POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

POLISH ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE OF GEOGRAPHY AND SPATIAL ORGANIZATION

PROMIENIOWANIE SŁONECZNE A GOSPODARKA CIEPLNA ORGANIZMU CZŁOWIEKA

Krzysztof Błażejczyk

Nr 51 1998

PAN
IGiPZ

ZESZYTY
INSTYTUTU GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
PAN

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
POLISH ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE OF GEOGRAPHY AND SPATIAL ORGANIZATION

PROMIENIOWANIE SŁONECZNE A GOSPODARKA CIEPLNA ORGANIZMU CZŁOWIEKA

Krzysztof Błażejczyk

Nr 51 1998

SOLAR RADIATION AND HEAT BALANCE OF HUMAN ORGANISM

ZESZYTY
INSTYTUTU GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
PAN

http://rcin.org.pl

Redaguje zespół w składzie:
Teresa Kozłowska-Szczęsna (redaktor)
Grzegorz Węcławowicz (zastępca redaktora)
Jerzy Grzeszczak
Marek Degórski

Barbara Jaworska (sekretarz i opracowanie redakcyjne)

Opiniowała do druku:
Prof. dr hab. Teresa Kozłowska-Szczęsna

Opracowanie wykonano w ramach projektu badawczego KBN Nr 6P 202 045 07

Adres redakcji:
00-818 Warszawa, ul. Twarda 51/55
tel.(48-22) 69 78 841
fax (48-22) 620 62 21

Abstract. The paper presents results of the studies dealing with influences of solar radiation on heat balance and thermal sensations of man. On the base of measurements carried out with the use of a mannequin - as a geometrical model of man - the new numerical models of solar radiation absorption were developed. The models were verified during thermophysiological measurements carried out on subjects. The results of investigations were the base for assessing responses of thermoregulatory and circulatory systems on solar exposure in man.

Key words: solar radiation, absorbed radiation, bioclimatic models, thermophysiology, biometeorology.

http://rcin.org.pl

Spis treści

Lista używanych symboli i ich wymiarów 4
1. Wstęp 7
2. Wprowadzenie w problematykę 8
2.1. Fizyczne podstawy badań 8
2.1.1. Źródło i istota promieniowania słonecznego 8
2.1.2. Przenikanie promieniowania przez atmosferę ziemską 9
2.1.3. Promieniowanie w przyziemnej warstwie atmosfery 10
2.2. Fizjologiczne podstawy badań 14
2.2.1. Podstawy termoregulacji 15
2.2.2. Zdolności adaptacyjne organizmu 20
3. Metody badania wpływu promieniowania słonecznego na organizm człowieka 22
3.1. Promieniowanie nadfioletowe 22
3.2. Promieniowanie widzialne 23
3.3. Promieniowanie podczerwone 25
3.4. Metody oceny cieplnego oddziaływania promieniowania słonecznego na człowieka 25
3.4.1. Modele analogowe człowieka 26
3.4.2. Modele cyfrowe 27
4. Badania eksperymentalne pochłaniania promieniowania słonecznego 32
4.1. Pochłanianie promieniowania przez różne modele człowieka 32
4.1.1. Cylinder 32
4.1.2. Elipsoida 32
4.1.3. Manekin 34
4.1.4. Nowe modele cyfrowe pochłoniętego promieniowania słonecznego 42
4.2. Promieniowanie pochłonięte przez organizm człowieka 44
4.2.1. Metoda i zakres pomiarów termofizjologicznych 44
4.2.2. Wpływ promieniowania słonecznego na układ termoregulacyjny człowieka 48
4.2.3. Porównanie wyników badań termofizjologicznych i modelowych 50
4.3. Promieniowanie słoneczne a odczucia cieplne człowieka 53
4.4. Promieniowanie słoneczne a obciążenie układu krwionośnego 56
5. Wpływ czynników geograficznych na ilość pochłoniętego promieniowania słonecznego 59
5.1. Czynniki strefowe i astrefowe 59
5.2. Czynniki cyrkulacyjne 61
5.3. Czynniki lokalne 61
5.3.1. Rzeźba terenu 62
5.3.2. Zagospodarowanie i użytkowanie terenu 64
5.3.3. Rodzaj podłoża 67
6. Podsumowanie i wnioski 69
7. Literatura 71
Solar radiation and heat balance of the human organism (summary) 77
Załącznik 1 - Wzory do wyznaczania współczynnika osłabienia przepływu ciepła przez odzież 81

http://rcin.org.pl

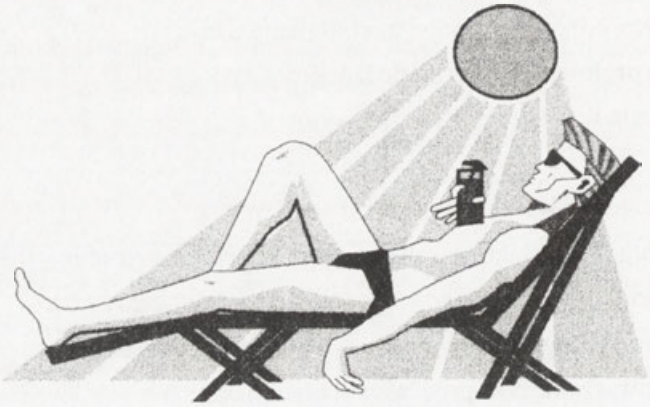
Lista używanych symboli i ich wymiarów
List of symbols and units

Symbol	Opis	Wymiar
a_c	średnie albedo ciała i odzieży	%
a_g	albedo podłoża	%
a_s	współczynnik pochłaniania promieni słonecznych przez skórę (= 0,54)	bez wymiaru
Abs	współczynnik pochłaniania promieniowania słonecznego	bez wymiaru
A_c	powierzchnia ciała pokryta odzieżą	frakcja
A_{cl}	powierzchnia ciała pokryta odzieżą (= A_{rad}/0,725)	m^2
A_i	powierzchnia ciała, do której docierają promienie słoneczne (= 0,0429·sin h + 0,3845·cos h)	frakcja
A_p	współczynnik projekcji ciała (por. ryc. 12)	bez wymiaru
A_{rad}	obszar „radiacyjny" (= 0,725·(1+0,15·I_{cl})·A_{du})	m^2
A_{sh}	współczynnik zależny od wielkości cienia (= $4{,}27 \cdot e^{(-0{,}0512\,(90-h))}$)	bez wymiaru
A_{sh}'	współczynnik zależny od wielkości cienia (= $7{,}57 \cdot e^{(-0{,}0512\,(90-h))}$)	bez wymiaru
Bp	ciśnienie krwi	mm Hg
C	strumień ciepła unoszonego z powierzchni ciała człowieka	$W \cdot m^{-2}$
Cl	współczynnik charakteryzujące opór cieplny odzieży	bez wymiaru
C_m	strumień ciepła unoszonego z powierzchni manekina	$W \cdot m^{-2}$
DR	jednostkowa dawka rumieniowa skóry	min
DRS	średnia dawka rumieniowa skóry	min
e	podstawa logarytmu naturalnego	
e_a	ciśnienie pary wodnej w powietrzu	hPa
f_a	stosunek projekcji ubranej do nieubranej powierzchni ciała (= 1,1)	frakcja
f_{acl}	stosunek ubranej do nieubranej powierzchni ciała (= 1,2)	frakcja
f_{eff}	efektywna powierzchnia „radiacyjna" (= 0,7·(1-A_c)	bez wymiaru
f_{dif}	udział promieniowania rozproszonego w promieniowaniu całkowitym	frakcja
f_p	współczynnik projekcji ciała wg Jendritzky'ego (1990) (= 0,308·cos [h·(0,998 - h^2/50000)])	bez wymiaru
g_h	część ciała zwrócona ku linii horyzontu (= 0,6)	frakcja
g_p	część ciała zwrócona prostopadle do promieni słonecznych	frakcja
g_z	część ciała zwrócona ku zenitowi	frakcja
h	wysokość Słońca	°
h_{sh}	odsetek hemisfery niezasłoniętej przez żadne przeszkody	frakcja
HR	częstość tętna	uderzenia min^{-1}
I_{cl}	opór cieplny odzieży	$K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$
Irc	współczynnik osłabienia przepływu ciepła przez odzież (sposób wyznaczania - patrz Załącznik 1)	bez wymiaru
K	saldo promieniowania słonecznego w zakresie krótkofalowym (o długości fal 0,1 - 4,0 μm)	$W \cdot m^{-2}$

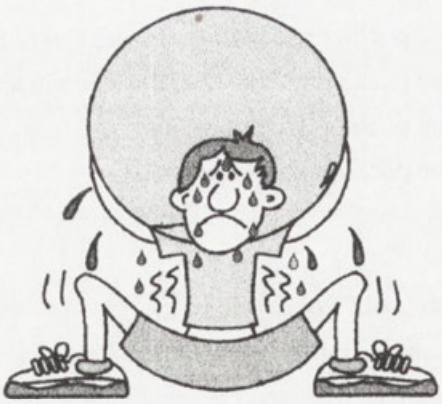
http://rcin.org.pl

K_{dif}	natężenie rozproszonego promieniowania słonecznego	$W \cdot m^{-2}$
K_{dir}	natężenie bezpośredniego promieniowania słonecznego (na powierzchnię poziomą)	$W \cdot m^{-2}$
K_{glob}	natężenie całkowitego promieniowania słonecznego (na powierzchnię poziomą)	$W \cdot m^{-2}$
K_m	strumień ciepła przewodzonego z powierzchni manekina	$W \cdot m^{-2}$
K_{ref}	natężenie odbitego promieniowania słonecznego	$W \cdot m^{-2}$
L	saldo promieniowania w zakresie długofalowym (o długości fal 4,0 - 30,0 μm)	$W \cdot m^{-2}$
$L^{\downarrow}$	promieniowanie długofalowe dochodzące od atmosfery	$W \cdot m^{-2}$
$L_{\uparrow}$	promieniowanie długofalowe emitowane przez powierzchnię gruntu	$W \cdot m^{-2}$
L_c	saldo promieniowania długofalowego na powierzchni ciała człowieka	$W \cdot m^{-2}$
L_m	saldo promieniowania długofalowego na powierzchni manekina	$W \cdot m^{-2}$
M	strumień ciepła wytwarzanego w procesach metabolicznych	$W \cdot m^{-2}$
Mrt	średnia temperatura promieniowania (człowiek ubrany)	°C
Mrt'	średnia temperatura promieniowania (człowiek nieubrany)	
N	zachmurzenie	%
Q	saldo promieniowania w pełnym zakresie widma	$W \cdot m^{-2}$
Q_m	saldo promieniowania na powierzchni manekina	$W \cdot m^{-2}$
R	promieniowanie słoneczne pochłonięte przez człowieka ubranego	$W \cdot m^{-2}$
R'	promieniowanie słoneczne pochłonięte przez człowieka nieubranego	$W \cdot m^{-2}$
R_e	promieniowanie słoneczne pochłonięte przez elipsoidę	$W \cdot m^{-2}$
R_m	promieniowanie słoneczne pochłonięte przez manekin	$W \cdot m^{-2}$
R_{obl}	obliczone wartości R	$W \cdot m^{-2}$
R_{zm}	zmierzone wartości R	$W \cdot m^{-2}$
s	współczynnik emisyjności (= 0,95)	bez wymiaru
S_c	saldo suchej wymiany ciepła na powierzchni ciała człowieka	$W \cdot m^{-2}$
S_m	saldo suchej wymiany ciepła na powierzchni manekina	$W \cdot m^{-2}$
Ta	temperatura powietrza	°C
Tm	temperatura powierzchni manekina	°C
Tsk	temperatura skóry człowieka	°C
α	współczynnik charakteryzujący zdolność odbijania promieni słonecznych przez ciało i odzież	bez wymiaru
β	współczynnik charakteryzujący zdolność pochłaniania promieniowania słonecznego	bez wymiaru
β_{dif}	współczynnik pochłaniania rozproszonego promieniowania słonecznego	bez wymiaru
β_{dir}	współczynnik pochłaniania bezpośredniego promieniowania słonecznego	bez wymiaru
β_{glob}	współczynnik pochłaniania całkowitego promieniowania słonecznego	bez wymiaru
β_{ref}	współczynnik pochłaniania odbitego promieniowania słonecznego	bez wymiaru
σ	stała Stefana-Boltzmana (= $5{,}67 \cdot 10^{-8}$)	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$

http://rcin.org.pl



?



http://rcin.org.pl

1. Wstęp

Promieniowanie słoneczne jest jednym z podstawowych źródeł życia na Ziemi. Jego dopływ decyduje w mikroskali np. o procesie fotosyntezy w komórkach roślinnych, a w skali globalnej - o tworzeniu i przemieszczaniu się różnych mas powietrza.

Człowiek początkowo korzystał jedynie w sposób naturalny z dobrodziejstw związanych z promieniowaniem słonecznym. Jeśli porównamy mapę rozmieszczenia kolebek cywilizacji ludzkiej z mapą dopływu promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi widać wyraźną i nieprzypadkową zbieżność. Wszystkie, największe pierwotne cywilizacje rozwinęły się w obszarach o stosunkowo dużym natężeniu energii słonecznej. Przyczyn tego zjawiska jest z pewnością wiele, ale część z nich można sprowadzić do "wspólnego mianownika", którym są sprzyjające warunki klimatyczne. Co jednak kryje się pod pojęciem "sprzyjające warunki klimatyczne"? Są to przede wszystkim: odpowiednia temperatura i suma opadów oraz odpowiednia ilość promieniowania fitoaktywnego, pozwalające na bujną wegetację roślin. Jednocześnie czynniki te wpływają korzystnie w sposób bezpośredni na organizm człowieka.

Obecnie człowiek stara się włączyć promieniowanie słoneczne do stymulowania swojego rozwoju. Powstają elektrownie słoneczne i wietrzne (ruch powietrza jest wynikiem niejednorodności termicznej różnych powierzchni, o odmiennym stopniu pochłaniania promieniowania słonecznego) oraz stacje odsalania wody morskiej (także wykorzystujące energię Słońca). To tylko niektóre z "zastosowań" promieniowania słonecznego we współczesnej technice.

Słońce i jego promieniowanie są także źródłem pewnych niebezpieczeństw dla człowieka, i to niebezpieczeństw bezpośrednich. Przy nieodpowiednim dozowaniu czasu przebywania "na słońcu" nierzadkie są udary cieplne i słoneczne. Współczesna medycyna ostrzega nas przed szkodliwym działaniem promieni ultrafioletowych (UV), a mieszkańcy niektórych części globu ziemskiego żyją w obliczu realnych zagrożeń związanych z tzw. "dziurą ozonową".

Czy można jednoznacznie ocenić wpływ promieniowania słonecznego na życie człowieka? Odpowiedź na to pytanie nie jest łatwa. Są liczne "za", ale także nierzadkie "przeciw". Opracowanie to nie udzieli odpowiedzi na wszystkie pytania i wątpliwości. Dostarczy jedynie - mam nadzieję, że wyczerpujących - informacji o jednym, ważnym dla człowieka zagadnieniu, a mianowicie o tym, jak promieniowanie słoneczne wpływa na gospodarkę cieplną organizmu ludzkiego, na jego sprawność i funkcjonowanie. Zreferowane zostaną zarówno wyniki własnych prac autora w tym zakresie jak i osiągnięcia innych badaczy. Autor ma nadzieję, że wyniki te będą dla czytelnika ciekawe i przydatne w rozwiązywaniu licznych problemów naukowych i praktycznych, chociażby: jak planować ubiór i zachowanie, aby uniknąć niebezpieczeństw związanych z nadmiernym promieniowaniem lub jak w sposób optymalny wykorzystać wszystkie potencjalne korzyści związane z fizjoenergetycznym efektem promieniowania.

http://rcin.org.pl

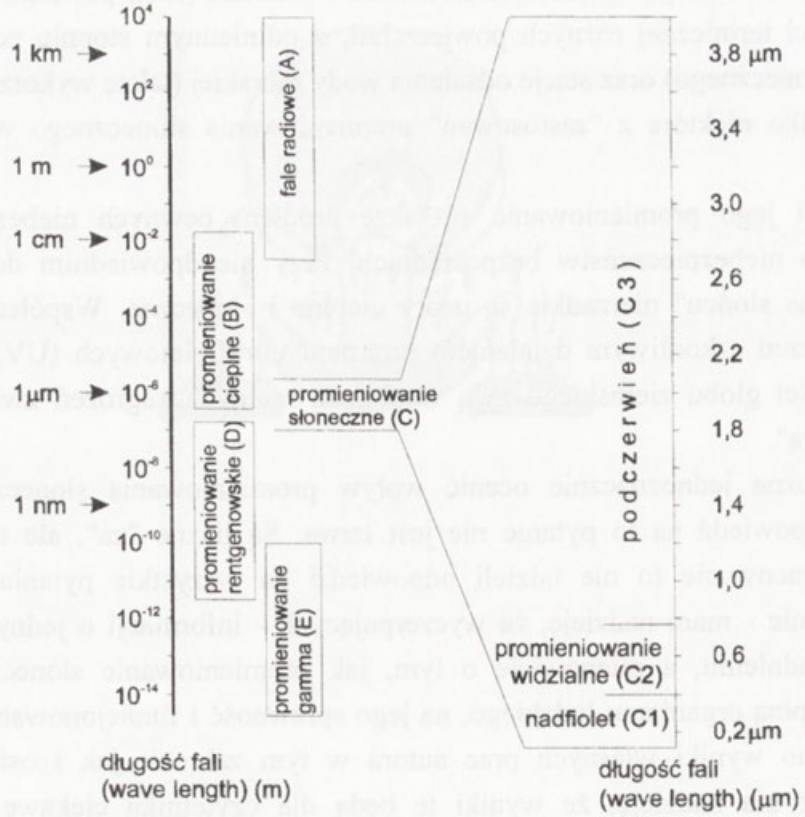
2. Wprowadzenie w problematykę

Aby dobrze i w sposób pełny zrozumieć złożony wpływ promieniowania słonecznego na organizm człowieka należy w ogólnym chociażby zarysie poznać istotę dwóch składników tego procesu: składowej fizycznej i składowej fizjologicznej.

2.1. Fizyczne podstawy badań

2.1.1. Źródło i istota promieniowania słonecznego

Promieniowanie słoneczne jest formą promieniowania elektromagnetycznego, podobnie jak promieniowanie rentgenowskie czy też fale radiowe (ryc. 1). Jest ono emitowane przez Słońce na drodze reakcji termojądrowych przemian wodoru w hel. Może być też ono wytwarzane przez specjalne lampy "słoneczne" (np. rtęciowe, sodowe lub jodowe). Do atmosfery ziemskiej dociera głównie krótkofalowe promieniowanie słoneczne, o długości fal od 0,1 do 4,0 μm. Promieniowanie o długości fali mniejszej od 0,1 μm i większej od 4,0 μm, a także promieniowanie korpuskularne, stanowią łącznie jedynie około 1% promieniowania emitowanego przez tarczę słoneczną.



Ryc. 1. Podział widma fal elektromagnetycznych

Spectrum of electromagnetic waves: A - Hertz waves, B - thermal radiation, C - solar radiation (C1 - ultraviolet, C2 - visible radiation, C3 - infrared), D - Roentgen radiation, E - γ radiation

http://rcin.org.pl

To stosunkowo wąskie pasmo fal promieniowania słonecznego dzieli się na trzy główne zakresy: nadfiolet, promieniowanie widzialne i podczerwień (tab. 1). Ogólnie biorąc na nadfiolet przypada jedynie 9%, a na promieniowanie widzialne i podczerwień - po około 45% energii docierającej od Słońca do górnych warstw atmosfery.

Tabela 1. Podział widma promieniowania słonecznego
Spectrum of solar radiation

Zakres	Długość fali (μm)
nadfiolet próżniowy	< 0,200
nadfiolet daleki (UV-C)	0,200 - 0,280
nadfiolet średni (UV-B)	0,281 - 0,315
nadfiolet bliski (UV-A)	0,316 - 0,400
promieniowanie widzialne	0,401 - 0,760
podczerwień bliska	0,761 - 2,500
podczerwień średnia	2,501 - 4,000

Promieniowanie podczerwone, o długości fal od 4 do 50 μm określane jest mianem promieniowania cieplnego lub długofalowego. Jego źródłem są wszystkie ciała o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego.

2.1.2. Przenikanie promieniowania przez atmosferę ziemską

Natężenie promieniowania słonecznego docierającego do górnej granicy atmosfery wynosi 1388 $W \cdot m^{-2}$ i wartość ta jest określana mianem stałej słonecznej [1]. Podczas przechodzenia przez kolejne warstwy atmosfery ziemskiej natężenie promieniowania zmienia się w wyniku różnorakich procesów pochłaniania, rozpraszania i odbijania.

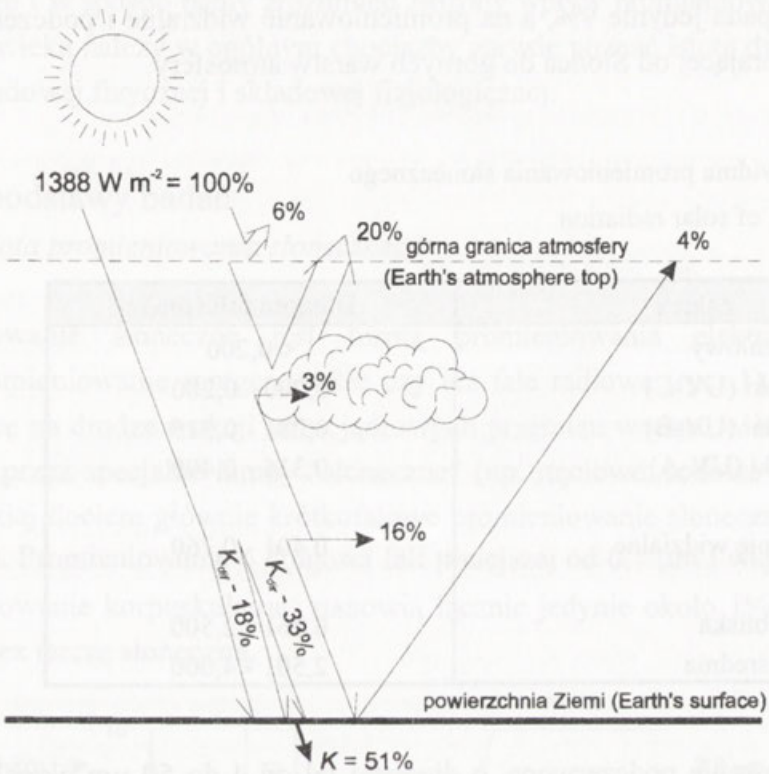
Ogólnie biorąc, przez powierzchnię Ziemi jest pochłaniane średnio jedynie około 50% promieniowania słonecznego docierającego do górnej granicy atmosfery (ryc. 2). Przy dużej przezroczystości atmosfery ilość promieniowania docierającego do jej warstwy przygruntowej może jednak stanowić nawet 85% stałej słonecznej.

