorology, Štrbske Pleso, Nov. 8-10 1988, 153-159.



- Kandror I. S., Demina D. M., Ratner E. M., 1974, *Fizjologičeskie principy sanitarno-klimatičeskogo rajonirovanija territorii SSSR*, Moskva, Medicina.
- Kandror I. S., Demina D. M., Ratner E. M., Evlampieva N. M., Muraveva G. I., 1966, *Eksperimentalnaja proverka primenimosti uravnenija teplovogo balansa M. I. Budyko i G. V. Cicenka dla opredelenija teplovogo sostojanija celoveka v naturnyh uslovijah*, Gig. Sanit., 3, 51–57.
- Kavalauskas B. M., 1977, *Ocenka bioklimatičeskich uslovij Litovskoj SSR i Kaliningradskoj oblasti RSFSR na osnove teplozaščitnyh svoistv odeždy*, Trudy Akad. Nauk Litovskoj SSR, B, 2/99, 139–147.
- Klonowicz S., Kozłowski S., 1970, *Człowiek a środowisko termiczne*, PZWL, Warszawa.
- Kondracki J., 1978, *Geografia fizyczna Polski*, PWN, Warszawa.
- Kondratev K. Ja., 1950, *Perenos dlinnovolnovogo izlučenija v atmosfere*, Moskva, Gos. Izd. Teh. Teor. Lit.
- Kovrigo P. A., 1978, *Bioklimatičeskie resursy Belorussi*, Vest. Belorus. Gos. Univ., II, 2, 57–62.
- Kozłowska-Szczęśna T. (red.), 1985, *Metody badań bioklimatu człowieka*, Probl. Uzdrow., 1/2, 207/208.
- 1991, *Wyniki badań bioklimatu Polski, cz. II*, Dok. Geogr., 1.
- Kozłowska-Szczęśna T., 1987a, *Types of bioclimate in Poland*, Geogr. Pol., 53, 135–140.
- 1987b, *Typy bioklimatu Polski*, Probl. Uzdrow., 5/6, 235/236, 37–47.
- 1991, *Antropoklimat Polski (próba syntezy)*, Zesz. IGiPZ PAN, 1.
- Kozłowski S., 1986, *Granice przystosowania*, WP, Warszawa.
- Krawczyk B., 1979a, *Próba zastosowania metody bilansu cieplnego ciała człowieka do oceny bioklimatu uzdrowiska*, Probl. Uzdrow., 9/10, 143/144, 275–279.
- 1979b, *Bilans cieplny ciała człowieka jako podstawa podziału bioklimatycznego obszaru Iwonicza*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 131.
- 1980, *Bilans cieplny ciała człowieka jako podstawa kartowania na potrzeby bioklimatologii (w:) M. Kluge (red.), Metody opracowań topoklimatycznych*, Dok. Geogr., 3, 57–65.
- 1983, *Topoclimatic investigations of health resorts*, Geogr. Pol., 45, 47–58.
- 1984a, *The structure of the heat balance of the human body at the Polish coast of the Baltic Sea*, Z. Met., 34, 3, 175–183.
- 1984b, *Struktura bilansu cieplnego ciała człowieka na wybrzeżu Bałtyku (w:) T. Kozłowska-Szczęśna (red.), Problemy bioklimatologii uzdrowiskowej, cz. V*, Dok. Geogr., 1/2, 103–115.
- 1988, *Uciążliwość warunków biotermicznych w Polsce*, Probl. Uzdrow., 9/10, 251/252, 83–94.
- 1991, *Próba typologii bioklimatu Polski na podstawie temperatury radiacyjno-efektywnej*, Przegł. Geogr., 63, 1/2, 43–55.
- Krawczyk B., Błażejczyk K., 1991, *Wstępne badania bilansu cieplnego ciała człowieka na pustyni Kara-kum*, Przegł. Geogr., 63, 1/2, 143–154.
- Kravčik B., Błażejčik K., Bcgov J., Ščerbak E., 1991, *Issledovanie teplovogo balansa tela čeloveka na pustyne Karakumy*, Probl. Osvoenija Pustyn, 5, 58–65.
- Kričagin V. I., Cicenka G. V., 1961, *Sraunenie rasčitanyh i izmerenyh velicin summarnoj solnečnoj radiacii postupájusčeju na poverhnoš' neorientirovannogo cilindra*, Trudy GGO, 161, 119–121.
- Kuczmarowski M., 1982, *Ustłonecznienie w Polsce w okresie 1961–1970*, Czas. Geogr., 53, 2, 149–157.
- Landsberg H. E., 1972, *The assessment of human bioclimate*, Tech. Note, 123, WMO, 331, Geneva.
- Lee D. H. K., 1980, *Seventy-five years of searching for heat index*, Envir. Res., 22, 331–356.
- Lee D. H. K., Lemons H., 1949, *Clothing for global man*, Geogr. Rev., 39, 1, 181–213.
- Leško R., 1969, *Warunki cieplne morskich plaż polskiego Bałtyku*, Przegł. Geofiz., 14/22, 3–4, 321–330.
- Liopo T. N., 1968, *Nomogramna dla opredelenija harakteristik teplozaščitnyh svojstv odeždy obespečivajuščij teplovoj komfort*, Trudy GGO, 233, 156–160.
- Liopo T. N., Cicenka G. V., 1971, *Klimatičeskie uslovija i teplovoe sostojanie celoveka*, Gidrometeoizdat, Leningrad.