Około 25% promieni słonecznych jest odbijane przez atmosferę oraz górną powierzchnię chmur (duża powłoka chmur może jednak powodować odbicie nawet 50% promieni słonecznych). Kolejne 16% promieniowania jest pochłaniane przez atmosferę, a 3% przez chmury. Średnio około 17 % promieni słonecznych jest rozpraszane przez atmosferę i chmury. Część promieniowania (średnio 4%) jest odbijana przez powierzchnię Ziemi (choć

[1] W piśmiennictwie można także spotkać inne wartości stałej słonecznej, od 1353 do 1395 $W \cdot m^{-2}$ (Paltridge i Platt 1976). Podaną w opracowaniu wartość przyjęto za „Słownikiem fizycznym", PWN, 1996

http://rcin.org.pl

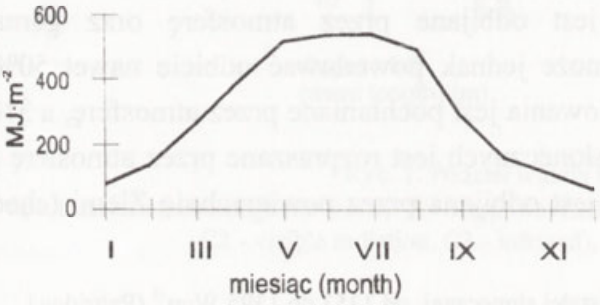
przy niektórych rodzajach powierzchni, jak na przykład piasek czy śnieg, ilość promieniowania odbitego jest znacznie większa).



Ryc. 2. Przenikanie promieniowania słonecznego przez atmosferę
Transmission of solar radiation through the atmosphere:

2.1.3. Promieniowanie w przyziemnej warstwie atmosfery

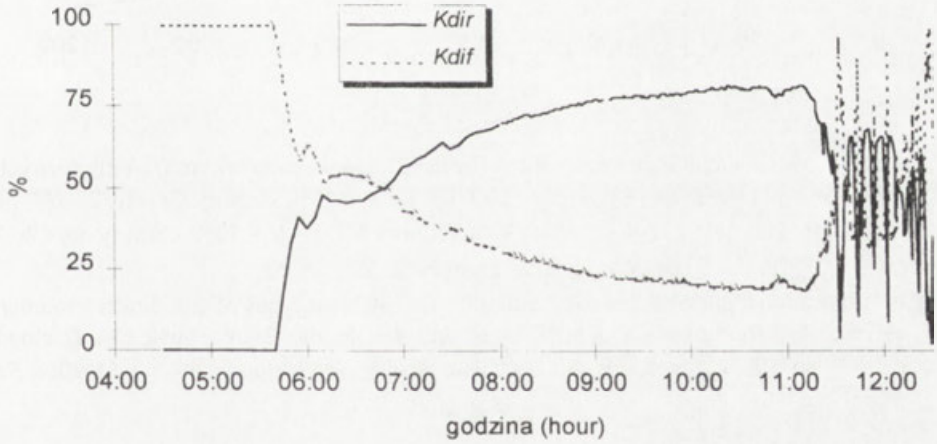
Do przyziemnej warstwy atmosfery promieniowanie słoneczne dociera w postaci dwóch strumieni: promieniowania bezpośredniego (K_{dir}) i rozproszonego(K_{dif}). Ich natężenie jest uzależnione zarówno od czynników globalnych (astronomicznych, geograficznych, cyrkulacyjnych), jak i lokalnych. Proporcja K_{dir} do K_{dif} zależy od wielu czynników. Do najważniejszych należą: zawartość pary wodnej w powietrzu, masa optyczna atmosfery oraz rodzaj i wielkość zachmurzenia. Wszystkie one podlegają cyklicznym zmianom sezonowym. Największe sumy promieniowania całkowitego obserwuje się w czerwcu i lipcu, a najmniejsze - w okresie od listopada do stycznia (ryc. 3).



Ryc. 3. Przebieg roczny średnich sum miesięcznych całkowitego promieniowania słonecznego, Warszawa, 1961-1990 (Kozłowska-Szczęsna i Błażejczyk 1996)
Annual course of mean monthly sums of global solar radiation, Warsaw, 1961-1990 (Kozłowska-Szczęsna and Błażejczyk 1996)

http://rcin.org.pl

Znaczenie wymienionych wyżej czynników w kształtowaniu relacji pomiędzy promieniowaniem bezpośrednim i rozproszonym ilustruje rycina 4, która przedstawia przykład struktury całkowitego promieniowania słonecznego w dniu 4 lipca 1996 r. W dniu tym, od wschodu słońca do około godziny 11 panowała pogoda bezchmurna. Potem natomiast rozpoczął się stopniowy rozwój chmur kłębiastych, które około 12^{30} pokryły 40% nieba. Przez pierwsze 45 minut po wschodzie słońca, pomimo braku chmur, do powierzchni terenu docierało jedynie promieniowanie rozproszone. Było to spowodowane dużą masą optyczną atmosfery podczas niskiego położenia Słońca nad horyzontem. Wraz ze wzrostem wysokości tarczy słonecznej zwiększał się udział promieniowania bezpośredniego. Po osiągnięciu przez Słońce wysokości około 20° udział promieniowania bezpośredniego i rozproszonego ustabilizował się, wynosząc odpowiednio 75 i 25%. W tym czasie natężenie promieniowania bezpośredniego było kształtowane głównie poprzez ilość pary wodnej zawartej w powietrzu. Z chwilą pojawienia się chmur, które okresowo przesłaniały tarczę słoneczną, udział K_{dir} w promieniowaniu całkowitym zmieniał się w zakresie od 5 do 65%, a K_{dif} od 35 do 95%.



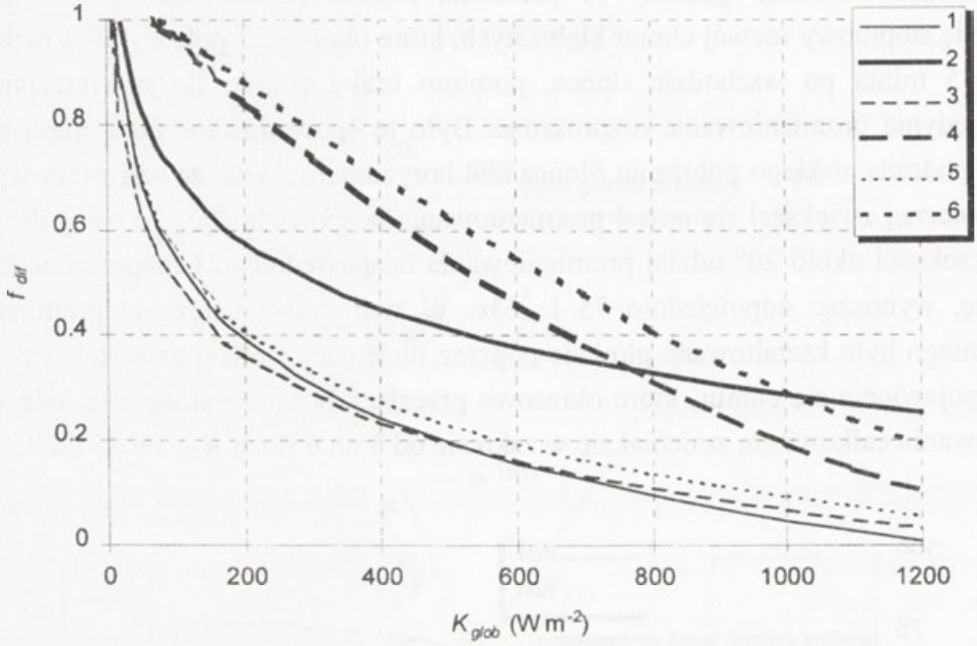
Ryc. 4. Proporcje bezpośredniego (K_{dir}) i rozproszonego (K_{dif}) promieniowania słonecznego, 4 lipca 1996 r., Borowa Góra; do godziny 11 panowała pogoda bezchmurna, po czym rozpoczął się rozwój chmur kłębiastych, które około 12^{30} pokrywały około 40% nieba

Proportions of direct (K_{dir}) and diffuse (K_{dif}) solar radiation, 4 July 1996, Borowa Góra; till 11 a.m. were clear sky conditions and then *Cu* clouds appeared and about 12^{30} they covered about 40% of sky

Znajomość struktury całkowitego promieniowania słonecznego (K_{glob}) konieczna jest w wielu dziedzinach klimatologii stosowanej, w tym także bioklimatologii człowieka. Niestety, pomiary promieniowania rozproszonego nie są wykonywane powszechnie i to zarówno na sieci stacji meteorologicznych jak i podczas specjalnych badań okresowych. Stąd też tworzone są modele pozwalające na szacowanie udziału K_{dif} w K_{glob}. O ile istnieje wiele modeli dostosowanych do wartości średnich (godzinnych, dobowych, miesięcznych) strumieni promieniowania słonecznego (Krawczyk 1994) o tyle niewiele jest modeli opartych na ich wartościach chwilowych (Błażejczyk 1997b). W przypadku pierwszej grupy modeli udział promieniowania rozproszonego jest szacowany na podstawie usłonecznienia, zachmurzenia,

http://rcin.org.pl

stałej słonecznej i współczynników zmętnienia lub przezroczystości atmosfery itp. Wartości chwilowe struktury promieniowania całkowitego można natomiast określić opierając się na rodzaju i wielkości zachmurzenia oraz wysokości Słońca (ryc. 5).



Ryc. 5. Udział promieniowania rozproszonego w promieniowaniu całkowitym (f_{dif}) dla różnych typów zachmurzenia (N) - wartości chwilowe (Błażejczyk 1997b); 1 - $N \leq 50\%$, chmury *Ci* i *Ac*, 2 - $N > 50\%$, chmury *Ci* i *Ac*, 3 - $N \leq 50\%$, chmury *Cu*, 4 - $N = 51\text{-}90\%$, chmury *Cu*, 5 - $N \leq 50\%$, chmury *Sc, Cb, Ns, St*, 6 - $N = 51\text{-}90\%$, chmury *Sc, Cb, Ns, St*

Ratio of diffuse radiation (f_{dif}) in global solar radiation for different types of cloudiness - moment values (Błażejczyk 1997b); 1 - cloudiness (N) $\leq 50\%$ by *Ci* and *Ac* clouds, 2 - $N > 50\%$, *Ci* i *Ac* clouds, 3 - $N \leq 50\%$, *Cu* clouds, 4 - $N = 51\text{-}90\%$, *Cu* clouds, 5 - $N \leq 50\%$, *Sc, Cb, Ns, St* clouds, 6 - $N = 51\text{-}90\%$, *Sc, Cb, Ns, St* clouds

Promieniowanie bezpośrednie i rozproszone nie są jednak jedynymi strumieniami promieniowania słonecznego obserwowanymi w przygruntowej warstwie powietrza. Część promieni słonecznych odbija się od powierzchni terenu i kieruje się ku górnym warstwom atmosfery. Natężenie promieniowania odbitego K_{ref}) jest zmienne i zależy od fizycznych właściwości podłoża, głównie od jego barwy, szorstkości i uwilgotnienia. Miarą zdolności podłoża do odbijania promieni słonecznych jest tzw. albedo, czyli stosunek promieniowania dochodzącego (K_{glob}) do odbitego (tab. 2). Albedo różnego rodzaju powierzchni (a_g) nie podlega przy tym w zasadzie wahaniom czasowym (jedynie podczas bardzo niskich położeń Słońca jest podwyższone w stosunku do wartości średnich) (Robinson 1966).

Tak więc ilość promieniowania słonecznego pochłoniętego (K) przez przypowierzchniową warstwę gruntu oraz szatę roślinną i inne elementy zagospodarowania terenu (budynki, sztuczne nawierzchnie itp.) można wyrazić następującym wzorem:

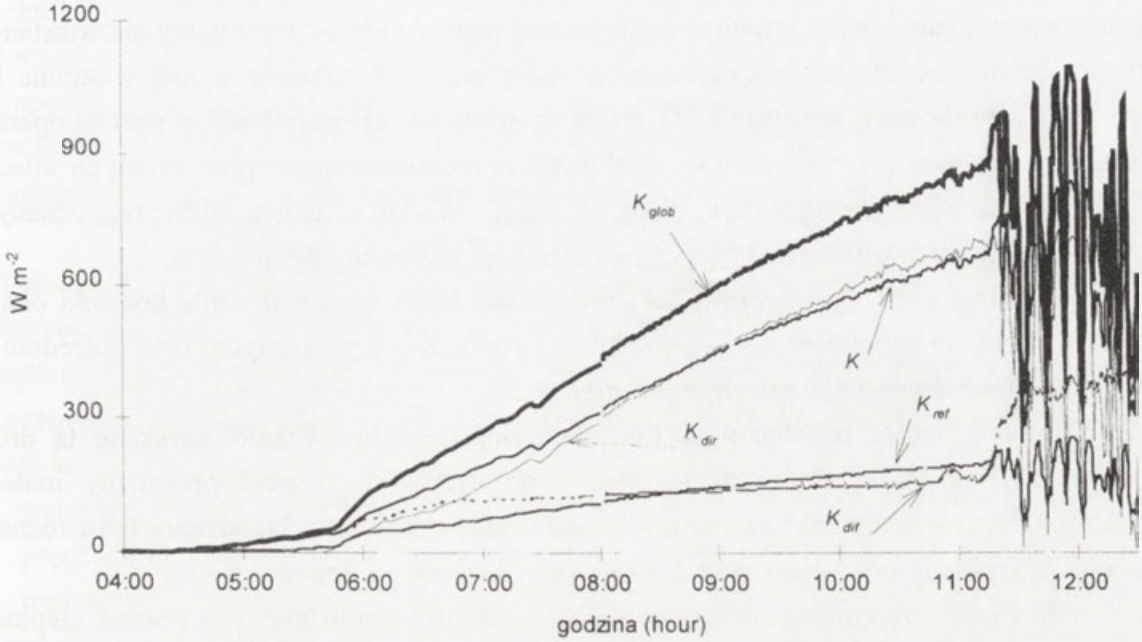
$$K = K_{dir} + K_{dif} - K_{ref}$$

http://rcin.org.pl

Tabela 2. Średnie wartości albedo niektórych rodzajów powierzchni (wg Kozłowskiej-Szczęsnej 1973 i Robinsona 1966)
Mean values of albedo (a_g) of different surfaces (by Kozłowska-Szczęsna 1973 and Robinson 1966)

Rodzaj powierzchni	Albedo podłoża - a_g (%)
sucha, szara gleba	25-30
piasek żółty	35
beton	30
asfalt	20
chodniki	18
świeża trawa	26
trawa przesuszona	17-19
pszenica	10-25
lasy liściaste	10-35
lasy iglaste	14-40
świeży, gęsty, czysty śnieg	85-95
śnieg porowaty, zabrudzony	29-47

Strukturę składników promieniowania pochłoniętego ilustruje rycina 6. Widać wyraźnie stosunkowo stałe natężenie promieniowania rozproszonego; podczas pogody bezchmurnej wynosiło ono około 150 W·m^{-2} i wzrosło do około 400 W·m^{-2} po pojawieniu się powłoki chmur. Natężenie promieniowania bezpośredniego i odbitego wzrastało stopniowo wraz ze



Ryc. 6. Natężenie strumieni promieniowania słonecznego, 4 lipca 1996 r., Borowa Góra
Intensity of solar radiation fluxes, 4 July 1996, Borowa Góra

http://rcin.org.pl

wzrostem wysokości Słońca, aż do momentu wystąpienia chmur, odpowiednio od około 20 $W \cdot m^{-2}$ o godz. 6^{00} do 700 $W \cdot m^{-2}$ (K_{dir}) i 200 $W \cdot m^{-2}$ (K_{ref}) około godziny 11^{00}. Ostatecznie więc największe, w omawianym dniu, natężenie promieniowania pochłoniętego wyniosło około 840 $W \cdot m^{-2}$. Porównując wartości strumieni promieniowania słonecznego w wybranym dniu ze stałą słoneczną można stwierdzić, że stanowiły one: K - 60%, K_{dir} - 58%, K_{dif} - 11% i K_{ref} - 14% promieniowania docierającego od Słońca do górnej granicy atmosfery. Wartości te są zbliżone do podawanych w ogólnych modelach przenikania promieniowania słonecznego przez atmosferę (porównaj ryc. 2).

2.2. Fizjologiczne podstawy badań

Promieniowanie słoneczne jest jednym z bodźców fizycznych oddziałujących na organizm człowieka. Stymuluje ono zachodzące w nim odczyny ogólne, co jest niejako odpowiedzią całego organizmu na ten bodziec (Kozłowska-Szczęsna i Błażejczyk 1997). Intensywne działanie promieniowania słonecznego obejmuje skórę, narządy wewnętrzne, a także układ nerwowy. Wpływ promieniowania polega na: wzmożeniu przemiany materii, pobudzeniu czynności krwiotwórczej, zwiększeniu odporności organizmu na zakażenie, wywołaniu zmian czynnościowych układu nerwowego, pobudzeniu gruczołów wydzielania wewnętrznego, działaniu odczulającym i przeciw krzywiczym (Daniłowa 1988).

Nadfioletowa część promieniowania słonecznego, a przede wszystkim UV-A i UV-B, jest najbardziej aktywna biologicznie, w tych przedziałach bowiem koncentruje się najistotniejsze oddziaływanie promieni nadfioletowych na organizm człowieka, głównie bakteriobójcze i hartujące. Ponadto w naświetlanej nadfioletem skórze tworzy się substancja wywołująca rumień słoneczny i pigmentację skóry oraz wytwarza się w niej witamina D_3. Zbyt wielkie dawki promieniowania UV mogą spowodować ujemne skutki w postaci oparzeń i gorączki, starzenia się skóry, a także zaburzeń immunologicznych prowadzących między innymi do rozwoju nowotworów skóry i oczu. W USA około 90% rozpoznanych nowotworów skóry wynika z nadmiernego opalania (Nurkowska 1997).

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

Promieniowanie podczerwone ma właściwości cieplne. Ciepło uzyskane tą drogą przez człowieka przyspiesza reakcje chemiczne organizmu (wzrost przemiany materii, zwiększenie zapotrzebowania na tlen), a ponadto ma właściwości łagodzenia bólu różnego pochodzenia (bóle reumatyczne, pourazowe kości i stawów, z odmrożeń itp.).

Głównym przedmiotem obecnego opracowania jest charakterystyka i ocena cieplnego oddziaływania promieniowania słonecznego na organizm człowieka.

http://rcin.org.pl

2.2.1. Podstawy termoregulacji

Człowiek, jako istota stałocieplna, jest zdolny do zachowania stanu względnej równowagi cieplnej i utrzymywania prawie stałej temperatury wewnętrznej, niezależnie od temperatury otoczenia i jej zmian. Stan taki jest określany mianem homeotermii. Występuje ona wtedy, gdy temperatura wewnętrzna organizmu wynosi 37 (±2)°C (Bligh i Johnson 1973; Mitchell 1977; Popoczko 1990). Nieco węższy zakres wahań temperatury ciała (±1°C) podaje J. Narębski (1980). W fizjologii przyjmuje się również, że układ termoregulacyjny człowieka jest w pełni sprawny, gdy temperatura ciała wynosi 36-40°C (Hardy 1965; Klonowicz i Kozłowski 1970).

Termoregulacja jest to "*dostosowywanie się wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem w sposób zapewniający równowagę bilansu cieplnego i stałą temperaturę wewnętrzną*" (Kozłowski 1986). Mechanizm uaktywniania układu termoregulacyjnego i zapewnienia optymalnego kierunku i zakresu działań dostosowawczych organizmu wyjaśnia teoria "*set-pointu*". Mianem tym określa się poziom temperatury wewnętrznej organizmu, na którą nastawione jest centrum termoregulacji (najczęściej 37°C). Odchylenie temperatury ciała od tego poziomu wywołuje reakcje termoregulacyjne proporcjonalne do powstałego sygnału termicznego. Układ termoregulacyjny człowieka może przy tym zmieniać swój poziom nastawienia, dostosowując go w wyniku aklimatyzacji do oddziałujących czynników zewnętrznych (Cabanac 1980; Hammel 1965; Hardy 1965; Kozłowski 1986).

Istnieją dwa podstawowe, biologiczne rodzaje termoregulacji (Bligh i Johnson 1973): termoregulacja autonomiczna i termoregulacja behavioralna oraz tak zwana termoregulacja techniczna, związana z urządzeniami ogrzewczymi i klimatyzacyjnymi, znajdującymi się w otoczeniu człowieka (Hensel 1981). Termoregulacja autonomiczna polega na regulacji temperatury ciała przez odruchowe reakcje na ciepło i zimno. Składają się na nią trzy mechanizmy fizjologiczne: zmiany metabolicznej produkcji ciepła, zmiany termoizolacyjnych właściwości zewnętrznej warstwy ciała oraz wydzielanie potu.

Wytwarzanie ciepła w organizmie następuje w wyniku procesów metabolicznych. Mianem tym określa się uwalnianie ciepła podczas tlenowych przemian chemicznych w obrębie komórek organizmu (utlenianie tłuszczów, cukrów i innych substancji) oraz beztlenowych przemian następujących w obrębie mięśni szkieletowych (Bligh, Johnson 1973; Kozłowski 1986; Stetson, red., 1967; Stoker i in. 1973; Sylwanowicz i in. 1989). Na ogólną ilość wytwarzanego w ten sposób ciepła składają się:

- metabolizm podstawowy (BMR - Basal Metabolic Rate), oznaczający podstawową produkcję ciepła w organizmie jaka zachodzi w środowisku termoneutralnym (tzn. w temperaturze otoczenia 18-25°C), w stanie spoczynku, po śnie;
- metaboliczna produkcja ciepła związana z aktywnością fizyczną człowieka.

Na metabolizm podstawowy wpływają: płeć, wiek, wzrost i waga ciała, termiczne warunki otoczenia oraz sezonowe i regionalne zróżnicowanie klimatu (Downey i in. 1971; Hammel 1965; Kenney 1985; Stetson, red., 1967). Wraz ze spadkiem temperatury powietrza

http://rcin.org.pl

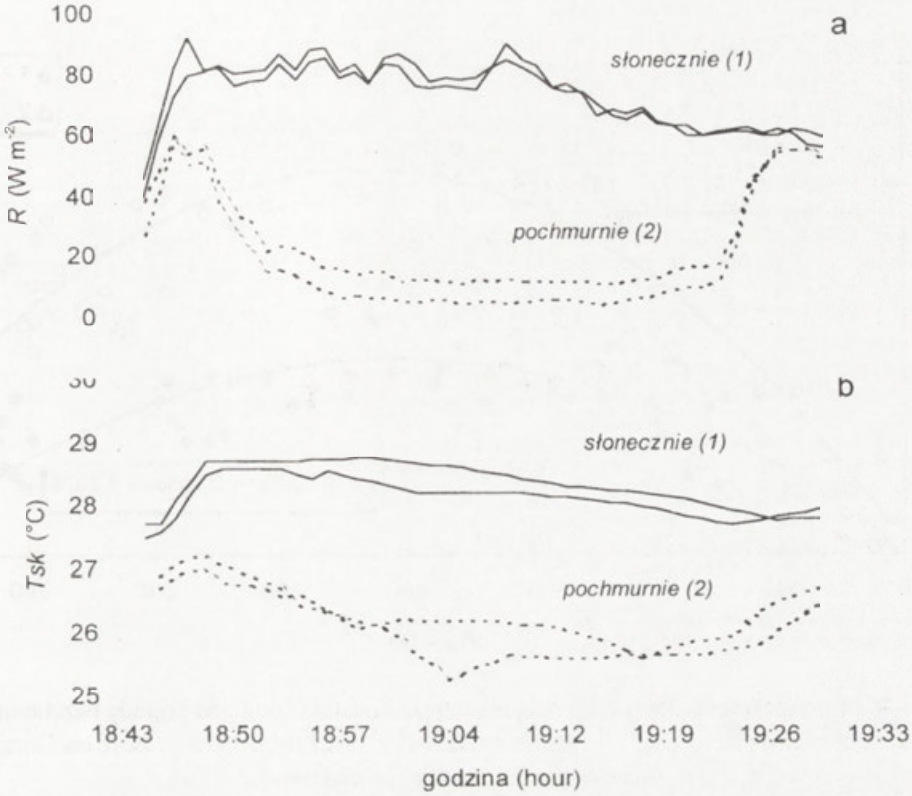
wzrasta podstawowa metaboliczna produkcja ciepła mająca zminimalizować niedobór ciepła wiążący się z intensywnym jego oddawaniem do otoczenia (Kaleta 1971; Klonowicz i Kozłowski 1970; Kozłowski 1986; Rewerski i in. 1972). Wzrost BMR waha się od 17% przy spadku temperatury o 5°C do 80% przy obniżeniu temperatury otoczenia o 15-20°C. W przypadku środowiska gorącego wyniki badań fizjologicznych nie są jednoznaczne. W licznych eksperymentach obserwowany był niewielki (o 5-10%) spadek BMR (Hammel 1965; Kozłowski 1986; Rowell i in. 1969; Smolander 1987; Strydom i in. 1966). W niektórych badaniach stwierdzano jednak wzrost metabolizmu podstawowego o 5-10% w stosunku do warunków termoneutralnych (Hey 1974; Ingram i Mount 1975; Vitte i Petryn 1952). Jest to prawdopodobnie spowodowane wzrostem potrzeb energetycznych intensywnie pracującego układu krążenia, aktywnością gruczołów potowych i podwyższeniem się temperatury ciała.

Aktywność fizyczna człowieka (np. praca, ale także nawet samo utrzymanie ciała w pozycji pionowej) przyspiesza tlenowe przemiany chemiczne zachodzące w obrębie komórek organizmu oraz beztlenowe przemiany w obrębie mięśni szkieletowych zwiększając w ten sposób metaboliczną produkcję ciepła ponad poziom podstawowy. Aby zatem określić łączną wartość metabolicznej produkcji ciepła należy do metabolizmu podstawowego (równego średnio około 45 $W \cdot m^{-2}$) dodać ilość ciepła związaną z aktywnością człowieka.

Ciepło wytwarzane wewnątrz organizmu jest rozprowadzane do wszystkich komórek ciała za pomocą krwi. W niskiej temperaturze otoczenia zmniejsza się przekrój peryferycznych naczyń krwionośnych i przepływ krwi przez skórę i tkankę podskórną (Kozłowski 1986). Prowadzi to do obniżenia się temperatury skóry, a przez to - do zwiększenia jej właściwości termoizolacyjnych (Blanc 1975), co z jednej strony chroni organizm przed nadmierną utratą ciepła, z drugiej jednak - prowadzi do wzrostu ciśnienia tętniczego i obciążenia serca dodatkową pracą (Henneman i in. 1958; Wood i in. 1958). W wysokiej temperaturze otoczenia obserwuje się natomiast dwa zjawiska: zmniejszenie termoizolacyjności skóry i uaktywnienie gruczołów potowych. Pozwalają one na sprawną eliminację ciepła z organizmu (Beaumont i Bullard 1965; Kaciuba-Uściłko 1990; Kaleta 1971; Kozłowski 1986; Narębski 1980; Rewerski i in. 1972).

Należy dodać, że promieniowanie słoneczne pochłonięte przez człowieka w istotny sposób wpływa na wzrost temperatury powierzchni ciała (ryc. 7) (Błażejczyk 1991, 1993, 1995; Clark i Edholm 1985; Nielsen i in. 1988). Sprawia to, zwłaszcza w przypadku dużego dopływu promieniowania słonecznego, że receptory ciepła i zimna rozmieszczone w skórze człowieka odbierają temperaturę znacznie wyższą niż temperatura powietrza. Poziom temperatury skóry, która jest wraz z tkanką podskórną ważną barierą na drodze przepływu ciepła z wnętrza ciała ku atmosferze i w kierunku odwrotnym, jest wypadkową ilości ciepła dostarczanego przez układ krwionośny z wnętrza organizmu i ciepła, które powstaje w wyniku pochłaniania promieniowania słonecznego oraz warunków termicznych powietrza otaczającego człowieka. Wymiana ciepła następująca w obrębie tej warstwy ciała ma zapewnić stałą temperaturę wewnętrzną organizmu w różnej temperaturze otoczenia.

http://rcin.org.pl



Ryc. 7. Pochłonięte promieniowanie słoneczne (*R*) oraz temperatura skóry człowieka (*Tsk*) w dniu słonecznym (1 lipca 1996) i pochmurnym (6 lipca 1996), przy takiej samej temperaturze powietrza (13-15°C) i metabolicznej produkcji ciepła (70 $W \cdot m^{-2}$), Borowa Góra

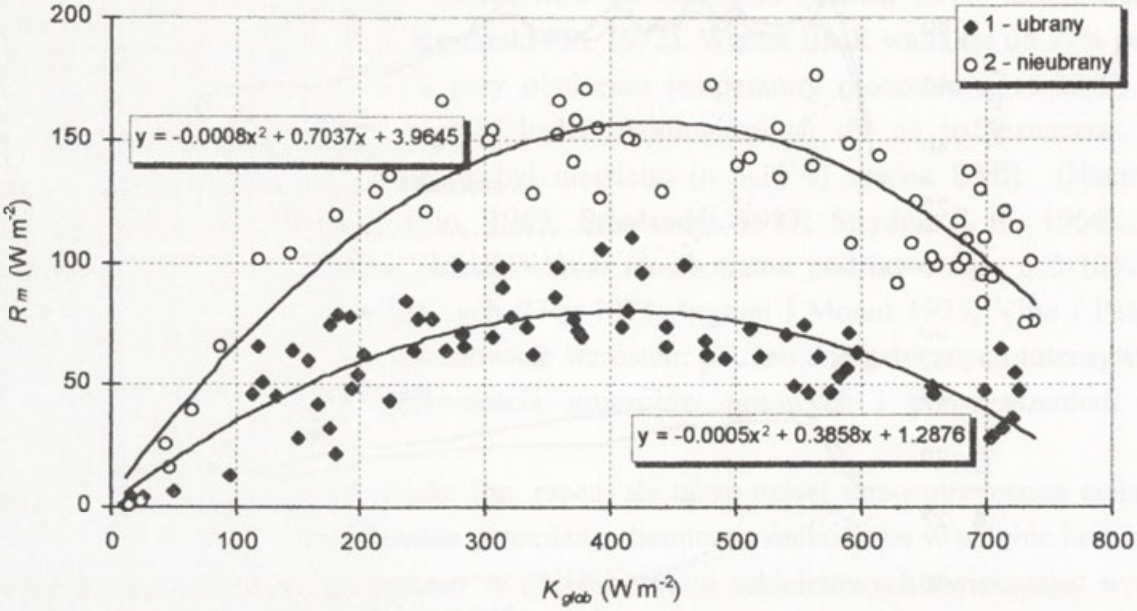
Absorbed solar radiation (*R*) and skin temperature (*Tsk*) at subjects during sunny (1) (1 July 1996) and cloudy (2) (6 July 1996) days, at similar air temperature (13-15°C) and metabolic heat production (70 $W \cdot m^{-2}$), Borowa Góra

Drugą barierą na drodze przepływu ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem jest odzież. Zabezpiecza ona organizm zarówno przed nadmiernymi stratami, jak i przed zbyt dużym dopływem ciepła z otoczenia. Podstawową, międzynarodową jednostką termoizolacyjności odzieży jest clo [2] (ISO/DIS 9920), która wyraża jej względną izolacyjność termiczną, przy czym 1 clo odpowiada oporowi cieplnemu 0,155 $K \cdot m^2 \cdot W^{-2}$.

W przypadku promieniowania słonecznego mamy do czynienia z następującym zjawiskiem. Jest ono bezpośrednio pochłaniane przez warstwę odzieży, a następnie przenoszone przez nią w kierunku powierzchni skóry. Podczas tego przepływu natężenie strumienia ciepła ulega osłabieniu w stopniu proporcjonalnym do izolacyjności termicznej odzieży. Ostatecznie więc, do powierzchni ciała dociera kondukcyjny strumień ciepła (ciepła przewodzonego cząsteczkowo). Ponieważ jednak jego źródłem pierwotnym jest promieniowanie słoneczne, w opracowaniu tym będzie w stosunku do tego strumienia używane określenie "promieniowanie słoneczne pochłonięte przez człowieka". Wpływ odzieży na ilość pochłoniętego promieniowania słonecznego przedstawia rycina 8.

[2] Nazwa clo pochodzi od angielskiego słowa clothing, oznaczającego odzież

http://rcin.org.pl



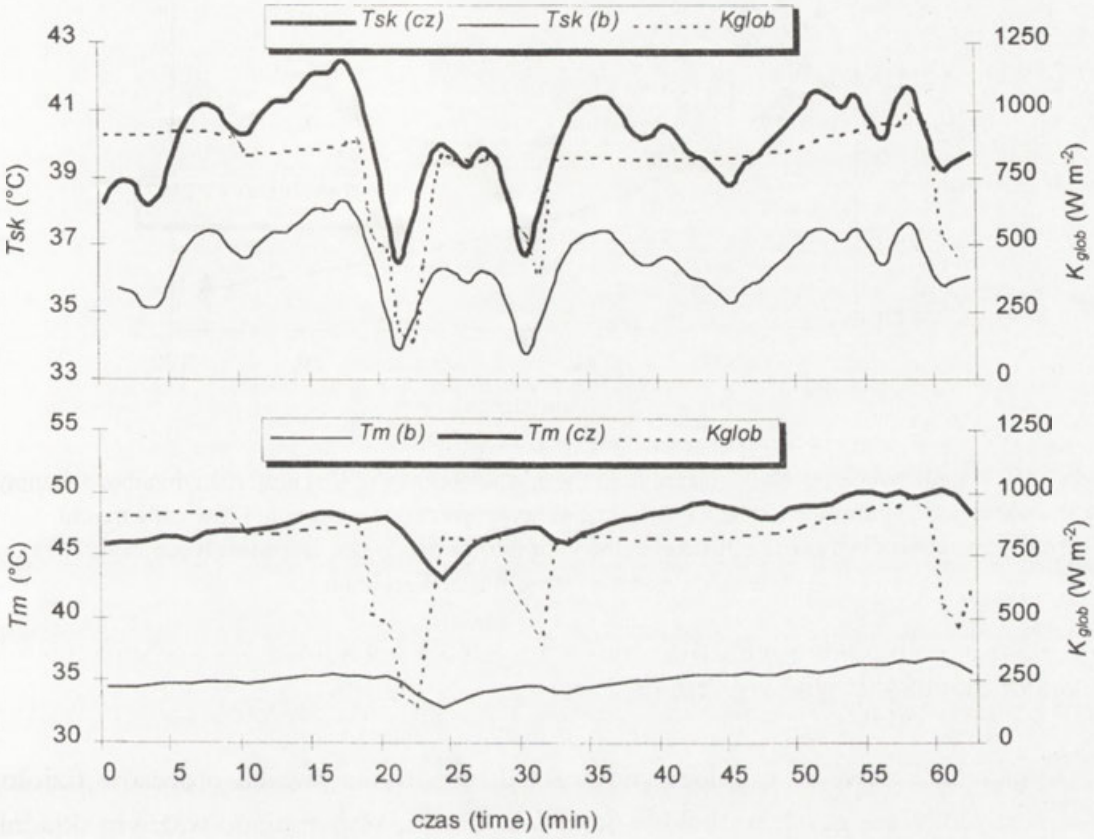
Ryc. 8. Promieniowanie słoneczne pochłonięte przez manekin podczas pogody bezchmurnej: w odzieży o termoizolacyjności 1 clo (1) oraz bez odzieży (2), 18-23 lipca 1995 r., Borowa Góra; na wykresie zaznaczono linie oraz równania trendu

Solar radiation absorbed by a mannequin during sunny weather: in clothing with thermal insulation of 1 clo (1) and without clothing (2), 18-23 July 1995, Borowa Góra; the chart contains trend lines and equations

Na ilość pochłoniętego promieniowania słonecznego oraz na związaną z tym temperaturę powierzchni ciała istotny wpływ ma także barwa odzieży. Pod odzieżą czarną temperatura powierzchni manekina może być nawet o 17°C wyższa niż pod odzieżą białą o tej samej termoizolacyjności (ryc. 9). W przypadku człowieka różnice te są nieco mniejsze (4-5°C) [3], co jest związane z uaktywnianiem się procesu wydzielania i parowania potu, czego efektem jest obniżenie temperatury skóry. Obserwowane, wyższe wartości temperatury pod odzieżą czarną niż białą są związane z różną zdolnością odbijania promieni słonecznych przez tkaniny o różnej barwie. Najmniejsze albedo jest obserwowane przy odzieży czarnej (5-15%, zależnie od rodzaju tkaniny), a największe - przy białej (85-95%).

[3] Należy jednak dodać, że w tym zakresie występują duże różnice indywidualne pomiędzy poszczególnymi osobami. Zdarzały się mianowicie przypadki, że porównując temperaturę skóry dwóch osób wystawionych jednocześnie na działanie promieni słonecznych notowano nieco wyższe wartości *Tsk* u obserwatora ubranego w odzież białą. Gdy jednak zestawiano wartości *Tsk* u tej samej osoby, to zawsze były one wyższe podczas ekspozycji w czarnej odzieży niż białej.

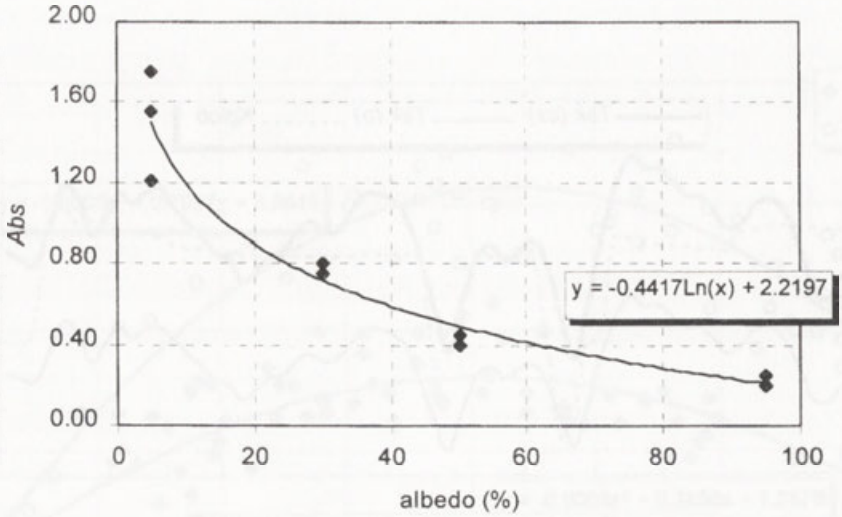
http://rcin.org.pl



Ryc. 9. Temperatura skóry (*Tsk*) i temperatura powierzchni manekina (*Tm*) pod odzieżą białą (b) i czarną (cz) przy zmiennym dopływie promieniowania słonecznego (K_{glob}), 16 lipca 1997, Borowa Góra
Skin temperature (*Tsk*) and temperature of mannequin surface (*Tm*) under white (b) and black (cz) clothing at varying income of solar radiation (K_{glob}), 16 July 1996, Borowa Góra

Do określenia względnych ilości pochłoniętego promieniowania słonecznego można zastosować tzw. współczynnik pochłaniania (*Abs*), który odnosi natężenie promieniowania pochłoniętego (*R*) obserwowane na powierzchni okrytej odzieżą do wartości standardowej *R*, występującej na powierzchni odkrytej, przy braku ruchu powietrza. Badania te przeprowadzono w roku 1993, w komorze klimatycznej z zastosowaniem elipsoidy jako modelu człowieka i lampy jodowej jako źródła promieniowania słonecznego (Błażejczyk 1995). Wartość wskaźnika *Abs* waha się od 0,16 dla tkaniny białej do 1,5-1,7 dla tkaniny czarnej (ryc. 10). Inaczej mówiąc, ilość ciepła jaka dociera do powierzchni ciała przez tkaninę czarną jest 8-10 razy większa niż w przypadku tkaniny białej.

http://rcin.org.pl



Ryc. 10. Współczynnik pochłaniania promieniowania słonecznego (*Abs*) przy różnym albedo tkaniny okrywającej elipsoidę (Błażejczyk 1995); na wykresie zaznaczono linię i równanie trendu
Absorption coefficient (*Abs*) at different albedo of fabric covering an ellipsoid (Błażejczyk 1995); the chart contains trend line and equation

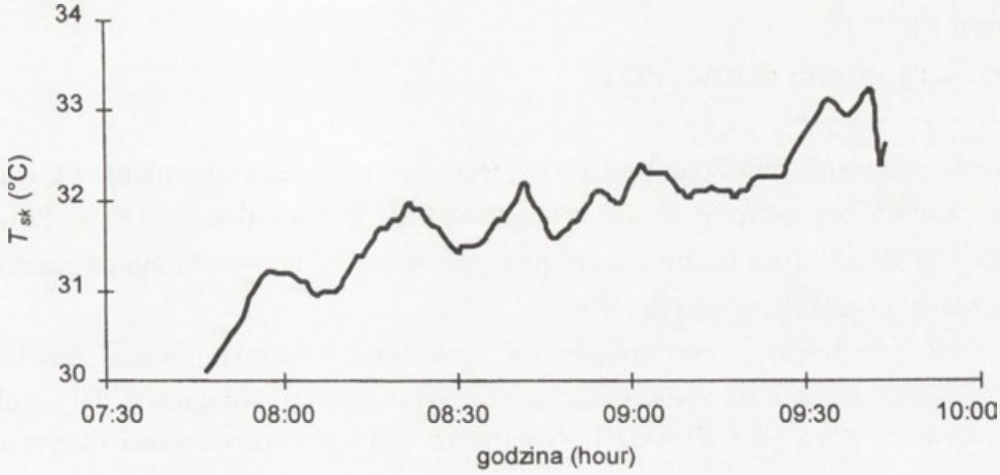
2.2.2. Zdolności adaptacyjne organizmu

Organizm człowieka ma duże zdolności dostosowania swoich procesów fizjologicznych do różnych termicznych warunków otoczenia. Jak już wspomniano ważnym składnikiem tych warunków jest promieniowanie słoneczne. Jego część pochłonięta przez człowieka podwyższa temperaturę powierzchni ciała. Jest to szczególnie obciążające wtedy, gdy jednocześnie mamy do czynienia z wysoką temperaturą powietrza.

Występujące podczas obciążenia cieplnego organizmu rozszerzenie naczyń krwionośnych i wzrost skórnego przepływu krwi prowadzi do dodatkowego podwyższenia temperatury skóry i uaktywnienia gruczołów potowych (Beaumont i Bullard 1965; Kaciuba-Uściłko 1990; Kozłowski 1986; Narębski 1980; Rewerski i in. 1972). Parujący pot obniża natomiast temperaturę skóry i zwiększa w ten sposób gradient termiczny pomiędzy wnętrzem ciała a jego powłoką (Elizondo i Bullard 1971; Garden i in. 1966; Givoni i Belding 1965; Givoni i Goldman 1973). Fazy nagrzewania się suchej powierzchni ciała, wydzielania potu i obniżania się temperatury skóry w wyniku jego parowania następują cyklicznie, w przybliżeniu co 20 minut (ryc. 11) (Błażejczyk 1997a; Malchaire 1991).

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

http://rcin.org.pl



Ryc. 11. Cykliczne wahania temperatury skóry człowieka stojącego (*Tsk*) podczas wysokiej temperatury powietrza i ekspozycji na działanie promieniowania słonecznego, 14 lipca 1996 r., Borowa Góra
Periodical fluctuations of skin temperature (*Tsk*) at standing subject during high air temperature and exposition for solar radiation, 14 July 1996, Borowa Góra

http://rcin.org.pl

3. Metody badania wpływu promieniowania słonecznego na organizm człowieka

3.1. Promieniowanie nadfioletowe

Promieniowanie nadfioletowe (UV) jest dla człowieka promieniowaniem niewidzialnym, zostało ono odkryte w widmie słonecznym w początkach XIX w. Powstawanie rumienia i pigmentacji (opalenizny) skóry pod wpływem UV udowodniono na przełomie XIX i XX w. (Martynuska i Baranowska 1996).

Granice pomiędzy poszczególnymi zakresami promieniowania nadfioletowego (UV-A, UV-B i UV-C) są związane z różną aktywnością biologiczną fal o określonej długości. Granica pomiędzy UV-A i UV-B (0,315 μm), jest uzasadniona nieznacznym już oddziaływaniem biologicznym fal o długości większej od tej wartości. Granica zaś między UV-B i UV-C (0,280 μm) jest związana z minimalną zdolnością wywoływania rumienia w skórze ludzkiej przez fale krótsze. Praktycznie UV-C nie dociera do powierzchni Ziemi, jest bowiem pochłaniane w atmosferze, głównie przez warstwę ozonową. W umiarkowanych szerokościach geograficznych działanie biologiczne promieniowania UV-A występuje od momentu gdy wysokość Słońca nad horyzontem (h) przekracza 20°, a UV-B - gdy $h > 30°$.

W klimatoterapii i jej podstawowej formie - helioterapii (kąpiele słoneczne) istotne znaczenie ma promieniowanie nadfioletowe (UV-B), tzw. promieniowanie Dorno erytemalne (wywołujące rumień nieopalonej skóry ludzkiej). Szacowanie ilości promieniowania nadfioletowego docierającego do powierzchni Ziemi, jest trudne z powodu braku szczegółowych i ciągłych danych obserwacyjnych z długich okresów dla różnych stref klimatycznych. Jego natężenie zależy od czynników geograficznych, astronomicznych i geofizycznych. Zależności te można określić z pewnym przybliżeniem dla dowolnego miejsca na kuli ziemskiej (Belinskij 1968; Büttner 1938; Słomka 1973).

Jedną z metod wyznaczania czasu trwania kąpieli słonecznych jest tzw. diagram K. Büttnera (1938). Czas trwania kąpieli słonecznej, potrzebny do otrzymania dawki rumieniowej, jest w nim określany na podstawie wysokości Słońca nad horyzontem i stopnia zachmurzenia nieba. Bardzo przydatna w praktyce helioterapeutycznej jest metoda V.A. Belinskiego (1968). Jest to metoda dawkowania promieniowania erytemalnego, którego efektywność zależy głównie od wysokości Słońca, zachmurzenia i całkowitej zawartości ozonu w atmosferze, a w mniejszym stopniu także od albedo podłoża i zmętnienia atmosfery. Na podstawie tych parametrów, V.A. Belińskij opracował metodę przybliżonego wyznaczania natężenia erytemalnego promieniowania słonecznego. Dla różnych stopni zachmurzenia wprowadził on odpowiednie współczynniki (od 1 przy zachmurzeniu 0% do 0,35 dla zachmurzenia 100%). Metoda ta była stosowana w warunkach geofizycznych Polski przez T. Górę (1973). Z uwagi na subiektywny sposób określania pokrycia nieba chmurami, J. Słomka (1973) zaproponował zastąpienie stopnia zachmurzenia względnym natężeniem promieniowania słonecznego.

http://rcin.org.pl

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

Dawka rumieniowa (erytemalna) to najmniejsza ilość energii promieniowania nadfioletowego, która u przeciętnego białego człowieka wywołuje rumień nieopalonej skóry. Długość dawki, czyli czas napromieniowania, zależy od natężenia promieniowania erytemalnego, które ma swą kulminację na ogół około południa prawdziwego. Najkrótsze dawki przypadają więc między godziną 11 a 13. Każda kąpiel słoneczna zmniejsza wrażliwość człowieka na promieniowanie ultrafioletowe i dlatego można zwiększać stopniowo liczbę jego dawek. W praktyce posługujemy się czwartą częścią dawki rumieniowej, nazywaną dawką leczniczą.