- Marinov V. K., 1971, *Physiological climatic division into districts of Bulgaria*, (w:) *Atlas kurortno rajoniranje na NR Bulgarija*, Sofia, Min. na Narodnoto Zdrave.
- Mayer H., 1977a, *Die menschliche Wärmebilanz in Sommer in einer Wald-, einer Stadt- und einer Meeresküstenatmosphäre*, Arch. Met. Geophys. Bioklim., B, 2, 177-189.
- 1977b, *Zu den bioklimatischen Eigenschaften der Waldluft*, Z. Met., 27, 4, 216-224.
- 1977c, *Vergleichende Berechnung des Energieumsatzes bei der Atmung*, Int. J. Biomet., 21, 4, 319-324.
- 1982, *Die menschliche Energiebilanz in Inneräumen und im Freien*, Wiss. Mit. Met. Inst., Univ. München, 45, 15-33.
- Mayer H., Hoppe P., 1987, *Thermal comfort of man in different urban environments*, Theor. Appl. Clim., 38, 1, 43-49.
- Menz G., 1990, *Mikroskalige bioklimatologische Geländeaufnahme mit Satellitendaten* (w:) H. Schirmer (red.), *Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen*, ARL Hannover, 114, 70-80.
- Miara K., Paszyński J., 1986, *Albedo powierzchni trawiastej w półroczu chłodnym*, Zakład Klimatologii IGI-PZ PAN, maszynopis.
- Miara K., Paszyński J., Grzybowski J., 1987, *Zróźnicowanie przestrzenne bilansu promieniowania na obszarze Polski*, Przegł. Geogr., 59, 4, 487-509.
- Milevskij V. J., 1960, *Effektynnye temperatury na Evropejskoj territorii SSSR*, Vopr. Prikl. Klimat. Sbornik statej, Leningrad, Gidrometeoizdat, 110-117.
- 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, 3, 184-198.
- Mount L. E., Brown D., 1985, *The calculation from weather records of the requirement for clothing insulation*, Int. J. Biomet., 29, 4, 311-321.
- Munson D. M., Hayter R. B., 1978, *An overview of clothing as it relates to the physiology of human*, ASHRAE Trans., 84, 1, 719-723.
- Nielsen B., Kassow K., Aschengreen F. E., 1988, *Heat balance during exercise in the sun*, Eur. J. Appl. Physiol., 58, 189-196.
- Nishi Y., 1980, *Measurements of thermal balance of man*, (w:) K. Cena, J. A. Clark (red.), *Bioengineering, thermal physiology and comfort*, Wrocław Techn. Univ. Press, Wrocław - Elsevier Scient. Publ. Comp., 29-39.
- Nishi Y., Gonzalez R. R., Gagge A. P., 1978, *Clothing insulation as a biometeorological parameter during rest and exercise*, Int. J. Biomet., 22, 3, 177-190.
- Oksenič I. G., 1981, *Aridnyj klimat Turkmenistana i vozdejstvie ego na celoveka*, Ylym, Ašhabad.
- Osuchowska-Klein B., 1973, *Analiza rocznych przebiegów częstości występowania w Polsce makrotypów cyrkulacji atmosferycznej*, Przegł. Geofiz., 18 (269), 3-4, 223-242.
- Palm I. A., 1974, *Režim nekotorych meteorologičeskich charakteristik bioklimata celoveka v Estonii*, Izd. Tartu. Gos. Univ.
- Paszyński J., Niedźwiedz T., 1991, *Klimat* (w:) L. Starkel (red.), *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, 296-354.
- Pennas P. J., 1984, *A study of the discomfort index on the islands of Mediterranean Sea*, Arch. Met. Geophys. Bioklim., B, 34, 4, 365-373.
- Podogrocki J., 1978, *Spatial distribution of global solar radiation in Poland*, Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci., D-5(120), 17-30.
- Polska Norma PN-085/N-08013*, 1985, *Środowisko termiczne umiarkowane. Określenie wskaźników PMV, PPD i wymagań dotyczących komfortu termicznego*, Polski Komitet Normalizacji Miar i Jakości.
- Povolockaja N. P., 1975, *Ispolzovanie metoda teplovogo balansa v dozimetrii i dozirovanii solnečnyh i vozdušnyh vann* (w:) *Voprosy medicinskoj klimatologii i klimatoterapii bolnyh na kurortah*, Inst. Kurort, Piatigorsk, 64-78.
- Prilipko G. I., 1982, *Klimat Tallina*, Gidrometeoizdat, Leningrad.
- Raik A. A., Pahapill L. N., 1986, *Prodolžitelnoš' solnečnogo sijanija kak vozmožnaja osnova klassifikacii pogod letnego perioda*, Mater. Met. Issled., 11, 70-71.