Wartości średnich dawek rumieniowych (dla blondynów, brunetów i szatynów) uzyskano doświadczalnie w byłym Instytucie Balneologicznym w Poznaniu, podczas badań w Kołobrzegu, za pomocą prostego rumieniomierza. Na podstawie wyników badań skonstruowano diagram (Tyczka 1973; Tyczka i in. 1971), który może być przydatny w praktyce leczenia promieniami słonecznymi. Zbliżoną jest metoda izochron podana przez Pfleiderera (cyt. Słomka 1973). Obydwie metody pozwalają na odczytanie na diagramach czasu usłonecznienia w minutach oraz obliczenie liczby dawek rumieniowych w odpowiednich przedziałach jednogodzinnych, dla tych miesięcy w roku, w których Słońce przekracza wysokość 30°. Ogólnie można stwierdzić, że najkrótsze dawki rumieniowe przypadają w Polsce w maju i w czerwcu na godziny około południowe, gdy natężenie promieniowania jest największe (Kuczmarski 1984, 1990). Średnia dawka rumieniowa (*DR*) wynosi w okresie od maja do sierpnia w przybliżeniu: dla blondynów około 36 minut, dla brunetów około 43 minuty, dla szatynów około 40 minut napromieniowania (Tyczka 1973).

Znając rzeczywiste wartości natężenia bezpośredniego promieniowania słonecznego w danej miejscowości można obliczyć faktyczną długość dawki rumieniowej skóry (*DRS*) dla poszczególnych miesięcy. Stosuje się w tym celu zmodyfikowany wzór S. Tyczki (Kozłowska-Szczęsna i in. 1997):

$$DRS = \frac{DR}{0{,}001433 \cdot K_{dir}}$$

3.2. Promieniowanie widzialne

Z uwagi na stosunkowo małą aktywność biologiczną widzialna część promieniowania słonecznego nie była dotychczas przedmiotem szczegółowych badań klimatologicznych i fizjologicznych. Jak już wspomniano promieniowanie widzialne działa głównie na światło-

http://rcin.org.pl

czułe komórki oka, a co za tym idzie na odbieranie wrażeń wizualnych (optyczno-psychicznych). Stąd też do jego jakościowej oceny mogą być wykorzystane takie charakterystyki klimatologiczne jak usłonecznienie (rzeczywiste, względne) oraz zachmurzenie (Błażejczyk 1983; Kozłowska-Szczęsna i Błażejczyk 1997). Zarówno bowiem czas usłonecznienia jak i stopień zachmurzenia mają wyraźny wpływ na aktywność biologiczną i samopoczucie człowieka.

Podstawową miarą usłonecznienia jest usłonecznienie rzeczywiste wyrażone liczbą godzin, podczas których promieniowanie bezpośrednie dociera od tarczy słonecznej do powierzchni Ziemi. Dzięki danym o usłonecznieniu rzeczywistym można między innymi wyróżniać okresy i typować obszary, w których występują najlepsze warunki dla klimatoterapii, a głównie dla helioterapii (Kuczmarski 1990).

Na potrzeby bioklimatologii człowieka używane jest często pojęcie usłonecznienia względnego (stosunek procentowy usłonecznienia rzeczywistego do usłonecznienia maksymalnego, tzn. liczonego od wschodu do zachodu Słońca przy niebie bezchmurnym). Jest ono dobrym wskaźnikiem przydatności usłonecznienia do celów helioterapii, uwarunkowanym astronomicznie, geograficznie i meteorologicznie (Kuczmarski 1984). Usłonecznienie względne (w %) oblicza się przeważnie dla przedziałów jednogodzinnych. J. Skrzypski (1974) zaproponował następujące kryteria oceny przydatności usłonecznienia dla helioterapii:

- usłonecznienie względne mniejsze niż 20% - możliwość stosowania helioterapii mała lub żadna,
- usłonecznienie względne 20,1-40% - możliwość stosowania helioterapii mierna,
- usłonecznienie względne 40,1-60% - możliwość stosowania helioterapii umiarkowana,
- usłonecznienie względne większe niż 60% - możliwość stosowania helioterapii dobra i bardzo dobra.

Wielkość i rodzaj zachmurzenia wpływa na stan psychiczny człowieka; dodatni jest wpływ jasnej słonecznej pogody, a ujemny - pochmurnej. Dłuższe okresy pogody z zachmurzeniem całkowitym są uciążliwe biologicznie (Błażejczyk 1983). Osoby, które w niewystarczającym stopniu korzystają z działania promieniowania słonecznego, mają objawy tzw. głodu słonecznego (bladość skóry, zaburzenia snu, nadmierna pobudliwość lub apatia, obniżenie sprawności fizycznej i umysłowej oraz zmniejszenie odporności organizmu na działanie drobnoustrojów chorobotwórczych) (Daniłowa 1988).

Chmury ograniczają dopływ promieniowania słonecznego i tym samym zmniejszają dopływ promieniowania nadfioletowego. Osłabienie promieniowania UV w zależności od stopnia zachmurzenia według K. Büttnera (1938) waha się od 6% przy zachmurzeniu równym 10% do 55% przy zachmurzeniu całkowitym (100%). Natomiast według V.A. Belinskiego (1968) brak jest osłabienia promieniowania UV przy zachmurzeniu 10%, a przy zachmurzeniu pełnym osłabienie promieniowania UV wynosi 65%.

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

- niebo bezchmurne - warunki bardzo dobre,

http://rcin.org.pl

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

3.3. Promieniowanie podczerwone

Promieniowanie podczerwone jest jednym z ważnych źródeł ciepła dla organizmu człowieka. Pochłonięte przez skórę i tkankę podskórną uzupełnia ilość ciepła dostarczanego do tych części ciała przez układ krwionośny z wnętrza organizmu (Błażejczyk 1995; Breckenridge i Goldman 1971; Budyko 1959, 1975; Cena 1974; Clark i in. 1973). Ma ono bezpośredni wpływ na jej temperaturę i stanowi drugie - obok metabolizmu - źródło ciepła dla organizmu (Błażejczyk 1988, 1993, 1995; Błażejczyk i in 1993; Clark R.P. i Edholm 1985; Gregorczuk 1966; Nielsen B. i in. 1988).

Metody mające na celu określenie ilości promieniowania pochłoniętego można podzielić na dwie grupy, określające termiczny i energetyczny efekt promieniowania. W pierwszym przypadku oblicza się tak zwaną średnią temperaturę promieniowania, zaproponowaną przez P.O. Fangera (1974) do badań w pomieszczeniach zamkniętych. Istnieją także udane próby zaadaptowania tej wielkości do badań w terenie otwartym (Jendritzky 1990; Jendritzky i Menz 1986; Jendritzky i Nübler 1981; Jendritzky i Sievers 1986; Skrzypski 1981).

Druga grupa metod obejmuje różnego rodzaju formuły służące do przeliczania natężenia promieniowania słonecznego zmierzonego przy pomocy standardowych przyrządów meteorologicznych na natężenie promieniowania pochłoniętego przez człowieka (Ajzenštat 1973, 1986; Błażejczyk i in. 1993; Breckenridge i Goldman 1971, 1977; Brown i Gillespie 1986; Budyko i Cicenko 1960; Burt i in. 1982a, b; Clark i Cena 1976; Freitas i Ryken 1989; Höppe 1984; Krys i Brown 1990; Lee 1980; Morgan i Baskett 1974; Nielsen B. i in. 1988; Terjung 1969, 1974; Terjung i Louie 1971; Tuller 1975). Ogólny wzór na wielkość promieniowania słonecznego pochłoniętego przez organizm człowieka ma następującą postać:

$$R = (\beta_{dir} \cdot K_{dir} + \beta_{dif} \cdot K_{dif} + \beta_{ref} \cdot K_{ref}) \cdot \alpha \cdot Cl .$$

3.4. Metody oceny cieplnego oddziaływania promieniowania słonecznego na człowieka

W badaniach termofizjologicznych i fizjoklimatycznych powszechnie są stosowane różnego rodzaju metody mające służyć jak najdokładniejszemu odzwierciedleniu różnorakich procesów wymiany ciepła zachodzących pomiędzy organizmem człowieka a otoczeniem. Bezpośrednie pomiary i obserwacje prowadzone na ludziach są niezbyt częste. Ich wyniki służą w zasadzie do weryfikowania poprawności danych uzyskanych wcześniej na modelach analogowych. Zweryfikowane w ten sposób wyniki badań służą następnie do budowania

http://rcin.org.pl

skomplikowanych modeli cyfrowych (komputerowych), które mogą uwzględnić większość skomplikowanych powiązań pomiędzy różnymi składnikami bilansu cieplnego człowieka.

3.4.1. Modele analogowe człowieka

Przy konstruowaniu fizycznych analogów ciała człowieka zakłada się, że powierzchnia przyrządu podlega takim samym procesom wymiany ciepła jak powierzchnia ciała. Ich twórcy przyjmują przy tym różne formy geometryczne jako analogi ciała ludzkiego. Najczęściej stosowane są: cylinder, kula, elipsoida i manekin.

Intensywny rozwój cylindrycznych modeli człowieka miał miejsce w latach 1960-1980 (Parsons 1993). Termofizjolodzy na modelach tych badali wymianę ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem, w tym także wymianę radiacyjną. Tworzono przy tym zarówno modele jednosegmentowe (jednoczęściowe), jak i wielosegmentowe, w których poszczególne części ciała są odzwierciedlone jako cylindry o różnych wysokościach i przekrojach poprzecznych. Na podstawie cylindra, jako analogu ciała człowieka, powstały także proste przyrządy pomiarowe stosowane w terenowych badaniach bioklimatycznych. W 1913 roku L. Hill skonstruował katatermometr (termometr alkoholowy ze zbiorniczkiem w kształcie walca), mierzący tzw. wielkość ochładzającą powietrza. W roku 1973 B.A. Ajzenštat zaproponował do badań bioklimatycznych tzw. "potometr"; jest to metalowy cylinder wypełniony powietrzem z czujnikiem termometru umieszczonym w jego geometrycznym centrum. Przyrząd ten jest w klimatach gorących i suchych stosowany do oceny natężenia strat ciepła na parowanie (stąd jego nazwa). W klimatach umiarkowanie ciepłych i wilgotnych przyrząd ten może być wykorzystywany do oceny odczuć cieplnych człowieka (Błażejczyk 1990).

Początek kulistym modelom człowieka dali w roku 1925 C. Dorno i R. Thilenius konstruując frygorymetr, którego czujnik stanowiła poczerniona, miedziana kula o średnicy 7,5 cm, ogrzewana prądem elektrycznym do stałej temperatury. W kilka lat później (1933) H. Pfleiderer i K. Büttner przedstawili frygorygraf, przyrząd rejestrujący, o kształcie kuli i o średnicy 15 cm. Wskaźnikiem wielkości ochładzającej powietrza jest ilość energii cieplnej, niezbędna do utrzymania powierzchni tych przyrządów w temperaturze 36,5°C (frygorymetr) lub wielkość zmian temperatury kuli przy równomiernym jej podgrzewaniu. W badaniach termofizjologicznych stosowany jest także tzw. termometr kulisty H.M Vernona. Jest to poczerniona, miedziana kula o średnicy 15 cm, w której geometrycznym centrum jest umieszczony czujnik termometru. Wskazania tego termometru odzwierciedlają temperaturę powietrza uwarunkowaną zarówno procesami konwekcji, jak i promieniowania. Są one wykorzystywane do określania tzw. średniej temperatury promieniowania, czyli temperatury powierzchni ciała, jaka kształtuje się w wyniku działania promieniowania cieplnego otoczenia i pochłoniętego promieniowania słonecznego.

W latach osiemdziesiątych opracowano nowy model analogowy człowieka, mający kształt elipsoidy obrotowej. Na bazie elipsoidy powstały tzw. mierniki komfortu cieplnego.

http://rcin.org.pl

Działają one na podobnej zasadzie jak wspomniany wyżej frygorygraf. Temperatura powierzchni elipsoidy jest używana do określania kilku wskaźników termofizjologicznych, np. przewidywanej średniej oceny (Predicted Mean Vote) czy średniej temperatury promieniowania (*Mrt* - Mean radiant temperature) (Fanger 1974). Elipsoida była też stosowana w badaniach ilości pochłoniętego promieniowania słonecznego (Błażejczyk 1995).

W ostatnich latach powszechnie używane są w badaniach termofizjologicznych manekiny, jako analogi ciała człowieka. Manekiny termalne działają na podobnej, jak frygorymetr, zasadzie termoelektrycznej. Ilość energii potrzebnej do utrzymania powierzchni manekina na założonym poziomie temperatury charakteryzuje bilans tzw. suchej wymiany ciepła, a więc wymiany ciepła następującej na drodze radiacji, konwekcji i kondukcji. Manekiny termalne "pocące się" stanowią nowy etap eksperymentalnych badań termofizjologicznych. Wskazuje on nie tylko na natężenie suchej wymiany ciepła, ale także na straty ciepła na parowanie. Manekin, jako geometryczny model człowieka, był przez autora opracowania wykorzystywany w badaniach mających na celu ocenę realnych wartości pochłoniętego przez człowieka promieniowania słonecznego.

3.4.2. Modele cyfrowe

Wyniki badań teoretycznych i eksperymentalnych, prowadzonych z zastosowaniem różnych modeli analogowych człowieka, posłużyły wielu autorom do stworzenia modeli cyfrowych wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem. W modelach tych promieniowanie słoneczne stanowi bardzo ważny element bilansu cieplnego człowieka. Modele te można, na podstawie warunków jakie mają opisywać, podzielić na dwie podstawowe grupy (Błażejczyk 1993):

- modele stosowane w warunkach niestacjonarnych,
- modele stosowane w warunkach stacjonarnych.

Jako niestacjonarne określa się takie warunki, w których następują chwilowe wahania reakcji termoregulacyjnych organizmu, będące wynikiem obciążenia pracą lub zmieniających się warunków termicznych otoczenia, a saldo wymiany ciepła jest różne od zera (Clark i in. 1973). O warunkach stacjonarnych można mówić w przypadku dłuższych okresów (co najmniej doba), gdy uśrednione wartości parametrów fizjologicznych i meteorologicznych zapewniają równoważenie się zysków i strat ciepła (Mitchell 1977).

Pierwszy, bioklimatyczny model bilansu cieplnego człowieka, dostosowany do warunków niestacjonarnych, został opracowany przez W.H. Terjunga (1966, 1970). Stosowany on był do badania bioklimatu miast w Kalifornii. Podobny model był też używany przez S.E. Tullera (1975) do badania mikroklimatu otoczenia budynków. Niemal w tym samym czasie opracowali swe modele P. Webb (1971) oraz N.P. Povolockaja (1975). G. Jendritzky (1990) stworzył model, noszący nazwę "Klima-Michel-Modell", natomiast propozycja opracowana przez C.R. de Freitasa (1985, 1990) otrzymała nazwę HEBIDEX.

http://rcin.org.pl

W badaniach fizjoklimatycznych, prowadzonych w ostatnich latach w terenie otwartym, mierzono zarówno parametry meteorologiczne jak i fizjologiczne. Badania B. Nielsen i innych (1988) dotyczyły osób ćwiczących na ergometrze, ubranych tylko w spodenki gimnastyczne. Natomiast C.R. de Freitas i M.G. Ryken (1989) prowadzili pomiary na osobach biegających w stroju gimnastycznym, a zastosowanemu do obliczeń bilansu cieplnego modelowi nadali nazwę BIODEX. Badania K. Błażejczyka i B. Krawczyk prowadzone były w różnych strefach klimatycznych i odnosiły się do człowieka ubranego w odzież letnią, stojącego w pozycji spoczynkowej (Błażejczyk 1991, 1993; Błażejczyk i Krawczyk 1991; Krawczyk i Błażejczyk 1991).

Druga grupa modeli, odnosząca się do stacjonarnych warunków wymiany ciepła, to modele zakładające równoważenie się zysków i strat ciepła z organizmu. Służą one do ogólnej oceny warunków bioklimatycznych. Równoważenie bilansu cieplnego następuje poprzez zmiany: temperatury skóry, termoizolacyjności odzieży, poziomu aktywności fizycznej lub ilości potu parującego z powierzchni ciała. W modelu opracowanym przez zespół M.I. Budyko (Budyko 1975; Budyko i Cicenko 1960; Liopo i Cicenko 1971) czynnikiem równowagi cieplnej jest - poza temperaturą skóry - termoizolacyjność odzieży. Model ten był także stosowany w badaniach przez B. Krawczyk (1979), oraz K. Błażejczyka (1987). Spośród innych modeli tego rodzaju należy wymienić model MANMO (Morgan i Baskett 1974), HUMAN (Burt i in. 1982a, b), STEBIDEX (de Freitas 1985, 1990) oraz model V.K. Marinova (*Atlas kurortno*... 1971).

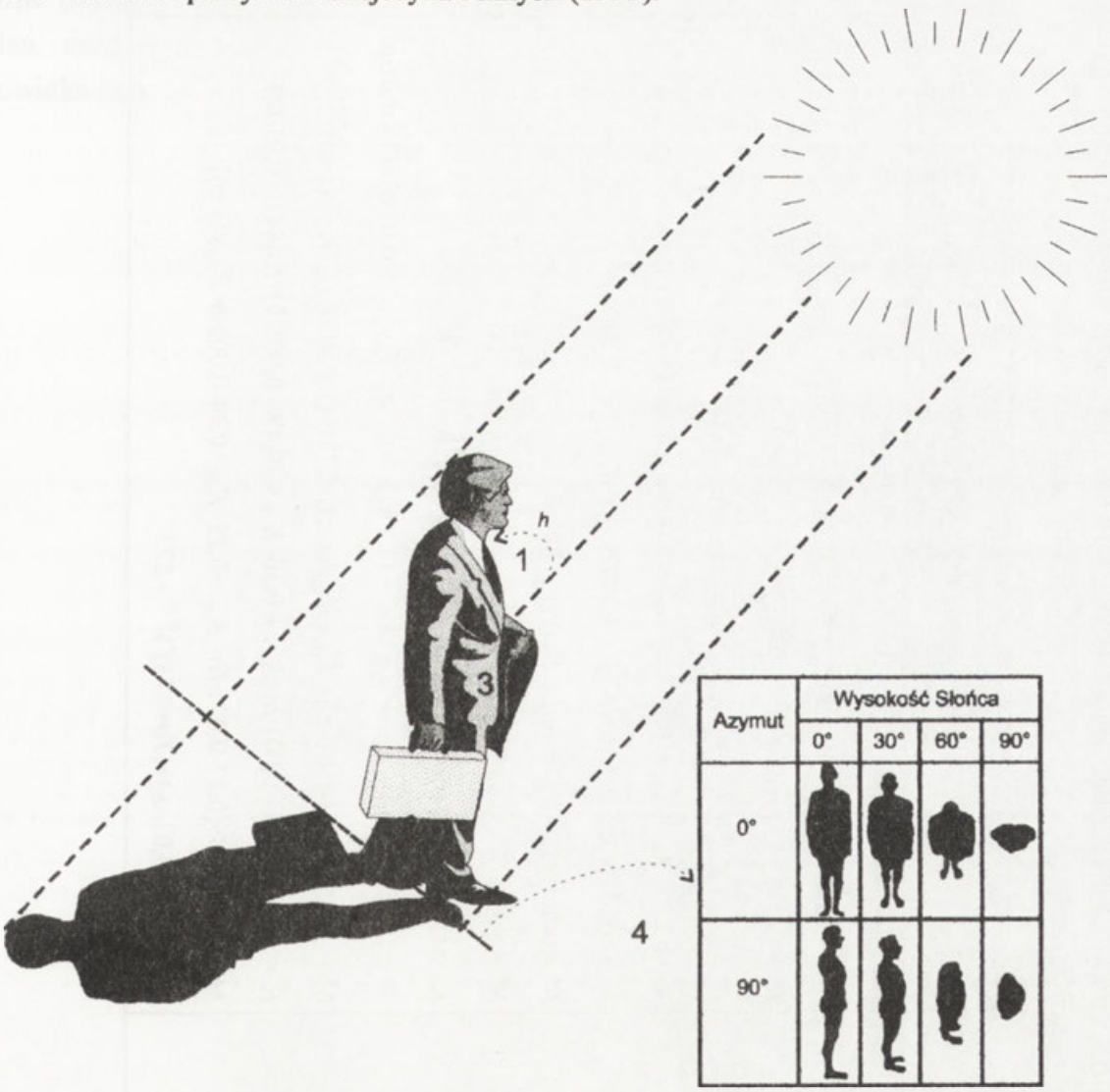
Modele B.A. Ajzenštata (1973, 1986) i B. Givoniego (1976) zakładają równoważenie się bilansu cieplnego człowieka poprzez parowanie wody z powierzchni ciała. Do oceny natężenia stresu zimna w pomieszczeniach zamkniętych przydatny jest model IREQ (Holmér 1988, 1994). W modelu stosowanym przez N. Hammera i innych (1986) oraz E. Koch i E. Rudla (1988), równoważenie się przychodów i strat ciepła jest efektem zmian termoizolacyjności odzieży oraz aktywności fizycznej człowieka.

Nową generację modeli zapoczątkował model MENEX (Błażejczyk 1993, 1994), pozwalający na analizę bilansu cieplnego człowieka w terenie otwartym, zarówno w warunkach niestacjonarnych (do oceny biotermicznej różnych warunków środowiskowych - pogodowych i terenowych) jak i stacjonarnych (do ogólnej oceny warunków bioklimatycznych). Dane wejściowe, stosowane w modelu MENEX, odnoszą się zarówno do warunków meteorologicznych panujących w otoczeniu człowieka jak i do wskaźników fizjologicznych, będących wynikiem ich oddziaływania. Dane wyjściowe dostarczają natomiast informacji na temat natężenia poszczególnych strumieni ciepła, salda wymiany ciepła, a także innych wielkości charakteryzujących bilans cieplny człowieka (dopuszczalny czas przebywania w danych warunkach, straty wody, obciążenie cieplne organizmu). W przypadku badania bilansu cieplnego człowieka w warunkach stacjonarnych w modelu MENEX zaproponowano używanie następujących wskaźników: temperatury skóry bilansującej wymianę ciepła, potencjalnego salda wymiany ciepła i efektywnej izolacyjności odzieży potrzebnej dla zapewnienia równowagi cieplnej organizmu. Model MENEX jest

http://rcin.org.pl

stosowany w wielu rodzajach badań biometeorologicznych, bioklimatycznych i termofizjologicznych (Błażejczyk 1997a; Meteeva 1997; Tuller 1997).

Porównanie niektórych algorytmów służących w poszczególnych modelach do określenia pochłoniętego promieniowania słonecznego zawiera tabela 3. Głównymi elementami różnicującymi te algorytmy są: rodzaj przyjętego, geometrycznego wzorca ciała człowieka, charakterystyki kąta padania promieni słonecznych (ryc. 12) oraz rodzaj uwzględnianych strumieni promieniowania słonecznego (bezpośrednie, rozproszone, odbite od podłoża). Szeroki przegląd różnych metod szacowania ilości pochłoniętego promieniowania można znaleźć w pracy K. Błażejczyka i innych (1993).



Ryc. 12. Charakterystyki kąta padania promieni słonecznych, stosowane w różnych modelach pochłaniania promieniowania słonecznego (wg Błażejczyka i in. 1993);
1 - funkcja trygonometryczna wysokości Słońca, 2 - funkcja cienia rzucanego przez człowieka na podłoże, 3 - funkcja obszaru ciała oświetlonego promieniami słonecznymi, 4 - funkcja tzw. obszaru projekcji (t.j. rzutu sylwetki ciała na płaszczyznę prostopadłą do promieni słonecznych - wg Underwooda i Warda 1966)
Characteristics of solar angle used in different models of absorbed solar radiation (by Błażejczyk et al. 1993):
1 - trigonometric functions of solar angle, 2 - area of body shade cast on the ground surface, 3 - ratio of body area receiving solar beams, 4 - body area projected perpendicular to the Sun beams (Underwood and Ward 1966)

http://rcin.org.pl

Tabela 3. Porównanie różnych modeli cyfrowych promieniowania słonecznego pochłoniętego przez człowieka nieubranego (*R'*, *Mrt'*)
Comparison of different numerical models of solar radiation absorbed by nude man (*R'*, *Mrt'*)

L.p.	Model	Algorytm *R'* lub *Mrt'*	Analog ciała człowieka	Korelacja z temperaturą skóry
1.	Budyko i Cicenko (1960)	$R' = (\mathrm{ctg}\, h/\pi \cdot K_{dir} + 0{,}5 \cdot K_{dif} + 0{,}5 \cdot K_{ref}) \cdot (1 - 0{,}01 \cdot a_c)$	cylinder	0,69
2.	Breckenridge i Goldman (1971)	$R' = [g_p \cdot f_a \cdot K_{dir} + (g_z + 0{,}5 \cdot g_h) \cdot f_{acl} \cdot K_{dif} + g_h \cdot f_{acl} \cdot K_{ref}] \cdot 0{,}01 \cdot a_c$	cylinder	0,69
3.	Terjung i Louie (1971)	$R' = (A_{sh} \cdot A_{cl} \cdot K_{dir} + K_{dif}) \cdot (1 - 0{,}01 \cdot a_c)$	-	0,67
4.	Morgan i Baskett (1974)	$R' = (A_{sh} \cdot K_{dir} + A_{sh} \cdot K_{dif} + A_{sh} \cdot K_{ref}) \cdot (1 - 0{,}01 \cdot a_c)$	-	0,64
5.	Tuller (1975)	$R' = (1{,}05 \cdot A_{sh}' \cdot K_{dir} + 0{,}5 \cdot A_{sh}' \cdot K_{dif} + 0{,}005 \cdot a_g \cdot K_{glob}) \cdot (1 - 0{,}01 \cdot a_c)$	-	0,57
6.	Lee (1980)	$R' = [(0{,}07 + 0{,}54 \cdot \mathrm{ctg}\, h) \cdot K_{glob} + 0{,}0085 \cdot a_g \cdot K_{glob}] \cdot (1 - 0{,}01 \cdot a_c)$	cylinder	0,51
7.	Höppe (1982)	$R' = (\sin h \cdot A_{sh} \cdot K_{dir} + K_{dif} + K_{ref}) \cdot (1 - 0{,}01 \cdot a_c)$	cylinder	0,62
8.	Nielsen i in. (1988)	$R' = A_p \cdot a_s \cdot K_{glob} / \sin h + 0{,}5 \cdot \sin h \cdot K_{dif} + 0{,}5 \cdot f_{eff} \cdot a_s \cdot K_{dif}$	cylinder	0,67
9.	de Freitas i Ryken (1989)	$R' = 1{,}12 \cdot A_i \cdot K_{dir} / \sin h + 0{,}45 \cdot K_{dif} + 0{,}34 \cdot \cos h \cdot 0{,}01 \cdot a_g \cdot K_{glob}$	cylinder	0,61
10.	Krys i Brown (1990)	$R' = [s \cdot \mathrm{tg}\,(90 - h)/\pi \cdot K_{dir} + h_{sh} \cdot K_{dif} + (1 - h_{sh}) \cdot 0{,}01 \cdot a_g \cdot K_{dif}] \cdot (1 - 0{,}01 \cdot a_g) \cdot (1 - 0{,}01 \cdot a_c)$	cylinder	0,68
11.	Jendritzky (1990)	$Mrt' = \{[(s \cdot T_i^4 + (1 - 0{,}01 \cdot a_c) \cdot (K_{dif} + K_{ref})/(s \cdot \sigma)) + 273] + (1 - 0{,}01 \cdot a_c) \cdot f_p \cdot K_{dir} / (s \cdot \sigma)\}^{0{,}25} - 273$	-	0,72
12.	Błażejczyk (1995)	$R' = [\mathrm{ctg}\, h \cdot (0{,}25 - 0{,}001 \cdot h) \cdot K_{dir} + 0{,}36 \cdot K_{dif} + (0{,}49 - 0{,}005 \cdot h) \cdot K_{ref}] \cdot (1 - 0{,}01 \cdot a_c)$	elipsoida	0,74
13.	Błażejczyk (1995)	$Mrt' = \{[(\mathrm{ctg}\, h \cdot (0{,}17 - 0{,}001 \cdot h) \cdot K_{dir} + 0{,}25 \cdot K_{dif} + 0{,}34 - 0{,}003 \cdot h \cdot K_{ref})/(s \cdot \sigma)] \cdot (1 - 0{,}01 \cdot a_c) + (Ta + 273)^4\}^{0{,}25} - 273$	elipsoida	0,85

http://rcin.org.pl

Przeprowadzone wcześniej badania porównawcze różnych modeli cyfrowych pochłoniętego promieniowania słonecznego (*R*) pozwalają na stwierdzenie, że tylko niektóre z nich w sposób realistyczny wyznaczają wartości badanej wielkości *R*: Krysa i Browna, Budyki i Cicenko oraz Breckenridge'a i Goldmana (Błażejczyk i in. 1993). Dwa pierwsze modele opierają się na przyjęciu założenia, że geometrycznym wzorcem człowieka jest cylinder. Trzeci model nie odnosi się natomiast do żadnego geometrycznego wzorca ciała człowieka, a uwzględnia proporcje części ciała oświetlonych i nieoświetlonych przez promienie słoneczne. Jeszcze dokładniejszego przybliżenia ilości pochłoniętego promienio-wania słonecznego można dokonać za pomocą modelu K. Błażejczyka (1993, 1995), który powstał w wyniku badań eksperymentalnych z zastosowaniem elipsoidy, jako modelu geometrycznego człowieka (tab. 3).

http://rcin.org.pl

4. Badania eksperymentalne pochłaniania promieniowania słonecznego

Pochłanianie promieniowania słonecznego, mimo iż jest ono ważnym składnikiem bilansu cieplnego człowieka, rzadko było badane w sposób eksperymentalny. Większość przedstawionych wyżej modeli cyfrowych powstała na podstawie rozważań teoretycznych tzw. "geometrii słonecznej", to znaczy wzajemnych relacji pomiędzy kątem padania promieni słonecznych na ciało człowieka a wysokością Słońca i natężeniem promieniowania słonecznego. Do nielicznych wyjątków należą badania doświadczalne, przeprowadzone z zastosowaniem cylindra, elipsoidy i manekina, jako analogów geometrycznych ciała człowieka.

4.1. Pochłanianie promieniowania przez różne modele człowieka

4.1.1. Cylinder

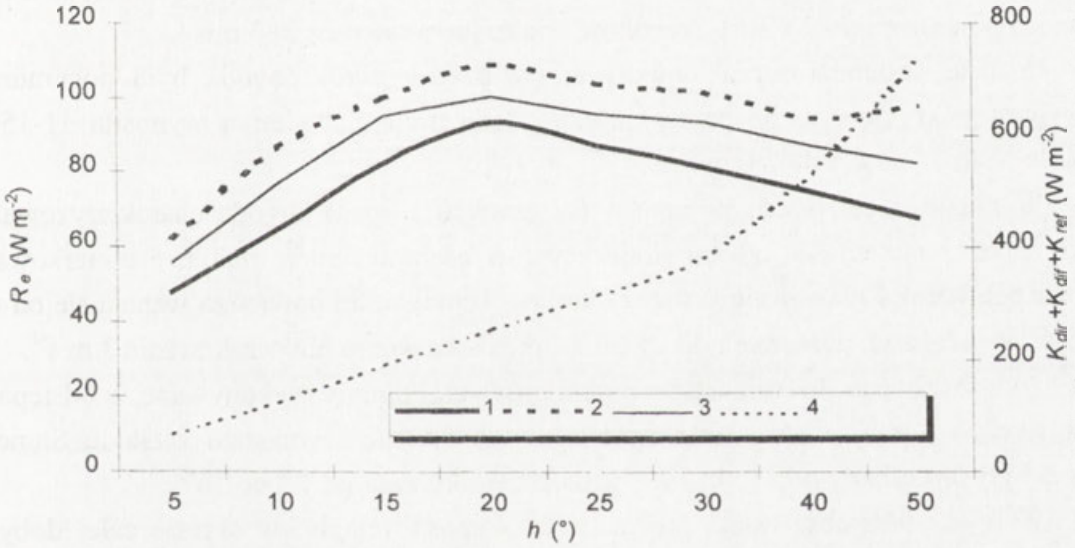
W wielu modelach cyfrowych pochłaniania promieniowania słonecznego przyjmuje się cylinder jako analog ciała człowieka. Niemniej jednak badania eksperymentalne, pozwalające na wyprowadzenie odpowiednich wzorów, zostały przeprowadzone jedynie przez S.A. Krysa i R.D Browna (1990). Autorzy zastosowali w swoim doświadczeniu cylinder aluminiowy o średnicy 9,81 mm i długości 106,44 mm. W nawierconym do głębokości 42,72 mm otworze o średnicy 6 mm umieszczony był czujnik termometru termistorowego. Powierzchnia cylindra miała albedo równe 37% i współczynnik emisyjności 0,95 (odpowiadający średniej emisyjności powierzchni ciała i odzieży). Cylinder był umieszczony pionowo. Pomiary prowadzone były w terenie otwartym, w warunkach nieba bezchmurnego i przy braku wiatru. Wyniki obserwacji pozwoliły autorom na opracowanie wzoru służącego do obliczania pochłoniętego promieniowania słonecznego. Do przeliczenia natężenia promieniowania mierzonego na powierzchni poziomej na powierzchnię cylindra zastosowali funkcję tangens kąta padania promieni słonecznych (por. tab. 3).

4.1.2. Elipsoida

W roku 1992 K. Błażejczyk, I. Holmér i H. Nilsson przeprowadzili badania ilości promieniowania słonecznego pochłoniętego przez elipsoidę (Błażejczyk i in. 1994). Ten analog ciała człowieka jest bowiem obecnie powszechnie stosowany w badaniach termofizjologicznych. Pomiary prowadzone były w komorze klimatycznej Narodowego Instytutu Medycyny Pracy w Solnej (Szwecja). Promieniowanie emitowała lampa jodowa (Thorn, typ CSI OQ 1000). Kąt padania promieni słonecznych regulowano w zakresie od 5 do 50°. Jako czujniki pochłoniętego promieniowania słonecznego zastosowano mierniki komfortu cieplnego (Brüel & Kjaer, typ MM0023). Jego dłuższa oś wynosiła 160 mm, a oś krótsza - 54 mm.

http://rcin.org.pl

Powierzchnia czujnika miała albedo równe 30% i współczynnik emisyjności - 0,95. Termiczny efekt promieniowania pochłoniętego przez czujnik jest zdefiniowany przez średnią temperaturę promieniowania (*Mrt*), która kształtuje się na jego powierzchni w wyniku oddziaływania temperatury otoczenia oraz promieniowania długofalowego i krótkofalowego. Po wyłączeniu składowej związanej z promieniowaniem długofalowym różnica pomiędzy *Mrt* a temperaturą powietrza wskazuje na ilość pochłoniętego promieniowania słonecznego (Błażejczyk 1993, 1995) Na podstawie prawa Stefana-Boltzmana przeliczono wartość *Mrt* na jednostki energetyczne, wyrażone w $W \cdot m^{-2}$. Największa ilość pochłoniętego przez elipsoidę promieniowania słonecznego była obserwowana przy kącie padania promieni słonecznych równym 20° (ryc. 13).



Ryc. 13. Natężenie promieniowania słonecznego pochłoniętego przez odkryty elipsoidalny model ciała człowieka (*Re*) oraz suma $K_{dir}+K_{dif}+K_{ref}$ przy różnym kącie padania promieni słonecznych (*h*) (wg Błażejczyka 1995):
1-3 - *Re* dla różnej barwy ścian i podłoża: 1 - czarnej, 2 - białej, 3 - zielonej; 4 - $K_{dir}+K_{dif}+K_{ref}$
Solar radiation absorbed by uncovered ellipsoid model of man (*Re*) and value of $K_{dir}+K_{dif}+K_{ref}$ at different elevation of solar lamp (*h*) (by Błażejczyk 1995):
1-3 - *Re* for various colour of walls and ground: 1 - black, 2 - white, 3 - green; 4 - $K_{dir}+K_{dif}+K_{ref}$

Ogólnie można stwierdzić, że natężenie pochłoniętego promieniowania słonecznego zmierzone na modelu elipsoidy jest o 30-40% niższe niż wartości *R* wyznaczone dla modelu cylindra za pomocą empirycznego wzoru Krysa i Browna.

W przypadku elipsoidy obserwowano wyższy współczynnik korelacji obliczonej wartości *R* ze zmierzoną w badaniach termofizjologicznych temperaturą skóry człowieka (Błażejczyk 1993). Wskazuje to, że elipsoida jest lepszym modelem ciała człowieka niż cylinder. Niemniej jednak wydawało się celowe prowadzenie dalszych badań w tym zakresie, z użyciem manekina jako modelu analogowego człowieka. Geometryczny kształt manekina najbardziej bowiem odpowiada budowie ciała ludzkiego.

http://rcin.org.pl

4.1.3. Manekin

Szukając jeszcze dokładniejszej metody określania ilości pochłoniętego promieniowania słonecznego podjęto badania z nowym modelem ciała ludzkiego, manekinem, który najwierniej odzwierciedla jego kształt. Badania ilości promieniowania słonecznego pochłoniętego przez manekin przeprowadzono na stacji obserwacyjnej IGiPZ PAN w Borowej Górze koło Warszawy. Wykonano trzy serie pomiarów: od 11 do 22 sierpnia i od 13 do 16 października 1995 r. oraz od 22 czerwca do 14 lipca 1996 r.

Podczas pierwszej, letniej serii pomiarowej (w sierpniu) panowała pogoda słoneczna, z zachmurzeniem małym i umiarkowanym (w niektóre dni wzrastało ono do dużego w godzinach około południowych). Temperatura powietrza wahała się od około 13-18°C w godzinach porannych do 25-30°C, prędkość wiatru nie przekraczała 3 $m \cdot s^{-1}$.

Podczas jesiennej serii pomiarowej (w październiku) pogoda była pochmurna, z całkowitym pokryciem nieba przez chmury. Temperatura powietrza wynosiła 11-15°C, a prędkość wiatru - od 0,5 do 2,0 $m \cdot s^{-1}$.

W czasie trzeciej serii pomiarów (w czerwcu i lipcu) pogoda charakteryzowała się zmiennym zachmurzeniem, od dni słonecznych, z zachmurzeniem małym i umiarkowanym, do dni z pełnym pokryciem nieba przez chmury. Temperatura powietrza wahała się od około 11-18°C w godzinach porannych do 25-30°C, prędkość wiatru nie przekraczała 3 $m \cdot s^{-1}$.

Podczas dwóch pierwszych serii pomiarowych pomiary wykonywano w odstępach 15 minutowych, obejmując okres od fizycznego wschodu do fizycznego zachodu Słońca. W sierpniu były to godziny od 6^{00} do 19^{30}, w październiku zaś - od 7^{30} do 16^{45}.

W roku 1996 obserwacje prowadzono w sposób ciągły, w okresie całej doby przy pomocy automatycznych rejestratorów danych DR-02 produkcji firmy Ellab. Rejestrację prowadzono z uśrednianiem pomiarów dla przedziałów: jednominutowych dniem i pięciominutowych - nocą.

We wszystkich seriach pomiarowych w sposób synchroniczny mierzono: natężenie promieniowania słonecznego w pełnym i krótkofalowym zakresie widma (zarówno padającego z góry jak i dochodzącego od podłoża), temperaturę i wilgotność powietrza oraz prędkość wiatru. Mierzono także gęstość strumienia ciepła (strumieniomierzami elastycznymi) na powierzchni manekina (w 7 punktach: czoło, dłoń, lewe ramię, klatka piersiowa, plecy, lewe udo i lewa łydka - część boczna) - określając tzw. "suchą" wymianę ciepła (ryc. 14). Kontrolowano także temperaturę powierzchni manekina i temperaturę jego wnętrza (termometrami oporowymi). Manekin był pokryty folią aluminiową [4] i był zawsze skierowany twarzą w kierunku tarczy słonecznej (fot. 1, 2).

---

[4] Pokrycie manekina warstwą folii aluminiowej miało na celu zminimalizowanie wypromieniowania długofalowego z jego powierzchni oraz związanych z tym chwilowych wahań salda suchej wymiany ciepła. W celach porównawczych przeprowadzono także (w sierpniu 1995 r.) pomiary na manekinie nie pokrytym folią. Nie stwierdzono istotnych różnic wartości S_m pomiędzy manekinem nie pokrytym i pokrytym folią, niemniej wyeliminowanie chwilowych wahań tej wielkości znacznie usprawniło opracowanie danych pomiarowych oraz zwiększyło ich dokładność.

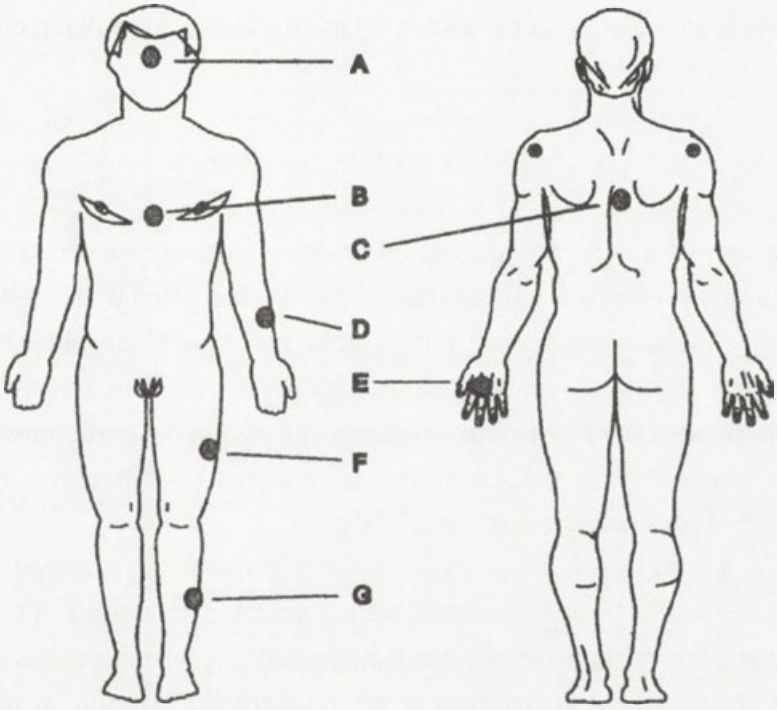
http://rcin.org.pl

Bilans radiacyjny powierzchni czynnej jest opisany następującym równaniem:

$$Q = K + L,$$

przy czym:

$$K = K_{dir} + K_{dif} - K_{ref},$$
$$L = L^{\downarrow} + L_{\uparrow}.$$



Ryc. 14. Miejsca umieszczenia czujników strumienia ciepła i temperatury na powierzchni manekina i ciała człowieka: A - czoło, B - pierś, C - plecy, D - przedramię, E - dłoń, F - udo, G - łydka
Locations of heat flux and temperature sensors over the mannequin and subjects bodies: A - forehead, B - chest, C - back, D - forearm, E - palm, F - thigh, G - lower leg

Pomiary gęstości strumienia ciepła na powierzchni manekina pozwoliły na określenie salda suchej wymiany ciepła (to znaczy bez udziału turbulencyjnej wymiany ciepła utajonego) na powierzchni manekina (S_m). Na wartość S_m składają się:

$$S_m = Q_m + C_m + K_m,$$

przy czym:

$$Q_m = R_m + L_m$$

http://rcin.org.pl

W celu określenia ilości ciepła unoszonego z powierzchni manekina wykonywano pomiary bilansu suchej wymiany ciepła za pomocą strumieniomierzy osłoniętych kopułkami lupolenowymi. Były one umieszczone na plecach i na piersi manekina, obok strumieniomierzy nie osłoniętych kopułkami. Porównanie wskazań obydwóch par strumieniomierzy pozwoliło na obliczenie konwekcyjnych strat ciepła z powierzchni manekina.

W celu określenia wypromieniowania długofalowego z powierzchni manekina mierzono temperaturę jego powierzchni (na przedniej i tylnej części torsu oraz na przedniej i tylnej części uda) oraz temperaturę jego wnętrza (wewnątrz torsu i wewnątrz uda). Pomiary temperatury powietrza oraz temperatury powierzchni i wnętrza manekina pozwoliły także na obliczenie strumienia K_m (przewodzenie do wnętrza i od wnętrza ku powierzchni).

Średnią ważoną wartość salda suchej wymiany ciepła na powierzchni manekina (S_m) liczono według wzoru:

$$S_m = 0{,}07\, S_{m\,A} + 0{,}175\, S_{m\,B} + 0{,}175\, S_{m\,C} + 0{,}15\, S_{m\,D} + 0{,}05\, S_{m\,E} + 0{,}20\, S_{m\,F} + 0{,}18\, S_{m\,G}$$

Saldo suchej wymiany ciepła osiągało w dni pogodne, podczas dopływu promieniowania słonecznego do powierzchni manekina, wartości około 180 $W \cdot m^{-2}$. Istotnym elementem tego bilansu było turbulencyjne unoszenie ciepła jawnego (konwekcja) na skutek ruchu powietrza. Wartości strumienia konwekcji zależne były zarówno od prędkości wiatru jak również od temperatury powietrza oraz natężenia całkowitego promieniowania słonecznego. Przewodzenie ciepła pomiędzy wnętrzem manekina a jego powierzchnią było bardzo małe i wynosiło średnio 3 $W \cdot m^{-2}$ (nie przekraczało 7 $W \cdot m^{-2}$).

Po uwzględnieniu ilości ciepła unoszonego do atmosfery i przewodzonego do wnętrza manekina obliczono saldo promieniowania na powierzchni manekina (Q_m). Ogólnie można stwierdzić, że wartości bilansu radiacyjnego zmieniały się synchronicznie do wahań ilości promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni gruntu, powodowanych przez chwilowe zmiany zachmurzenia. Podczas dni słonecznych Q_m osiągało wartości 150-200 $W \cdot m^{-2}$ (ryc. 10-18). Przy zachmurzeniu całkowitym saldo promieniowania wynosiło jedynie 50-100 $W \cdot m^{-2}$.