- Rewerski W., Kozłowski S., Korolkiewicz Z., Wróblewski T., 1972, *Termoregulacja*, PZWL, Warszawa.
- Robakowski K., Kołacińska B., 1967, *Zadania odzieży w zakresie termoregulacji organizmu ludzkiego*, Przegł. Włókienniczy, 21, 4-5, 275-278.
- Rodrigues C., Mateos J., Garmendia J., 1985, *Biometeorological comfort index*, Int. J. Biomet., 29, 2, 121-129.
- Rubinstein M., Granor E., Ohring G., 1980, *Areal distribution of the discomfort index in Israel*, Int. J. Biomet., 24, 4, 310-322.
- Rusanov V. I., 1973, *Metody issledovanija klimata dla medicinskih celej*, Izd. Tomsk. Gos. Univ. - 1987, *K ocenke pogodno-klimatičeskich kontrastov*, SO SSSR, 1, 14-19.
- Rusanov V. I., Jakovenko E. S., Stroiteleva G. P., Sluckaja G. F., 1977, *Bioklimatičeskij atlas Sibirii i Dalnego Vostoka*, Izd. Tomsk. Gos. Univ.
- Sakali L. I., 1980, *Klimat Kieva*, Gidrometeoizdat, Leningrad.
- Sakali L. I., Dmitrenko L. V., Kiptenko E. N., 1981, *Bioklimatičeskaja charakteristika Ukrainskih Karpat*, IX Międzynarodowa Konferencja po Meteorologii Karpat, Sofia 13-16 XI 1979, Sbornik докладov, 149-158.
- Savikovskij I. A., 1986, *Teplovoj balans tela čeloveka v uslovijah Minska (w:) Klimatičeskie resursy Belorusii i racionalnoe ih ispolzovanie*, Minsk, Izd. Univ., 117-127.
- Seifert G., 1958, *Das Klima der DDR dargestellt durch Effectivtemperaturen*, Z. Met., 12, 11-12, 328-338.
- Seppanen O., McNall, Munson D. M., Sprague C. H., 1972, *Thermal insulating for typical indoor clothing ensembles*, ASHRAE Trans., 78/1, 120-130.
- Skrzypski J., 1981a, *Bilans cieplny ciała człowieka podczas kąpieli słonecznych*, Probl. Uzdrow., 9/12, 167/170, 95-106.
- 1981b, *Zastosowanie analizy bilansu cieplnego metodą Fanger'a do oceny termicznych warunków klimatoterapii*, Probl. Uzdrow., 1/4, 159/162, 63-80.
- 1989, *Zastosowanie analizy bilansu cieplnego ciała człowieka zmodyfikowaną metodą Fanger'a do oceny bioklimatu i termicznych warunków klimatoterapii*, Probl. Uzdrow., 7/8, 261/262.
- Smithson P. A., 1984, *Atmospheric cooling power in Arctic Norway*, Arch. Met. Geophys. Bioklim., B, 33, 4, 373-386.
- Smithson P. A., Baldwin H., 1979, *The cooling power of wind and its influence on human comfort in upland areas of Britain*, Arch. Met. Geophys. Bioklim., B, 27, 4, 361-380.
- Socha-Dudek E., 1986, *Wzornictwo odzieży chroniącej przed zimnem*, Prace i Mater. IWP, 104.
- Sołtyński K., 1988, *Calkowita, efektywna i podstawowa izolacja odzieży*, Prace CIOP, 38, 139, 157-163.
- Sorrentino U., 1988, *Meteorologičeskie i klimatologičeskie indeksy i ih ispolzovane v sujazi s klimatičeskoj i bioklimatičeskoj klassifikaciej (w:) Klimat i zdorove čeloveka*, Trudy Mežd. Symp. Leningrad 22-26 VIII 1986, Gidrometeoizdat, 160-173.
- Steadman R. G. 1971, *Indices of wind chill on clothed person*, J. Appl. Met., 10, 674-683.
- 1979, *The assessment of sultriness*, J. Appl. Met., 18, 861-885.
- Śliwińska E., 1988, *Odzież jako bariera cieplna między człowiekiem a środowiskiem*, Odzież, 39, 7, 189-191.
- Taesler R., 1987, *Climate characteristics and human health (w:) Climate and human health*, Proceedings of the Symposium in Leningrad 22-26 Sept. 1986, 1, 81-120.
- Terjung W. H., 1967a, *The geographical application of some selected physioclimatic indices to Africa*, Int. J. Biomet., 11, 1, 5-19.
- 1967b, *Annual physioclimatic stress and regimes in the United States*, Geogr. Rev., 57, 2, 225-240.
- 1968, *World patterns of the distributions of the monthly Comfort Index*, Int. J. Biomet., 12, 2, 119-153.
- 1970, *The energy budget of man at high altitudes*, Int. J. Biomet., 14, 1, 13-43.
- 1974, *Energy balance between atmosphere and living organism (w:) S. W. Tromp (red.), Progress in biometeorology*, 1, 1, 55-58.