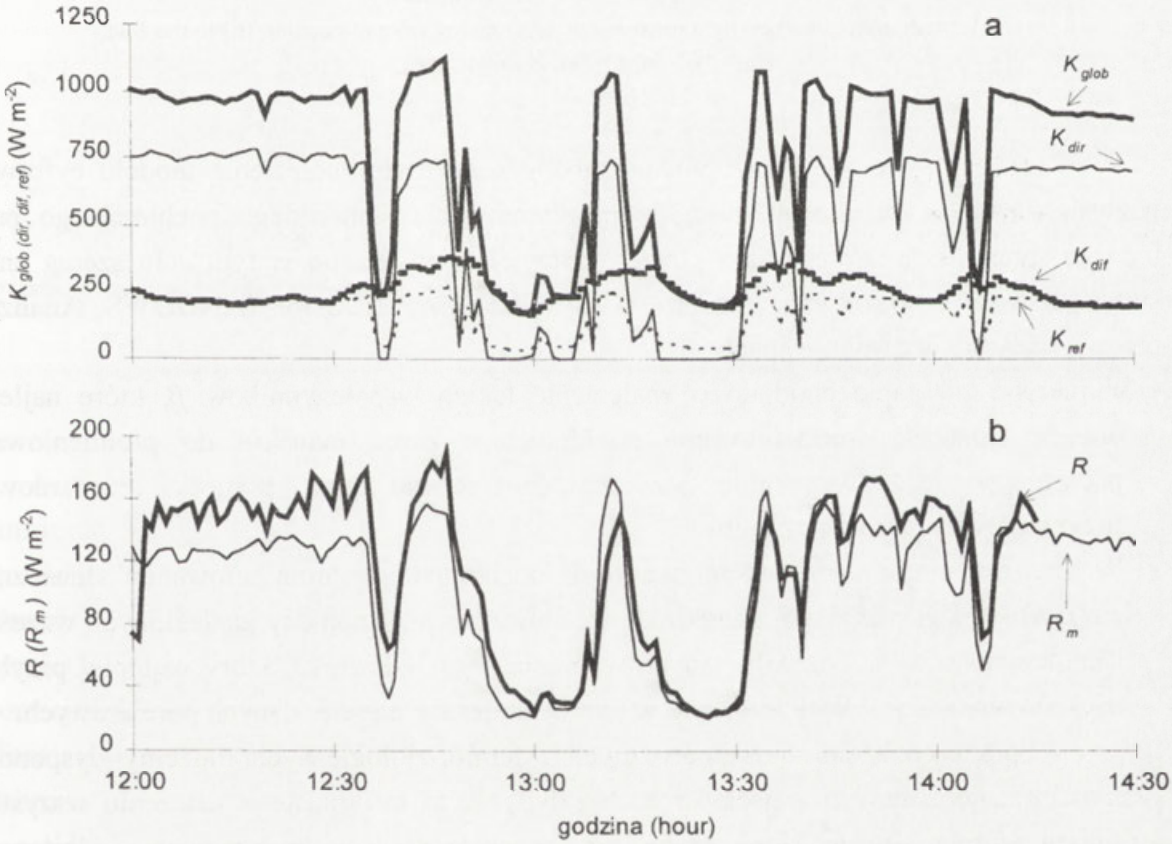
Saldo promieniowania w zakresie długofalowym wahało się od około -20 $W \cdot m^{-2}$ w godzinach nocnych do około +20 $W \cdot m^{-2}$ w ciągu dnia ilość pochłoniętego przez manekin ciepła dochodzącego od otoczenia na drodze promieniowania długofalowego stanowiła jedynie 15,5% promieniowania długofalowego przepływającego przez przygruntową warstwę powietrza od atmosfery do podłoża lub w kierunku przeciwnym. Długofalowe wypromieniowanie ciepła z powierzchni manekina było również stosunkowo niewielkie i sporadycznie dochodziło do 35 $W \cdot m^{-2}$.

Głównym składnikiem bilansu radiacyjnego było więc pochłonięte promieniowanie słoneczne. Podczas pogody słonecznej, gdy udział promieniowania bezpośredniego w promieniowaniu całkowitym wynosił 80-85%, osiągało ono w ciągu dnia natężenie około 150-200 $W \cdot m^{-2}$. Podczas pogody pochmurnej, gdy występowało jedynie promieniowanie rozproszone, wartości R_m i R wynosiły jedynie 40-80 $W \cdot m^{-2}$ (ryc. 15).

http://rcin.org.pl

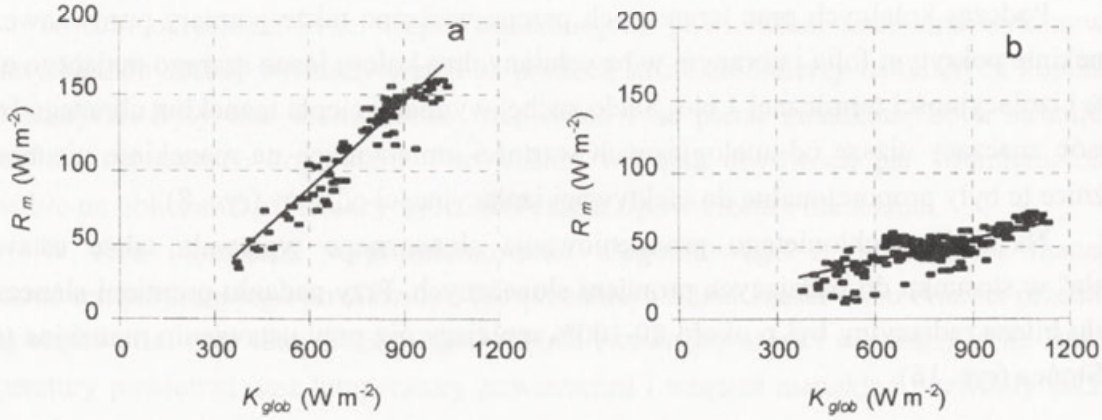
Podczas kolejnych prac terenowych przeprowadzono także pomiary porównawcze na manekinie pokrytym folią i ubranym w bawełniany dres koloru jasno szarego mającego albedo 30% i izolacyjności termicznej 1 clo. Saldo suchej wymiany ciepła manekina ubranego było w sposób znaczący niższe od analogicznych wartości zmierzonych na manekinie nieubranym. Różnice te były proporcjonalne do efektywnej izolacyjności odzieży (ryc. 8).

Na ilość pochłoniętego promieniowania słonecznego wpływała także ustawienie "ciała" w stosunku do padających promieni słonecznych. Przy padaniu promieni słonecznych z tyłu bilans radiacyjny był o około 80-100% mniejszy niż przy ustawieniu manekina twarzą do Słońca (ryc. 16).



Ryc. 15. Natężenie promieniowania słonecznego (a) oraz promieniowania pochłoniętego przez manekin i obserwatorów (b) w dniu o zmiennym zachmurzeniu, 3 lipca 1996 r., Borowa Góra
Intensity of solar radiation (a) and solar radiation absorbed by a mannequin and subjects (b) during the day of varying cloudiness, 3 July 1996, Borowa Góra

http://rcin.org.pl



Ryc. 16. Promieniowanie słoneczne pochłonięte przez manekin (R_m) stojący twarzą (a) i plecami (b) do Słońca, 4-5 lipca 1996 r., Borowa Góra
Solar radiation absorbed by a mannequin (R_m) facing (a) and backing (b) to the Sun, 4-5 July 1996, Borowa Góra

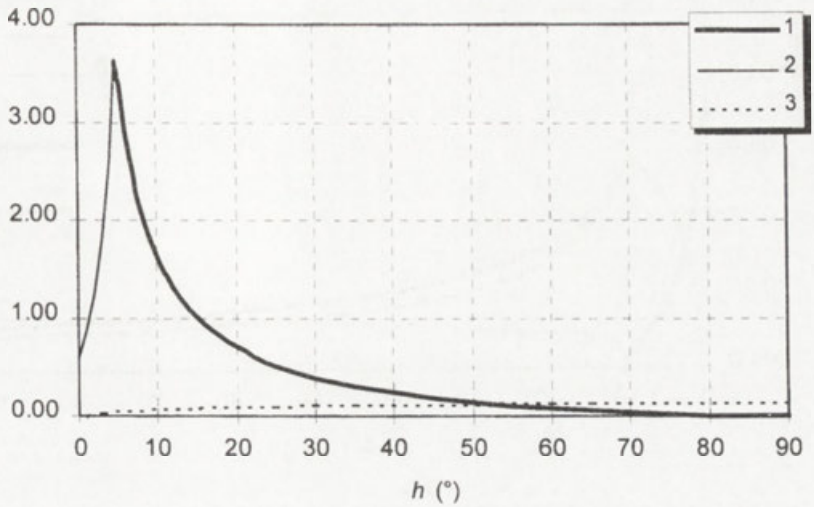
Podstawowym celem przeprowadzonych badań było znalezienie modelu cyfrowego pozwalającego na określenie natężenie promieniowania słonecznego pochłoniętego przez manekin oraz - poprzez analogię - przez człowieka. Wykonano w tym celu szereg analiz statystycznych, z wykorzystaniem programu STATGRAPHICS for WINDOWS. Analizy te przeprowadzono w dwóch etapach.

- W pierwszym etapie chodziło o znalezienie takich współczynników β, które najlepiej opisują stosunek promieniowania pochłoniętego przez manekin do promieniowania padającego na powierzchnię poziomą (mierzonego przy pomocy standardowych przyrządów meteorologicznych).
- W drugim etapie porównano wartości pochłoniętego promieniowania słonecznego zmierzone na powierzchni manekina oraz obliczone przy pomocy znalezionych wcześniej współczynników β. Pozwoliło to na wybranie tego wskaźnika, który najlepiej przybliża szukaną wartość R_m. Wykorzystano w tym celu niezależną serię danych pomiarowych.

W praktyce badań bioklimatycznych i termofizjologicznych możemy dysponować różnym rodzajem danych wejściowych. Niekiedy są to informacje o natężeniu wszystkich strumieni promieniowania słonecznego, tzn. bezpośredniego, rozproszonego i odbitego od podłoża. Znacznie częściej jednak dysponujemy jedynie informacjami o całkowitym dopływie promieniowania słonecznego oraz o wielkości zachmurzenia. Zdarza się także, że informacje o wielkości zachmurzenia są jedynymi, które charakteryzują warunki solarne. Dlatego też, na każdym etapie wykonano analizy, uwzględniające różny rodzaj potencjalnie dostępnych danych wejściowych, dotyczących warunków insolacyjnych.

Ryciny 17 i 18 ilustrują relacje zachodzące pomiędzy wysokością Słońca a wartością współczynników β w zależności od tego jakimi danymi dotyczącymi dopływu promieniowania słonecznego dysponujemy. Okazało się przy tym, że relacje pomiędzy natężeniem

http://rcin.org.pl



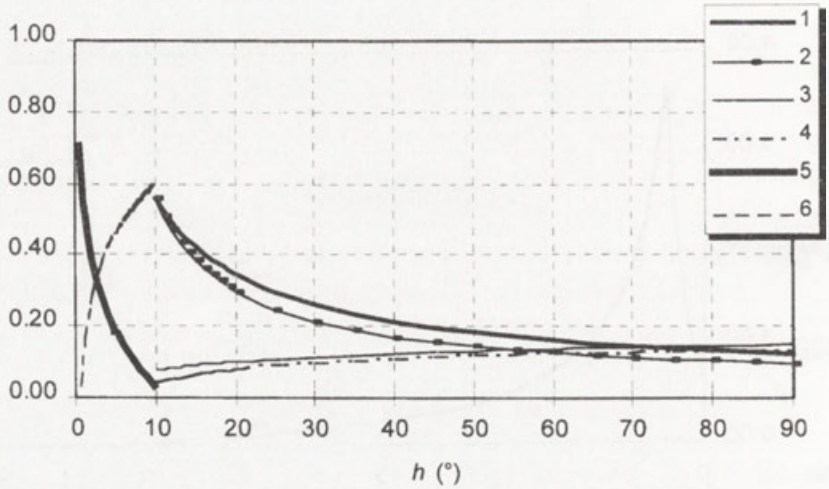
Ryc. 17. Przebieg krzywych regresji opisujących związek pomiędzy wysokością Słońca (h) a wartością współczynnika β w przypadku, gdy dysponujemy danymi o wszystkich strumieniach promieniowania słonecznego:
1 - dla promieniowania bezpośredniego, gdy h>5° (współczynnik korelacji r=0,869, liczebność próby n=2509),
2 - dla promieniowania bezpośredniego, gdy h≤5° (r=0,682, n=67),
3 - dla sumy promieniowania rozproszonego i odbitego od podłoża (r=0,899, n=91)
Courses of regression lines describing influence of Sun altitude (h) and β parameters in the case when we have in our disposal data concerning all solar radiation fluxes:
1 - for direct solar radiation at h>5° (correlation coefficient r=0.869, sample n=2509),
2 - for direct solar radiation at h≤5° (r=0.682, n=67),
3 - for the sum of diffuse and reflected solar radiation (r=0.899, n=91)

promieniowania pochłoniętego przez manekin i docierającego do jego powierzchni układają się odmiennie przy niskim i wysokim położeniu Słońca nad horyzontem. Dysponując danymi o wszystkich strumieniach promieniowania słonecznego należy rozpatrywać oddzielnie promieniowanie bezpośrednie (przy wysokości Słońca poniżej i powyżej 5°) i sumę promieniowania rozproszonego i odbitego od podłoża (ryc. 17). Wtedy, gdy mamy jedynie informacje o natężeniu promieniowania całkowitego należy brać pod uwagę wielkości zachmurzenia jako parametr różnicujący (ryc. 18).

W sytuacji, gdy dysponujemy jedynie informacjami o wielkości zachmurzenia ogólnego można się oprzeć na związkach korelacyjnych jakie zachodzą pomiędzy samą wysokością Słońca a natężeniem pochłoniętego promieniowania słonecznego (ryc. 19).

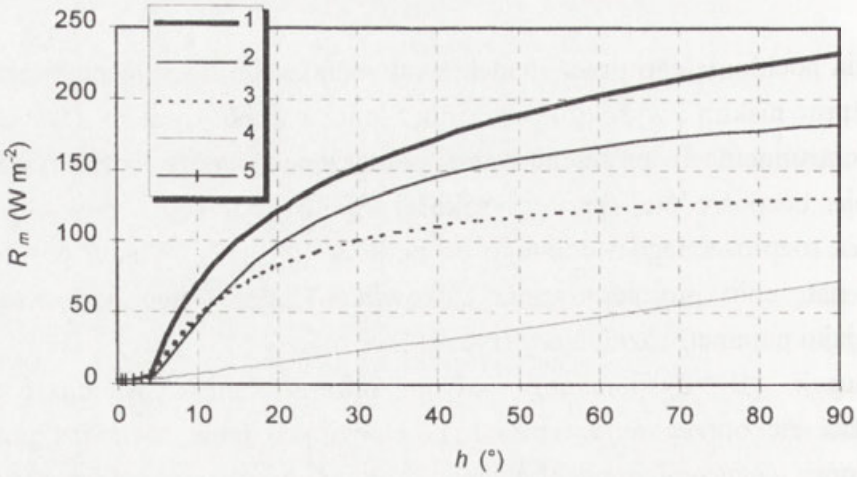
W kolejnym etapie badań statystycznych porównano wartości pochłoniętego promieniowania słonecznego obliczone przy pomocy znalezionych wcześniej równań regresji R_m i współczynników β oraz wartości zmierzone na powierzchni manekina. Pozwoliło to na określenie, które z równań regresji najlepiej przybliżają zmierzoną wartość R_m oraz jaki jest błąd obliczonych wartości R_m (tab. 4).

http://rcin.org.pl



Ryc. 18. Przebieg krzywych regresji opisujących związek pomiędzy wysokością Słońca (h) a wartością współczynnika β w przypadku, gdy dysponujemy jedynie danymi o całkowitym promieniowaniu słonecznym i rodzaju zachmurzenia: 1 - gdy h>10° oraz N=0-20% (r=-0,934, n=373), 2 - gdy h>10° oraz N=21-90% (r=0,832, n=1794), 3 - gdy h>10° oraz N>90% (r=0,899, n=91), 4 - gdy h>10° oraz N=20-90% przy braku promieniowania bezpośredniego (r=-0,509, n=687), 5 - gdy h≤10°, dla godzin porannych (r=-0,884, n=91), 6 - gdy h<10°, dla godzin wieczornych (r=0,588, n=138)

Courses of regression lines describing influence of Sun altitude (h) and β parameters in the case when we have in our disposal data concerning global solar radiation and cloudiness only: 1 - at h>10° and N=0-20% (r=-0.934, n=373), 2 - at h>10° and N=21-90% (r=0.832, n=1794), 3 - at h>10° and N>90% (r=0.899, n=91), 4 - at h>10° and N=20-90% with lack of direct radiation (r=-0.509, n=687), 5 - at h<10°, for morning hours (r=-0.884, n=91), 6 - at h≤10°, for evening hours (r=0.588, n=138)



Ryc. 19. Przebieg krzywych regresji opisujących związek pomiędzy wysokością Słońca (h) a promieniowaniem słonecznym pochłoniętym przez manekin (R_m): 1 - gdy h>4° oraz N=0-20% (r=0,896, n=432), 2 - gdy h>4° oraz N=21-50% (r=-0,925, n=671), 3 - gdy h>4° oraz N=51-80% (r=-0,806, n=991), 4 - gdy h>4° oraz N>80% lub N=20-80% przy braku promieniowania bezpośredniego (r=0,838, n=950), 5 - gdy h≤4°, niezależnie od wielkości zachmurzenia (r=0,457, n=73)

Courses of regression lines describing influence of Sun altitude (h) and solar radiation absorbed by a mannequin (R_m): 1 - at h>4° and N=0-20% (r=0.896, n=432), 2 - at h>4° and N=21-50% (r=-0.925, n=671), 3 - at h>4° and N=51-80% (r=-0.806, n=991), 4 - at h>4° and N>80% or N=20-80% with the lack of direct radiation (r=0.838, n=950), 5 - at h≤4°, independing on cloudiness (r=0.457, n=73)

http://rcin.org.pl

Tabela 4. Charakterystyki statystyczne równań regresji najlepiej aproksymujących zmierzone wartości R_m

Statistical characteristics of regression equations which approximate in the best way measured values of R_m

L.p.	Równanie regresji	Współczynnik korelacji	Nachylenie linii regresji	Średni błąd R_m: (W m^{-2})	(%)	Liczebność próby
	Gdy R_m liczono podstawie K_{dir} oraz $K_{dif}+K_{ref}$:					
1.	$\beta_{dif+ref} = 0{,}0013 + 0{,}033 \ln(h)$	0,937	0,834	-0,1	-0,2	531
2.	- dla $h \leq 5°$ $\beta_{dir} = e^{(-0{,}51 + 0{,}368\, h)}$	0,657	1,013	10,4	14,3	61
3.	- dla h > 5° $\beta_{dir} = 18{,}816/h - 0{,}235$	0,921	0,970	7,3	8,7	3478
	Gdy R_m liczono na podstawie K_{glob}					
4.	- dla $h \leq 10°$ w godzinach porannych $\beta_{glob} = 0{,}546 - 0{,}224 \ln(h)$	0,844	0,733	1,4	53,8	43
5.	- dla $h \leq 10°$ w godzinach wieczornych $\beta_{glob} = 0{,}163 + 0{,}187 \ln(h)$	0.872	1,065	-17,8	-60,4	187
6.	- dla $h > 10°$ oraz N=0-20% $\beta_{glob} = 2{,}764\, h^{-0{,}694}$	0,771	0,609	9,9	7,3	245
7.	- dla $h > 10°$ oraz N=21-90% $\beta_{glob} = 0{,}04 + 5{,}166/h$	0,876	0,697	4,7	4,1	1827
8.	- dla $h > 10°$ oraz N>90% $\beta_{glob} = 0{,}0013 + 0{,}033 \ln(h)$	0,951	1,020	-0,6	-1,7	739
9.	- dla $h > 10°$, N = 20-90% oraz braku promieniowania bezpośredniego $\beta_{glob} = e^{(-1{,}86 - 12{,}702/h)}$	0,937	0,834	-0,1	-0,2	531
	Gdy R_m liczono na podstawie wysokości Słońca					
10.	- dla $h \leq 4°$ $R_m = (1{,}388 + 0{,}215\, h)^2$	0,306	0,187	0,2	6,2	35
11.	- dla $h > 4°$ oraz N=0-20% $R_m = -100{,}428 + 73{,}981 \ln(h)$	0,940	1,174	10,6	8,6	440
12.	- dla $h > 4°$ oraz N=21-50% $R_m = e^{(5{,}383 - 16{,}072/h)}$	0,746	0,538	3,0	2,4	742
13.	- dla $h > 4°$ oraz N=51-80% $R_m = e^{(5{,}012 - 11{,}805/h)}$	0,441	0,349	-9,4	-8,9	1245
14.	- dla $h > 4°$ oraz N>80% lub N=20-80% i braku promieniowania bezpośredniego $R_m = 0{,}679\, h^{1{,}039}$	0,422	0,244	0,6	2,0	234

http://rcin.org.pl

4.1.4. Nowe modele cyfrowe pochłoniętego promieniowania słonecznego

Przedstawione wyżej wyniki analiz statystycznych pozwalają na zaproponowanie trzech nowych modeli cyfrowych pochłoniętego promieniowania słonecznego. Opierają się one na wynikach badań eksperymentalnych przeprowadzonych z manekinem, jako modelem geometrycznym ciała ludzkiego.

Model **SolDir**, może być stosowany wtedy, gdy dysponujemy danymi o natężeniu wszystkich strumieni promieniowania słonecznego. Promieniowanie słoneczne pochłonięte przez człowieka ubranego jest liczone według następujących wzorów:

- dla $h \leq 5°$

$$R = 1{,}4 \cdot \left[K_{dir} \cdot e^{(-0{,}51+0{,}368 \cdot h)} + \left(K_{dif} + K_{ref}\right) \cdot \left(0{,}0013 + 0{,}033 \cdot \ln h\right)\right] \cdot \left(1 - 0{,}01 \cdot a_c\right) \cdot Irc$$

- dla $h > 5°$

$$R = 1{,}4 \cdot \left[K_{dir} \cdot \left(\frac{18{,}816}{h} - 0{,}235\right) + \left(K_{dif} + K_{ref}\right) \cdot \left(0{,}0013 + 0{,}033 \cdot \ln h\right)\right] \cdot \left(1 - 0{,}1 \cdot a_c\right) \cdot Irc$$

Wtedy, gdy nie prowadzi się pomiarów promieniowania odbitego wartość K_{ref} można określić na podstawie następującej zależności:

$$K_{ref} = K_{glob} \cdot 0{,}01 \cdot a_g.$$

Model **SolGlob**, może być stosowany wówczas, gdy dysponujemy danymi jedynie o natężeniu całkowitego promieniowania słonecznego oraz wielkości zachmurzenia. Promieniowanie słoneczne pochłonięte przez człowieka ubranego jest liczone według następujących wzorów:

- dla $h \leq 10°$, w godzinach porannych

$$R = 1{,}4 \cdot K_{glob} \cdot \left(0{,}546 - 0{,}224 \cdot \ln h\right) \cdot \left(1 - 0{,}1 \cdot a_c\right) \cdot Irc$$

- dla $h \leq 10°$, w godzinach wieczornych

$$R = 1{,}4 \cdot K_{glob} \cdot \left(0{,}163 + 0{,}187 \cdot \ln h\right) \cdot \left(1 - 0{,}1 \cdot a_c\right) \cdot Irc$$

- dla $h > 10°$ oraz $N = 0\text{-}20\%$

$$R = 1{,}4 \cdot K_{glob} \cdot \left(2{,}764 \cdot h^{-0{,}694}\right) \cdot \left(1 - 0{,}1 \cdot a_c\right) \cdot Irc$$

http://rcin.org.pl

- dla $h > 10°$ oraz $N = 21\text{-}90\%$

$$R = 1{,}4 \cdot K_{glob} \cdot \left(0{,}04 + \frac{5{,}166}{h}\right) \cdot (1 - 0{,}1 \cdot a_c) \cdot Irc$$

- dla $h > 10°$ oraz $N > 90\%$

$$R = 1{,}4 \cdot K_{glob} \cdot (0{,}0013 + 0{,}033 \cdot \ln h) \cdot (1 - 0{,}1 \cdot a_c) \cdot Irc$$

- dla $h > 10°$, $N = 21\text{-}90\%$ przy braku bezpośredniego promieniowania słonecznego

$$R = 1{,}4 \cdot K_{glob} \cdot e^{\left(-1{,}86 - \frac{12{,}702}{h}\right)} \cdot (1 - 0{,}1 \cdot a_c) \cdot Irc$$

Model **SolAlt** może być stosowany wtedy, gdy dysponujemy tylko danymi o wielkości zachmurzenia ogólnego. Promieniowanie słoneczne pochłonięte przez człowieka ubranego jest liczone według następujących wzorów:

- dla $h \leq 4°$

$$R = 1{,}4 \cdot (1{,}388 + 0{,}215 \cdot h)^2 \cdot (1 - 0{,}1 \cdot a_c) \cdot Irc$$

- dla $h > 4°$ oraz $N = 0\text{-}20\%$

$$R = 1{,}4 \cdot (-100{,}428 + 73{,}981 \cdot \ln h) \cdot (1 - 0{,}1 \cdot a_c) \cdot Irc$$

- dla $h > 4°$ oraz $N = 21\text{-}50\%$

$$R = 1{,}4 \cdot e^{\left(5{,}383 - \frac{16{,}072}{h}\right)} \cdot (1 - 0{,}1 \cdot a_c) \cdot Irc$$

- dla $h > 4°$ oraz $N = 51\text{-}80\%$

$$R = 1{,}4 \cdot e^{\left(5{,}012 - \frac{11{,}805}{h}\right)} \cdot (1 - 0{,}1 \cdot a_c) \cdot Irc$$

- dla $h > 4°$ oraz $N > 80\%$ lub $N = 21\text{-}80\%$ i braku bezpośredniego promieniowania słonecznego

$$R = 1{,}4 \cdot 0{,}951 \cdot h^{1{,}039} \cdot (1 - 0{,}1 \cdot a_c) \cdot Irc$$

http://rcin.org.pl

4.2. Promieniowanie pochłonięte przez organizm człowieka

Poza badaniami pochłaniania promieniowania słonecznego przez manekin przeprowadzono także trzy serie pomiarów z udziałem ludzi: od 22 czerwca do 14 lipca 1996 r. i od 15 do 19 lipca 1997 r. na stacji obserwacyjnej IGiPZ PAN w Borowej Górze koło Warszawy oraz od 13 do 29 sierpnia 1997 r., na stacji naukowej IGiPZ PAN na Hali Gąsienicowej w Tatrach. W sposób synchroniczny mierzono: natężenie promieniowania słonecznego w pełnym i krótkofalowym zakresie widma, temperaturę i wilgotność powietrza oraz prędkość wiatru. Pomiary wykonywano w sposób ciągły za pomocą automatycznych rejestratorów danych DR-02 produkcji firmy Ellab. Wyniki pomiarów były rejestrowane z uśrednianiem dla przedziałów jednominutowych.