- Terjung W. H. et al., 1970, *The energy balance climatology of a city-man system*, Ann. Ass. Am. Geogr., 60, 3, 466-492.
- Tuller S. E., 1975, *The energy budget of man: variations with aspect in downtown urban environment*, Int. J. Biomet., 19, 1, 2-13.
- Tyczka S., 1964, *Bioklimat Kolobrzegu*, Acta Geogr. Lodz., 18.
- Vadovskaja J. V., Rappoport K. A., Čubukov L. A., Feldman J. I., 1960, *Klimatologičeskoe obosnovanie rajonirovanija SSSR dla calej gigeny odeždy*, Vopr. Prikl. Klimat., Sbornik statej, Leningrad, Gidrometeoizdat, 120-137.
- Webb P., 1971, *Metabolic heat balance data for 24-hour period*, Int. J. Biomet., 15, 2-4, 151-155.
- Weihe W. H., 1987, *Heat balance of man in relation to health*, *Climate and human health (w: Climate and human health*, Proceedings of the Symposium in Leningrad 22-26 Sept. 1986, 1, 143-169.
- Wenzel H. G., 1985, *Wärmebilanz des Menschen in Verschiedenen Klimaten*, Ann. Met. (Neue Folge), Internationale Tagung für Human Biometeorologie, 22, 12-16.
- Young K. C., 1979, *The influence of environmental parameters on heat stress during exercise*, J. App. Met., 18, 886-897.
- Yoshimura H., Marimoto T., 1974, *Seasonal variations of basal metabolism and body fluid (w: S. W. Tromp (red.), Progress in biometeorology, div. A, Progress in human biometeorology, 1, 1B, 549-556.*