W czasie pierwszej serii pomiarów (w czerwcu i lipcu w rejonie Warszawy) panowała pogoda o zachmurzeniu zmiennym, od małego i umiarkowanego, do pełnego pokrycia nieba przez chmury. Temperatura powietrza wahała się od około 11-18°C w godzinach porannych do 25-30°C w ciągu dnia, prędkość wiatru nie przekraczała 3 $m \cdot s^{-1}$. Podczas drugiej serii pomiarów (w lipcu koło Warszawy) panowała natomiast pogoda o zachmurzeniu małym i umiarkowanym, z temperaturą 18-25°C i wiatrem o prędkościach < 2 $m \cdot s^{-1}$. Trzecia seria pomiarowa (w sierpniu w Tatrach) charakteryzowała się natomiast pogodą o zachmurzeniu zmiennym: od małego rano i wieczorem do dużego w ciągu dnia. Temperatura powietrza wynosiła 10-18°C, z przygruntowymi, porannymi przymrozkami. Prędkość wiatru była mała i tylko sporadycznie przekraczała 4 $m \cdot s^{-1}$.

4.2.1. Metoda i zakres pomiarów termofizjologicznych

W roku 1996 pomiary fizjometeorologiczczne prowadzono - równolegle z pomiarami gęstości strumienia ciepła na manekinie - w wybranych, 3-4 godzinnych okresach. Mierzono - strumieniomierzami elastycznymi - gęstość strumienia suchej wymiany ciepła w 7 punktach na powierzchni ciała obserwatorów: czole, dłoni, lewym ramieniu, klatce piersiowej, plecach oraz z boku lewego uda i lewej łydki (por. ryc. 14). Kontrolowano także (w tych samych punktach) temperaturę skóry. Rejestrowano wartości średnie jednominutowe charakterystyk termicznych i cieplnych. Obserwatorzy stali w pozycji swobodnej i byli zwróceni twarzą w kierunku tarczy słonecznej. Ubrani byli w odzież bawełnianą o izolacyjności termicznej 1 clo (podczas niektórych serii pomiarowych 0,6 clo) oraz albedo 30%. Stosowano następujący cykl pomiarów fizjometeorologicznych:

- 20 minut - okres aklimatyzacyjny,
- 45-60 minut - pierwsza seria pomiarów strumienia ciepła i temperatury skóry w pozycji stojącej,
- 10 minut - odpoczynek w pozycji siedzącej,

http://rcin.org.pl

- 45-60 minut - druga seria pomiarów strumienia ciepła i temperatury skóry w pozycji stojącej.

Jednocześnie, podczas ekspozycji, obserwatorzy oceniali swoje odczucia cieplne. Dane morfometryczne obserwatorów zawiera tabela 5.

Tabela 5. Dane morfometryczne obserwatorów, biorących udział w badaniach w lipcu 1996 roku
Morphometric characteristics of subjects investigated in July 1996

Obserwator	Płeć (m - mężczyzna, k - kobieta)	Wiek (lata)	Wzrost (cm)	Ciężar (kg)	Metabolizm podstawowy [5] ($W \cdot m^{-2}$)
AB	k	18	165	55	35,6
BA	k	29	164	56	36,1
WB	m	16	173	55	39,6
MB	m	21	176	71	35,4
JB	m	26	173	90	51,8
KB	m	46	172	73	42,2

W lipcu 1997 roku celem terenowych badań fizjometeorologicznych było określenie wpływu odzieży o różnej barwie na ilość pochłoniętego promieniowania słonecznego oraz na temperaturę ciała człowieka. Zakres pomiarów meteorologicznych był identyczny jak w roku poprzednim. Spośród parametrów fizjologicznych mierzono, tak jak w roku 1996, gęstość strumienia suchej wymiany ciepła i temperaturę skóry w 7 miejscach na powierzchni ciała (por. ryc. 14, fot. 3, 4), a ponadto: temperaturę na powierzchni stopy oraz temperaturę wewnątrz kanału słuchowego (odzwierciedlającą temperaturę wewnętrzną człowieka). Rejestrowano wartości średnie jednominutowe charakterystyk termicznych i cieplnych. Dane morfometryczne obserwatorów zawiera tabela 6.

Obserwatorzy stali w pozycji swobodnej i byli zwróceni twarzą w kierunku tarczy słonecznej. Ubrani byli w odzież bawełnianą o izolacyjności termicznej 0,5 clo o barwie białej (albedo 90%) i czarnej (albedo 5%). Każdy obserwator podczas wszystkich serii pomiarowych używał odzieży białej i czarnej, zmieniając ją w czasie ekspozycji (fot. 5). Cykl pomiarowy miał następujący przebieg:
- 20 minut - okres aklimatyzacyjny,
- 60 minut - pierwsza seria pomiarów stojąc,
- 10 minut - odpoczynek w pozycji siedzącej i zmiana odzieży,
- 60 minut - druga seria pomiarów stojąc.

[5] Podstawową, metaboliczną produkcję ciepłą wyznaczono indywidualnie dla każdego z obserwatorów za pomocą standardowego zestawu strumieniomierzy. Strumień ciepła mierzono dwukrotnie podczas badań, w pokoju o temperaturze około 22°C (warunki termoneutralne), przy braku ruchu powietrza, bezpośrednio po śnie, w pozycji leżącej.

http://rcin.org.pl

Tabela 6. Dane morfometryczne obserwatorów, biorących udział w badaniach w lipcu 1997 roku
Morphometric characteristics of subjects investigated in July 1997

Obserwator	Płeć (m - mężczyzna, k - kobieta)	Wiek (lata)	Wzrost (cm)	Ciężar (kg)	Metabolizm podstawowy ($W \cdot m^{-2}$)
AB	k	19	165	55	43,8
BA	k	30	164	56	45,2
KM	k	19	165	60	48,8
WB	m	17	176	55	41,6

Pomiary przeprowadzone w sierpniu 1997 roku poświęcone były ocenie wpływu warunków meteorologicznych i solarnych, panujących w wysokich górach na bilans radiacyjny człowieka oraz na pracę układu termoregulacyjnego i krwionośnego. Zakres i technika wykonywania pomiarów meteorologicznych były analogiczne jak w seriach wcześniejszych (w Borowej Górze koło Warszawy). Spośród parametrów fizjologicznych mierzono natomiast, tak jak w lipcu 1996 roku, gęstość strumienia suchej wymiany ciepła i temperaturę skóry w 7 miejscach na powierzchni ciała, a ponadto częstość tętna i ciśnienie krwi. Rejestrowano wartości średnie jednominutowe charakterystyk termicznych i cieplnych. Wskaźniki pracy układu krwionośnego mierzono natomiast co 10-15 minut. Dane morfometryczne obserwatorów zawiera tabela 7.

Tabela 7. Dane morfometryczne obserwatorów, biorących udział w badaniach w sierpniu 1997 roku
Morphometric characteristics of subjects investigated in August 1997

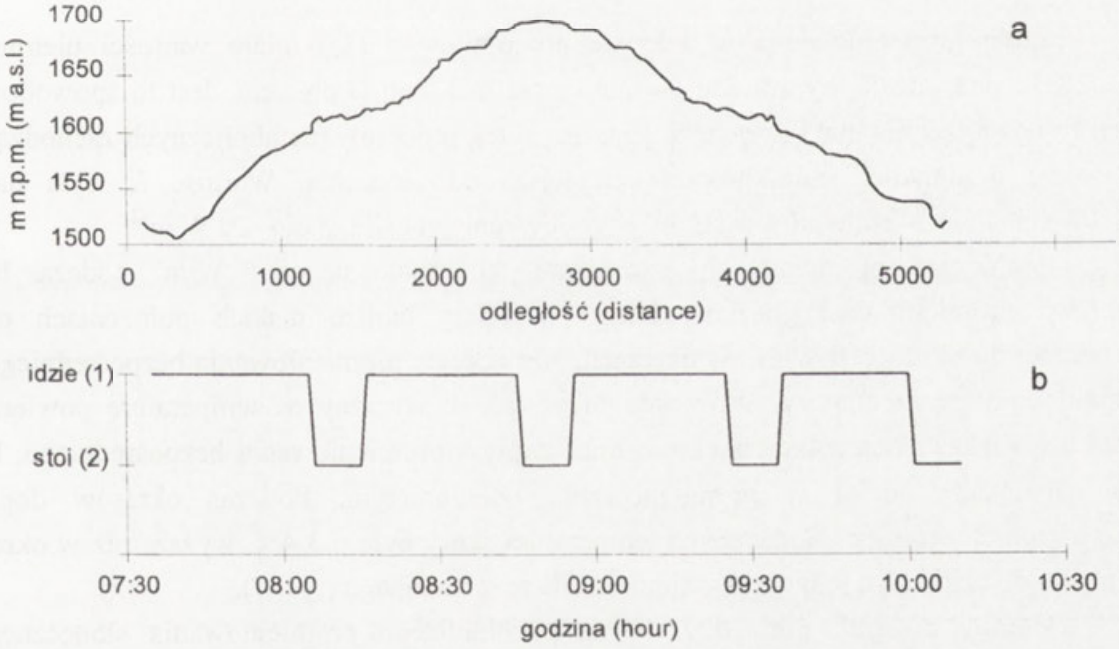
Obserwator	Płeć (m - mężczyzna, k - kobieta)	Wiek (lata)	Wzrost (cm)	Ciężar (kg)	Metabolizm podstawowy ($W \cdot m^{-2}$)
AB	k	19	165	55	43,8
BA	k	30	164	56	45,2
ZM	k	39	158	53	41,4
AM	k	22	151	46	39,1
WB	m	17	176	55	41,6
MB	m	22	175	72	48,6
JB	m	27	173	82	51,8

Schemat prowadzenia pomiarów fizjometeorologicznych obejmował zarówno obserwacje wykonywane na osobach stojących, jak i na osobach maszerujących po wytyczonej (i zawsze tej samej) trasie długości około 5200 m - od stacji meteorologicznej na Hali Gąsienicowej do Czerwonych Stawków i z powrotem (fot. 6). W pierwszej połowie trasy obserwatorzy pokonywali niewielką różnicę wzniesień (równą 180 m na długości 2600 m),

http://rcin.org.pl

w drugiej natomiast schodzili w dół. Jednocześnie prowadzono pomiary u obserwatora stojącego w pobliżu stacji meteorologicznej na Hali Gąsienicowej. W czasie całej ekspozycji, która trwała około 2,5 godziny, stosowano następujący cykl pomiarowy (ryc. 20):

- 15 minut - aklimatyzacja,
- 30 minut - marsz (obserwator na Hali Gąsienicowej stoi),
- 10 minut - odpoczynek stojąc (obserwator na Hali Gąsienicowej siedząc),
- 30 minut - marsz (obserwator na Hali Gąsienicowej stoi),
- 10 minut - odpoczynek stojąc (obserwator na Hali Gąsienicowej siedząc),
- 30 minut - marsz (obserwator na Hali Gąsienicowej stoi),
- 10 minut - odpoczynek stojąc (obserwator na Hali Gąsienicowej siedząc),
- 30 minut - marsz (obserwator na Hali Gąsienicowej stoi),
- 10 minut - odpoczynek stojąc (obserwator na Hali Gąsienicowej siedząc).



Ryc. 20. Profil hipsometryczny trasy marszu obserwatorów (a) oraz schemat przebiegu pomiarów fizjometeorologicznych (b), sierpień 1997 r., Tatry, Hala Gąsienicowa
Hipsometric profile of a walking path of subjects (a) and the scheme of physiometeorological measurements (b), August 1997, Tatry Mts. (1 - walking period, 2 - standing period)

Pomiary strumienia suchej wymiany ciepła oraz temperatury skóry posłużyły do wyznaczenia ilości pochłoniętego promieniowania słonecznego. Na suchą wymianę ciepła na powierzchni ciała człowieka (S_c), składają się:

$$S_c = R + L_c + C + M$$

http://rcin.org.pl

Na całość metabolicznego strumienia ciepła składały się: podstawowa produkcja ciepła oraz ciepło wytwarzane przez organizm (25 $W \cdot m^{-2}$ w przypadku pozycji stojącej, 110 $W \cdot m^{-2}$ w przypadku marszu).

W celu określenia ilości ciepła unoszonego z powierzchni manekina wykonywano kontrolne pomiary suchej wymiany ciepła za pomocą dwóch strumieniomierzy, osłoniętych kopułkami lupolenowymi, umieszczonymi na klatce piersiowej i plecach manekina. Saldo promieniowania długofalowego liczono natomiast według zmodyfikowanych wzorów modelu wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem - MENEX (Błażejczyk 1993, 1994):

$$L_c = [(0{,}056 \cdot Ta + 4{,}48) \cdot (Ta - Tsk) + Lm] \cdot Irc$$

4.2.2. Wpływ promieniowania słonecznego na układ termoregulacyjny człowieka

Saldo promieniowania w zakresie długofalowym (L_c) miało wartości ujemne, to znaczy, że przeważało wypromieniowanie ciepła nad jego dopływem. Jest to spowodowane tym, że powierzchnia ciała człowieka jest, na skutek procesów metabolicznych zachodzących wewnątrz organizmu, stale znacznie cieplejsza od otoczenia. Wartość L_c była bardzo wyrównana i niezależnie od warunków pogodowych wynosiła około -20 $W \cdot m^{-2}$.

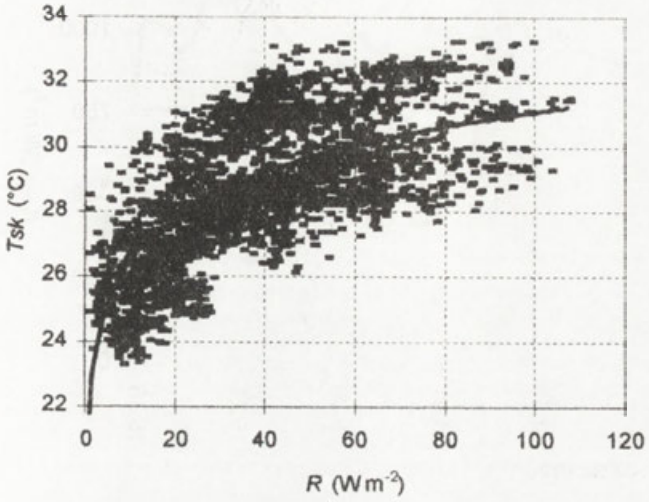
Pochłonięte promieniowanie słoneczne (R) wahało się od 5 $W \cdot m^{-2}$ podczas braku dopływu promieniowania bezpośredniego lub przy bardzo niskich położeniach tarczy słonecznej do około 110 $W \cdot m^{-2}$ w okresach, gdy dopływ promieniowania bezpośredniego był niezakłócony przez chmury. Wpływało to w sposób wyraźny na temperaturę powierzchni ciała człowieka. Szczególne znaczenie miał dopływ promieniowania bezpośredniego, które ma największy udział w promieniowaniu pochłoniętym. Podczas okresów dopływu bezpośrednich promieni słonecznych temperatura skóry była o 3-4°C wyższa niż w okresach dopływu do człowieka jedynie promieniowania rozproszonego (ryc. 7).

Ogólny związek pomiędzy ilością pochłoniętego promieniowania słonecznego a temperaturą skóry ilustruje rycina 21. Współczynnik korelacji pomiędzy badanymi wielkościami wynosi 0,704, a równanie regresji ma postać:

$$Tsk = 24{,}11 + 0{,}78\sqrt{R}$$

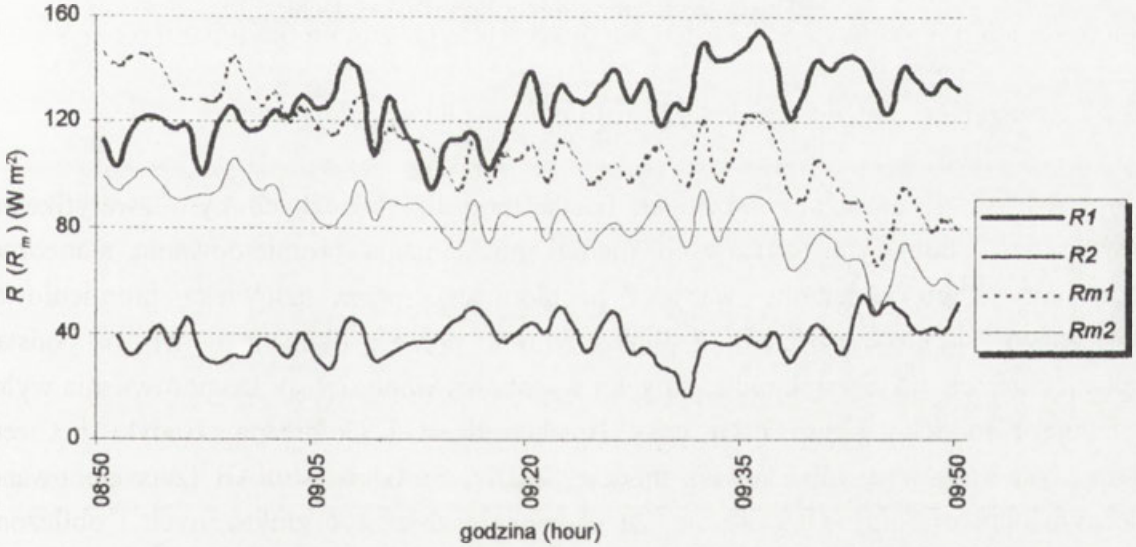
Jak już wspomniano w rozdziale 2.2.1. na ilość pochłoniętego promieniowania słonecznego wpływa barwa odzieży. Badania terenowe przeprowadzone w lipcu 1997 roku dotyczyły tego właśnie zagadnienia i były kontynuacją podobnych badań prowadzonych przez autora w komorze klimatycznej z użyciem elipsoidy jako modelu człowieka. Pod odzieżą czarną temperatura ciała była o 3-4°C wyższa niż pod odzieżą białą (ryc. 9). Wiąże się to z większym pochłanianiem promieniowania słonecznego przez tkaninę czarną, o małym albedo, niż przez tkaninę białą. Powodowało to, że ilość ciepła dopływająca z tego źródła do powierzchni skóry była znacząco większa przy ubraniu czarnym niż białym (ryc. 22).

http://rcin.org.pl



Ryc. 21. Związek pomiędzy zmierzonym, pochłoniętym promieniowaniem słonecznym (*R*) a temperaturą skóry obserwatorów (*Tsk*); r=0,704, n=2847, poziom prawdopodobieństwa p=0,01

Relationships between measured values of absorbed solar radiation (*R*) and skin temperature in subjects (*Tsk*); r=0.704, n=2847, probability level p=0.01

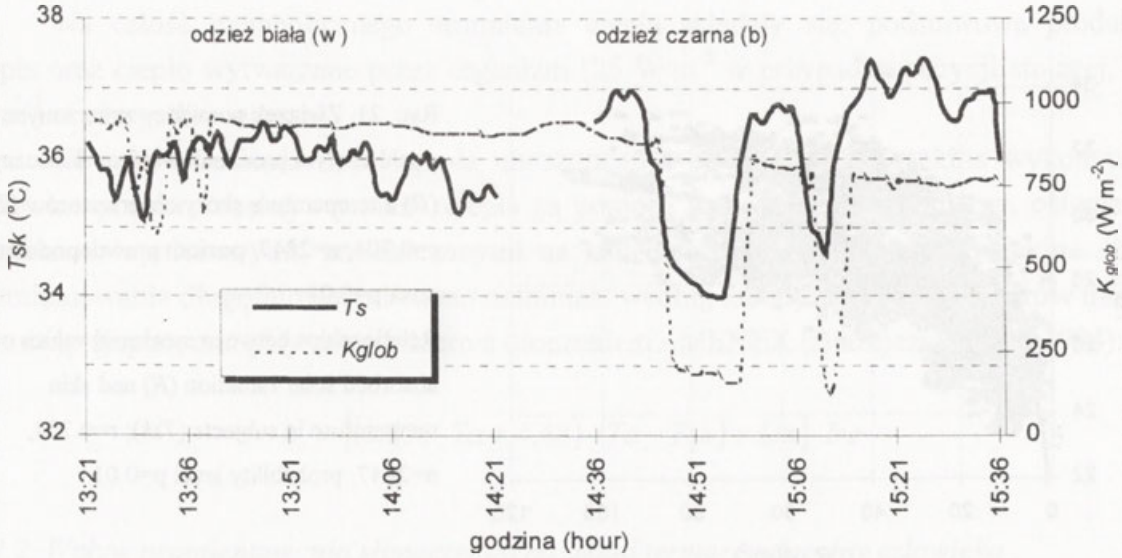


Ryc. 22. Promieniowanie słoneczne pochłonięte przez człowieka oraz manekin pod odzieżą czarną (*R1*, R_m1) i białą (*R2*, R_m2), 16 lipca 1997, Borowa Góra

Solar radiation absorbed by man and by mannequin under black (*R1*, R_m1) and white (*R2*, R_m2) clothing, 16 July 1997, Borowa Góra