WYKAZ SYMBOLI STOSOWANYCH W PRACY

Symbol	Charakterystyka	Wymiar
Parametry meteorologiczne		
S	natężenie bezpośredniego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą	$W \cdot m^{-2}$
D	natężenie promieniowania rozproszonego na powierzchnię poziomą	$W \cdot m^{-2}$
r	natężenie promieniowania odbitego na powierzchnię poziomą	$W \cdot m^{-2}$
$K^{\downarrow}$	promieniowanie całkowite	$W \cdot m^{-2}$
$K_o^{\downarrow}$	promieniowanie słoneczne na górnej granicy atmosfery	$W \cdot m^{-2}$
s	usłonecznienie rzeczywiste	h
$s_o$	usłonecznienie astronomiczne możliwe	h
T	temperatura powietrza	$^{\circ}C$ lub K
$T_g$	temperatura powierzchni ziemi	K
e	prężność pary wodnej	hPa
q	wilgotność właściwa powietrza	$g \cdot g^{-1}$
f	wilgotność względna powietrza	%
v	prędkość wiatru	$m \cdot s^{-1}$
n	zachmurzenie	w skali 0-1
c	współczynnik charakteryzujący rodzaj chmur	bezwymiarowy
Parametry fizyczne		
h	wysokość Słońca	$^{\circ}$
$\sigma$	współczynnik emisyjności = 0,95	bezwymiarowy
$\delta$	stała Stefana-Boltzmana	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$
$C_p$	pojemność cieplna powietrza	$J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$
L	utajone ciepło parowania	$J \cdot g^{-1}$
$\rho$	gęstość powietrza	$g \cdot m^{-3}$
d	współczynnik dyfuzji turbulencyjnej	$cm \cdot s^{-1}$
$\alpha_o$	albedo powierzchni ziemi	bezwymiarowe
Parametry fizjologiczne		
$T_s$	średnia ważona temperatura skóry	$^{\circ}C$ lub K
$T_x$	temperatura powietrza na poziomie zewnętrznej powierzchni odzieży	K
$q_s$	wilgotność właściwa powietrza nasyconego w temperaturze skóry człowieka	$g \cdot g^{-1}$
$q_x$	wilgotność właściwa powietrza na poziomie zewnętrznej powierzchni odzieży	$g \cdot g^{-1}$

Symbol	Charakterystyka	Wymiar
a	wskaźnik wielkości powierzchni zwilżonej ciała człowieka	bezwymiarowy
M	ciepło metaboliczne	$W \cdot m^{-2}$
$\alpha_s$	średnie albedo skóry i odzieży = 0,30	bezwymiarowe
K'	współczynnik przewodnictwa cieplnego odzieży	$cm \cdot s^{-1}$
Icl	całkowity opór cieplny odzieży	$clo, K \cdot m^2 \cdot W^{-2}$

## THE TYPOLOGY AND EVALUATION OF THE BIOCLIMAE OF POLAND ON THE BASIS OF THE HUMAN BODY HEAT BALANCE

### Summary

The study deals with the forming of heat balance of the human body over the territory of Poland. The seasonal and spatial variability of heat exchange between man and his surrounding has been established. It is the basis for the evaluation and bioclimate typology of Poland.

The investigations are based on Budyko's model which includes all the significant meteorological factors – which influence the heat balance of the human body as well as the kind of clothes and the level of man's activity. The modified equation of the human heat balance has the following form:

$$R_k + M = P + LE + R_l + B,$$

where:  $R_k$  – solar radiation absorbed by the human body surface,  $M$  – metabolic heat production,  $P$  – sensible heat losses (by convection),  $LE$  – evaporative heat losses,  $R_l$  – heat exchange by long-wave radiation,  $B$  – heat exchange due to respiration.

The heat exchange by conduction (through contact with the ground) was not taken into consideration because of its insignificant numerical values. The human body is considered as a vertical cylinder. The mean monthly values (for the 13<sup>00</sup> official time) of meteorological parameters from 57 meteorological stations and posts were the basis of the solution of the heat balance equation.

The above equation and the successive approximations method of computation were applied to estimate the following characteristics:

– seasonal and geographical differentiation of the structure of the human body heat balance, i. e. the ratio of absolute values of heat losses by the human organism ( $P$ ,  $LE$ ,  $R_l$ ,  $B$ ) to its total gains ( $R_k + M$ );

– seasonal and geographical differentiation of the thermal insulation of clothing (in clo values) required for heat equilibration and the thermal comfort of man (defined by the mean skin temperature of 32/33° C). For many practical purposes the thermal insulating of clothing is treated as an index useful for the evaluation of bioclimatological conditions in different spatial scales.

The calculations were performed two levels of human activity:

a) standing (with  $M = 70 \text{ W/m}^2$ ),

b) walking speedily 5 km/h (with  $M = 174 \text{ W/m}^2$ ).

The results of the calculations were analyzed against the background of the dynamic factors of climate and radiative resources of the bioclimate of Poland. It was proved that:

– The spatial differentiation of required clothing insulation for man in standing posture is greater in the summer season than in winter. Including the mountainous stations, it varies from: 1.40 clo in January to 2.05 clo in July (Table 8);

– The mean annual values of thermal insulation of clothing increase from south to north-east Poland;

– For the walking man, the thermal insulation of clothing gets lower than for man in standing posture. The differences are 2–3 clo in the winter season and 0.8–1.0 clo in the summer (June–August) (Table 9);

– The structure of the heat balance of standing man is characterized by the domination of sensible heat losses (47–61%). In this state evaporative heat losses reach 20–25%, heat losses by long-wave radiation 7–19%, and heat losses due to respiration – 8–11% only (Table 10);

– For walking man the relative sensible heat losses are slightly higher (about 5%) than for standing posture, and the respirative heat losses decrease (Table 12);

– The mean annual values of relative heat losses indicate that on the whole territory of Poland (excluding mountainous areas) the convective-evaporative type of the heat balance structure is observed, i.e. the sensible heat losses predominated while evaporation is less significant way of heat expenditure;

– The seasonal variability of the structure of heat balance was also analyzed. It was established that the maximum values of relative heat losses by convection occur in the winter season (January, February) and by evaporation – in July; by respiration heat – in January or December, and by radiative heat – in the summer season (fig. 12, 13);

– The data obtained were used for the establishment of the typology and evaluation of the bioclimate of Poland. Eight types of bioclimate have been recognized (fig. 14). They were established through the use of the following criteria:

1) annual amplitudes of clothing insulation requirements ( $\Delta clo$ ) – as a degree of its differentiation throughout the year,

2) share of evaporative heat losses in their total amount – as a degree of heat load of the thermoregulative system;

– The classification mentioned above indicates that bioclimatological conditions evaluated from the point of view of man-environment heat exchange are only differentiated. The results suggest that while people living in the western Poland need only four clothing ensembles for keeping the heat equilibrium of the organism throughout the year, those living in north-east Poland need seven different garments. The differentiation of the heat load of the thermoregulative system by evaporation is rather small over the whole territory of Poland.

The method of investigations applied in this study has not only cognitive meaning for bioclimatological studies, but it also provides information for many practical purposes, e.g. for the evaluation of bioclimatic conditions for recreation and work activity of man in the open air.

It should be stated that the results obtained apply to the so called average man without the differentiation of the functioning of the thermoregulative system, determined by sex, age and state of health.

*Translated by Author*



Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wydawnictwo, Wrocław 1993



POZNAŃSKA DRUKARNIA NAUKOWA  
POZNAŃ, UL. HEWELIUSZA 40

<http://rcin.org.pl>

## WYDAWNICTWO OSSOLINEUM

Rynek 9, 50-106 Wrocław  
Tel. 386-25 Telex 0712771 oss pl Fax 44-81-03

**Najkorzystniejsze ceny i najbogatsza oferta  
w placówkach własnych Wydawnictwa Ossolineum:**

### Księgarnie

80-855 GDAŃSK, ul. Łagiewniki 56, tel. 314-122 (książki); 315-133 (muzykalia)  
44-100 GLIWICE, ul. Zwycięstwa 37, tel. 382-511  
31-018 KRAKÓW, ul. Św. Marka 12, tel. 225-844 (wejście od ul. Sławkowskiej 17)  
90-447 ŁÓDŹ, ul. Piotrkowska 181, tel. 361-943  
61-745 POZNAŃ, ul. K. Marcinkowskiego 30, tel. 521-916  
70-551 SZCZECIN, pl. Żołnierza Polskiego 1, tel. 330-565  
00-634 WARSZAWA, ul. Jaworzyńska 4, tel. 254-366  
50-106 WROCLAW, Rynek 6, tel. 336-66

### Księgarnia wysyłkowa

50-106 WROCLAW, Rynek 6, tel. 336-66

### Hurtownia

50-227 Wrocław, ul. Kleczkowska 44, tel. 214-861

**Sprzedaż hurtową prowadzą również księgarnie w Gdańsku, Gliwicach, Krakowie, Łodzi, Poznaniu, Szczecinie i Warszawie.**

Zapraszamy do współpracy księgarzy, agencje kolporterskie i odbiorców indywidualnych. Hurtownicy i księgarze handlowe ilości książek mogą kupić bezpośrednio od Wydawnictwa. Odbiór książek następuje transportem własnym, a także transportem Wydawnictwa lub pocztą na koszt odbiorcy. Rozliczenie należności – gotówką, przelewem lub przekazem telegraficznym na nasze konto:

**Wielkopolski Bank Kredytowy S.A. w Poznaniu, Oddział we Wrocławiu  
nr 359209-1078**

**Pełny asortyment wydawnictw ossolińskich oferują też księgarnie  
Ośrodka Rozpowszechniania Wydawnictw Naukowych PAN**

15-082 BIAŁYSTOK, ul. Świętojańska 13  
40-077 KATOWICE, ul. Bankowa 14, pawilon D, I piętro  
31-020 KRAKÓW, ul. Św. Marka 22  
20-031 LUBLIN, pl. M. Curie-Skłodowskiej 5  
61-725 POZNAŃ, ul. S. Mielżyńskiego 27/29  
00-901 WARSZAWA, Pałac Kultury i Nauki

PRACE GEOGRAFICZNE IGiPZ PAN

140. Dziewoński K., Korcelli P. (red.), *Studia nad migracjami i przemianami systemu osadniczego w Polsce*, 1981, s. 267, 63 il., zł 82,-
141. Rościszewski M., Mashbits Y. S., Siemek Z. (red.), *Third World, geographical problems of development*. Proceedings of the III Polish-Soviet Seminar, Warsaw, September 1979, 1981, s. 121.
142. Słupik J., *Rola stoku w kształtowaniu odpływu w Karpatach fliszowych*, 1981, s. 98, 34 il., 10 fot., zł 32,-
143. Froehlich W., *Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwierzelin do koryta w górskiej zlewni fliszowej*, 1982, s. 144, 68 il., 17 fot., zł 120,-
144. Rościszewski M. (red.), *Różnicowanie się i nowe podziały światowej przestrzeni społeczno-gospodarczej*, 1983, s. 96, 13 il., zł 50,-
145. Baumgart-Kotarba M., *Kształtowanie koryt i teras rzecznych w warunkach zróżnicowanych ruchów tektonicznych (na przykładzie wschodniego Podhala)*, 1983, s. 145, 39 il., 13 fot., zł 110,-
146. Drozdowski E., *Stratygrafia i geneza osadów zlodowacenia wistulian w północnej części dolnego Powiśla*, 1986, s. 90, 22 il., 25 fot., zł 150,-
147. Kostrowicki A. S. (red.), *Studium geoekologiczne rejonu jezior wigierskich*, 1988, s. 134, 23 il., zł 210,-
148. Eberhardt P., *Regiony wyludniające się w Polsce*, 1989, s. 141, 10 map, zł 750,-
149. Szulc H., *Morfogenetyczne typy osiedli wiejskich na Pomorzu Zachodnim*, 1988, s. 138, 36 il., 3 mapy, zł 300,-
150. Leszczycki S., *Badania geograficzne nad osadnictwem w południowej Anatolii*, 1987, s. 113, 7 il., 45 fot., zł 230,-
151. Rykiel Z. (red.), *Struktury i procesy społeczno-demograficzne w regionie katowickim*, 1988, s. 148, 31 il., zł 650,-  
Kawecka-Endrukajtis B., Tuszyńska-Rękawek H., *Spis zawartości Prac Geograficznych 1-150 (1954-1987)*, s. 43.
152. Korcelli P., Gawryszewski A. (red.), *Współczesne przemiany regionalnych systemów osadniczych w Polsce*, 1989, s. 176, 35 il.
153. Bogacki M. (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski południowo-wschodniej*, 1990, s. 145, 9 il., 1 wkł.
154. Dziewoński K., *Koncepcje i metody badawcze z dziedziny osadnictwa*, 1990, s. 288.
155. Kotarba A. (red.), *System denudacyjny Polski*, 1992, s. 223, 81 il.
156. Kostrowicki A. S., *System „człowiek-środowisko” w świetle teorii ocen*, 1992, s. 115, 7 il.
157. Babiński Z., *Współczesne procesy korytowe dolnej Wisły*, 1992
158. Matuszkiewicz J. M., *Krajobrazy roślinne i regiony geobotaniczne Polski*, 1993, s. 107, 22 il., 1 wkł.
159. Błażejczyk K., *Wymiana ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem w różnych warunkach środowiska geograficznego*, 1993

## ERRATA

Str.	Wiersz	Jest	Powinno być
35	6 od g.	$\rho$ (ro)	$\sigma$ (sigma)
49	12 od d.	cieplnym	ciepłym
73	3 od g.	konwekcyjno-ewaporacyjny	konwekcyjno-radiacyjny
84	16 od g.	$\Delta$ 2,51 – 3,00	$\Delta$ cło 2,51 – 3,00

ISBN 83-04-04185-5  
PL ISSN 0373-6547

<http://rcin.org.pl>