W przypadku noszenia odzieży czarnej wystąpiło jeszcze jedno, ciekawe zjawisko. Podczas słonecznych dni, w okresach, gdy chmury przesłaniały na krótki czas tarczę słoneczną, następował gwałtowny i duży spadek temperatury skóry o 2-3°C. Zjawisko to nie zaznaczało się tak wyraźnie w przypadku używania odzieży białej (ryc. 23).

http://rcin.org.pl



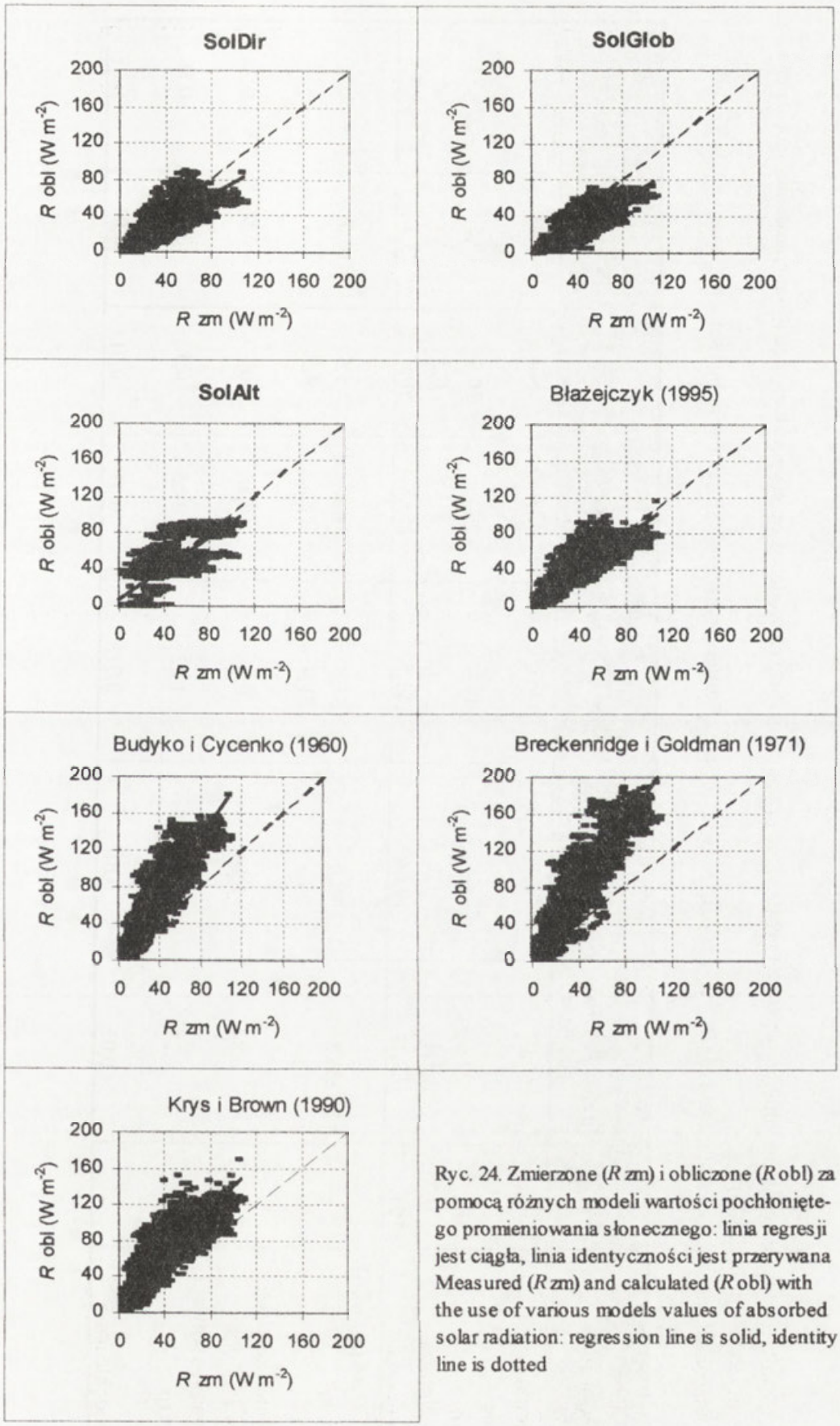
Ryc. 23. Wpływ okresowych przerw w dopływie bezpośredniego promieniowania słonecznego na temperaturę skóry pod odzieżą białą i czarną, 16 lipca 1997, Borowa Góra
Influence of periodical brakes in income of direct solar radiation on skin temperature under white (w) and black (b)clothing, 16 July 1997, Borowa Góra

4.2.3. Porównanie wyników badań termofizjologicznych i modelowych

Jednym z celów prowadzonych badań termofizjologicznych było zweryfikowanie poprawności istniejących, cyfrowych modeli pochłaniania promieniowania słonecznego. Porównano zatem zmierzone wartości pochłoniętego przez człowieka promieniowania słonecznego (R_{zm}) z wartościami R obliczonymi za pomocą różnych modeli, na podstawie odpowiednich charakterystyk radiacyjnych i wysokości Słońca (R_{obl}). Do porównania wybrano następujące modele: Krysa i Browna, Breckenridge'a i Goldmana, Budyki i Cicenko, Błażejczyka (porównaj tab. 3) oraz modele **SolDir**, **SolGlob** i **SolAlt** (zaproponowane w obecnym opracowaniu). Okazało się, że największa zbieżność zmierzonych i obliczonych wartości R występuje w przypadku pełnej wersji modelu Błażejczyka (opracowanej dla elipsoidy jako modelu człowieka) oraz modelu **SolDir** (tab. 8, ryc. 24). Średnie różnice obliczonych i zmierzonych wartości pochłoniętego promieniowania słonecznego wynosiły odpowiednio: +4,6 W·m^{-2} (+12,5%) i -5,5 W·m^{-2} (-14,5%).

Wartości R obliczone przy pomocy modeli Krysa i Browna, Budyki i Cicenko oraz Breckenridge'a i Goldmana są wyższe od wartości zmierzonych (zwłaszcza gdy R_{zm} przekracza 40 W·m^{-2}). Natomiast zarówno wartości R_{obl}, uzyskane z modelu Błażejczyka, jak i uzyskane z modelu **SolDir** są bardzo zbliżone do R_{zm}. Również wartości R obliczone za pomocą modelu **SolAlt** wykazują dużą zbieżność ze zmierzonymi wartościami R.

http://rcin.org.pl



Ryc. 24. Zmierzone (*R* zm) i obliczone (*R* obl) za pomocą różnych modeli wartości pochłoniętego promieniowania słonecznego: linia regresji jest ciągła, linia identyczności jest przerywana
Measured (*R* zm) and calculated (*R* obl) with the use of various models values of absorbed solar radiation: regression line is solid, identity line is dotted

http://rcin.org.pl

Tabela 8. Charakterystyki statystyczne zmierzonych (R_{zm}) i obliczonych za pomocą różnych modeli wartości pochłoniętego promieniowania słonecznego (liczebność próby 2848)

Statistical characteristics of measured (R_{zm}) and calculated (with the use of different models) values of absorbed solar radiation (n=2848)

Charakterystyka statystyczna	R_{zm}	Modele: Krysa i Browna (1990)	Breckenridge'a i Goldmana (1971)	Budyki i Cicenko (1960)	Błażejczyka (1995)	**SolDir**	**SolGlob**	**SolAlt**
wartość średnia	38,1	65,0	76,1	69,3	42,9	32,6	28,2	39,2
odchylenie standardowe	22,7	32,6	46,1	39,9	23,0	20,9	19,5	26,7
wartość najniższa	0,0	1,4	1,1	1,1	0,7	0,5	0,5	0,6
wartość najwyższa	107,4	169,1	195,6	181,5	115,8	90,0	73,3	94,2
średnia różnica (R_{zm}-R_{obl}):								
w W m^{-2}	-	26,8	38,0	31,2	4,6	-5,5	-10,0	1,0
w %	-	70,4	99,5	81,9	12,5	-14,5	-22,1	2,8
współczynnik korelacji pomiędzy R_{zm} i R_{obl}	-	0,84	0,89	0,88	0,85	0,79	0,86	0,73
współczynnik nachylenia linii regresji	-	1,21	1,80	1,52	0,86	0,72	0,74	0,86
poziom prawdopodobieństwa	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

http://rcin.org.pl

Ponieważ odzież używana przez obserwatorów zakłócała pochłanianie promieniowania słonecznego dlatego też porównano - wykorzystując niezależne serie danych pomiarowych - również wartości R_m, tzn. ilość promieniowania pochłoniętego przez nieubrany manekin, z wartościami R', tzn. promieniowaniem pochłoniętym przez człowieka nieubranego obliczonym za pomocą wymienionych wyżej modeli (tab. 9).

Okazało się, że największą zbieżność obliczonych wartości R' ze zmierzonymi wartościami R_m dają modele: **SolDir**, **SolGlob** i **SolAlt**. Nieco słabsze związki statystyczne wystąpiły w przypadku modelu Błażejczyka. Natomiast wartości R' wyznaczone za pomocą modeli Krysa i Browna, Breckenridge'a i Goldmana oraz Budyki i Cicenko, są znacznie wyższe od zmierzonych na manekinie wartości R_m.

Tak więc, porównując zmierzone wartości promieniowania pochłoniętego przez nieubrany manekin i ubranego człowieka z odpowiednimi wartościami obliczonymi przy użyciu różnych modeli można stwierdzić, że modelami najlepiej przybliżającymi wartości zmierzone są modele **SolDir** i **SolGlob**. Także model **SolAlt** daje zadowalające wyniki i można go stosować wtedy, gdy nie dysponujemy danymi dotyczącymi natężenia promieniowania słonecznego.

4.3. Promieniowanie słoneczne a odczucia cieplne człowieka

Podczas terenowych pomiarów termofizjologicznych przeprowadzono także badania ankietowe dotyczące odczuć cieplnych człowieka. W tym celu obserwatorzy eksponowani na działanie promieniowania słonecznego określali, w odstępach co 4 minuty, swoje odczucia cieplne. Stosowano skalę siedmiostopniową:

-3 - bardzo zimno,
-2 - zimno,
-1 - chłodno,
0 - komfortowo,
+1 - ciepło,
+2 - gorąco,
+3 - bardzo gorąco.

Na odczucia cieplne człowieka oddziałuje wiele czynników atmosferycznych. Do najważniejszych należą: temperatura powietrza i promieniowanie słoneczne. Jest to związane z reagowaniem receptorów ciepła i zimna, znajdujących się w skórze, na bodźce termiczne docierające z otoczenia. Około 55% zmian temperatury skóry można wyjaśnić bezpośrednim wpływem tych elementów meteorologicznych. W mniejszym stopniu na temperaturę skóry wpływa prędkość wiatru, co wiąże się z używaniem odzieży, która chroni powierzchnię ciała przed działaniem tego mechanicznego elementu pogody (Błażejczyk 1988,1993). Nie do końca poznane jest działanie pary wodnej zawartej w powietrzu na receptory ciepła i zimna i na odczucia cieplne człowieka. Wyrywkowe badania prowadzone w tym zakresie wskazują na pogłębianie się uczucia chłodu przy niskiej temperaturze otoczenia i dużej jego wilgotności

http://rcin.org.pl

Tabela 9. Charakterystyki statystyczne zmierzonych na nieubranym manekinie (R_m) i obliczonych za pomocą różnych modeli wartości promieniowania słonecznego pochłoniętego przez człowieka nieubranego (liczebność próby 1518)

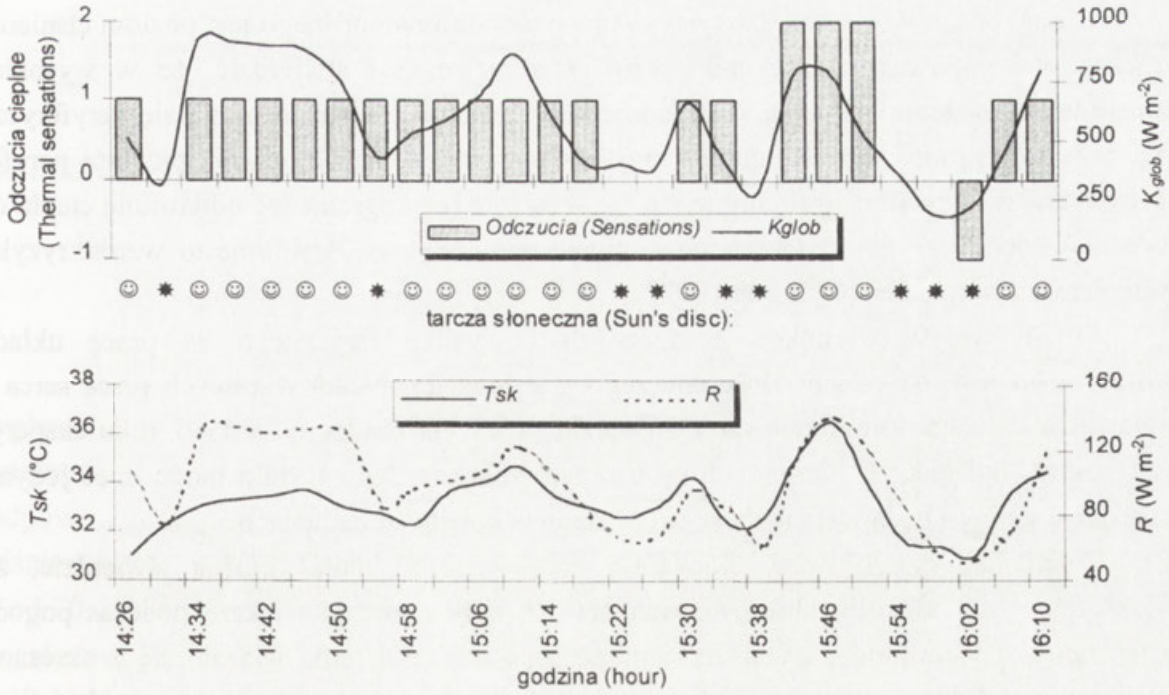
Statistical characteristics of absorbed solar radiation measured on unclothing mannequin (R_m) and calculated (with the use of different models) values of solar radiation absorbed by nude man (n=1518)

Charakterystyka statystyczna	R_{zm}	Modele: Krysa i Browna (1990)	Breckenridge'a i Goldmana (1971)	Budyki i Cicenko (1960)	Błażejczyka (1995)	**SolDir**	**SolGlob**	**SolAlt**
wartość średnia	91,0	173,4	201,4	183,6	113,8	86,1	73,4	101,0
odchylenie standardowe	55,5	75,7	109,5	92,7	52,6	49,4	44,1	59,1
wartość najniższa	0,0	4,6	3,8	3,7	2,3	1,5	1,6	2,2
wartość najwyższa	214,8	353,6	457,8	390,2	241,1	196,5	157,6	201,0
średnia różnica (R_{zm}-R_{obl}):								
w W m^{-2}	-	82,4	110,4	92,6	22,8	-4,9	-17,6	10,0
w %	-	90,5	101,8	221,3	25,1	-5,4	-19,3	11,0
współczynnik korelacji pomiędzy R_{zm} i R_{obl}	-	0,76	0,80	0,87	0,89	0,89	0,93	0,67
współczynnik nachylenia linii regresji	-	1,04	1,57	1,45	0,84	0,80	0,74	0,71
poziom prawdopodobieństwa	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

http://rcin.org.pl

oraz na stosunkowo dobrą tolerancję na wysoką temperaturę powietrza przy małym jego uwilgotnieniu.

Podczas pogody o zmiennym zachmurzeniu, gdy tarcza słoneczna jest okresowo przesłaniana przez chmury, natężenie bodźców termicznych często zmienia swe nasilenie i kierunek działania. Układ termoregulacyjny musi w takiej sytuacji działać bardzo intensywnie, dostosowując temperaturę skóry do aktualnie panujących warunków. Zmieniają się także wówczas subiektywne odczucia cieplne człowieka. W okresach dopływu bezpośredniego promieniowania słonecznego odczucia cieplne obserwatorów były o 1-2 klasy wyższe niż wtedy, gdy tarcza słoneczna była przesłonięta przez chmury (ryc. 25). Nieco intensywniej reagował organizm obserwatorów na pojawienie się promieniowania bezpośredniego niż na jego zanik. Już po czterech minutach intensywnej insolacji odczucia cieplne zmieniały się o 1, a nawet 2 klasy w górę skali (np. z „neutralnie" na „ciepło" lub „gorąco"), przy jednoczesnym wzroście temperatury skóry. Natomiast na brak dopływu promieniowania bezpośredniego, spowodowany zajściem tarczy słonecznej za chmury, organizm reagował dopiero po 6-8 minutach, zarówno poprzez obniżenie temperatury powierzchni ciała jak i zmianę odczuć cieplnych w dół skali.



Ryc. 25. Wpływ stanu tarczy słonecznej na dopływ promieniowania słonecznego (K_{glob}), jego ilość pochłoniętą przez człowieka (*R*), temperaturę skóry (*Tsk*) oraz odczucia cieplne człowieka, 3 lipca 1996, Borowa Góra; -1 - chłodno, 0 - komfortowo, 1 - ciepło, 2 - gorąco; ☺ - tarcza słoneczna odkryta, ● - tarcza słoneczna zasłonięta przez chmury

Influence of the state of Sun's disc on the income of global solar radiation (K_{glob}), its amount absorbed by man (*R*) as well as on skin temperature (Tsk) and thermal sensations in subjects, 3 July 1996, Borowa Góra; -1 - cool, 0 - neutral, 1 - warm, 2 - hot, ☺ - Sun's disc uncovered, ● - Sun's disc covered by clouds

http://rcin.org.pl

4.4. Promieniowanie słoneczne a obciążenie układu krwionośnego

Elementem badań terenowych prowadzonych w sierpniu 1997 roku była kontrola obciążenia układu krwionośnego człowieka podczas wystawy na działanie promieniowania słonecznego. Badania obejmowały dni słoneczne i pochmurne oraz dotyczyły osób stojących i idących.

Wyniki badań fizjologicznych dostarczają nam informacji na temat ogólnych oddziaływań warunków termicznych i aktywności człowieka na pracę układu krwionośnego (Smolander 1987, Sylwanowicz i in. 1989). Można stwierdzić, że wraz ze wzrostem temperatury powietrza i poziomu aktywności fizycznej zwiększa się częstotliwość skurczów serca (tętna). F.H. Fuller i L. Brouha (1966) zaproponowali, wykorzystując wyniki licznych badań w tym zakresie, następujący wzór empiryczny na obliczanie częstotliwości tętna:

$$HR = 22{,}4 + 0{,}18 \cdot M + 0{,}25 \cdot (5 \cdot Ta + 2{,}66 \cdot e_a)$$

Wzór ten może być wykorzystywany jako prosty wskaźnik biometeorologiczny obciążenia serca i układu krwionośnego (Kozłowska-Szczęsna i in. 1997).

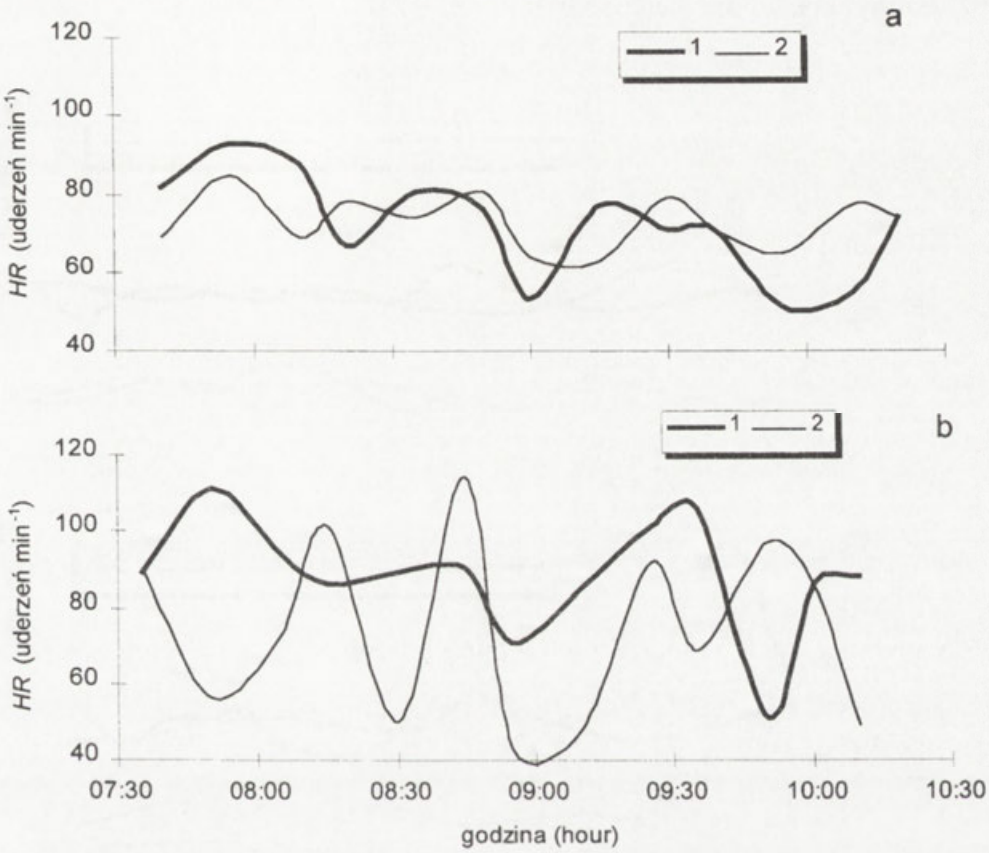
Drugą, podstawową charakterystyką pracy układu krwionośnego jest poziom ciśnienia tętniczego (skurczowego i rozkurczowego). Ogólnie można stwierdzić, że w wysokiej temperaturze otoczenia ciśnienie krwi zmniejsza się, na skutek rozszerzania się peryferycznych naczyń krwionośnych. Natomiast przy niskiej temperaturze otoczenia przekrój peryferycznych naczyń krwionośnych zmniejsza się wyraźnie (aby ograniczyć oddawanie ciepła do otoczenia) i jednocześnie zwiększa się ciśnienie tętnicze krwi. Powoduje to wzrost ryzyka wystąpienia zawału serca (Gyllerup 1997).

O ile wpływ warunków termicznych i wysiłku fizycznego na pracę układu krwionośnego jest rozpoznany dość dobrze, o tyle brak jest badań wiążących pracę serca z wystawą na działanie promieniowania słonecznego. Przeprowadzony w 1997 roku eksperyment polowy był jedną z pierwszych prób w tym zakresie. Jego wyniki mogą mieć jedynie charakter wstępny i będą wymagały potwierdzenia w kolejnych badaniach.

Analizując częstotliwość skurczów serca (częstość tętna) można stwierdzić, że zwłaszcza u osób idących, okresowe wahania *HR* były znacznie większe podczas pogody słonecznej niż pochmurnej. Cykliczne zmniejszenie częstości tętna wiązało się z okresami odpoczynku podczas eksperymentu. Amplituda *HR* u osoby idącej podczas pogody słonecznej (przy dopływie bezpośredniego promieniowania słonecznego) wynosiła 70 uderzeń serca na minutę. W czasie pogody pochmurnej amplituda ta była znacznie niższa (45 uderzeń na minutę). Zakres częstości tętna u osób stojących był znacznie mniejszy niż u maszerujących i wynosił zarówno przy pogodzie słonecznej jak i bezchmurnej około 50-90 uderzeń serca na minutę (ryc. 26). Można zatem stwierdzić, że intensywny dopływ promieniowania słonecz-

http://rcin.org.pl

nego (zwłaszcza bezpośredniego) znacznie silniej oddziaływał na częstotliwość skurczów serca u osób idących niż stojących.



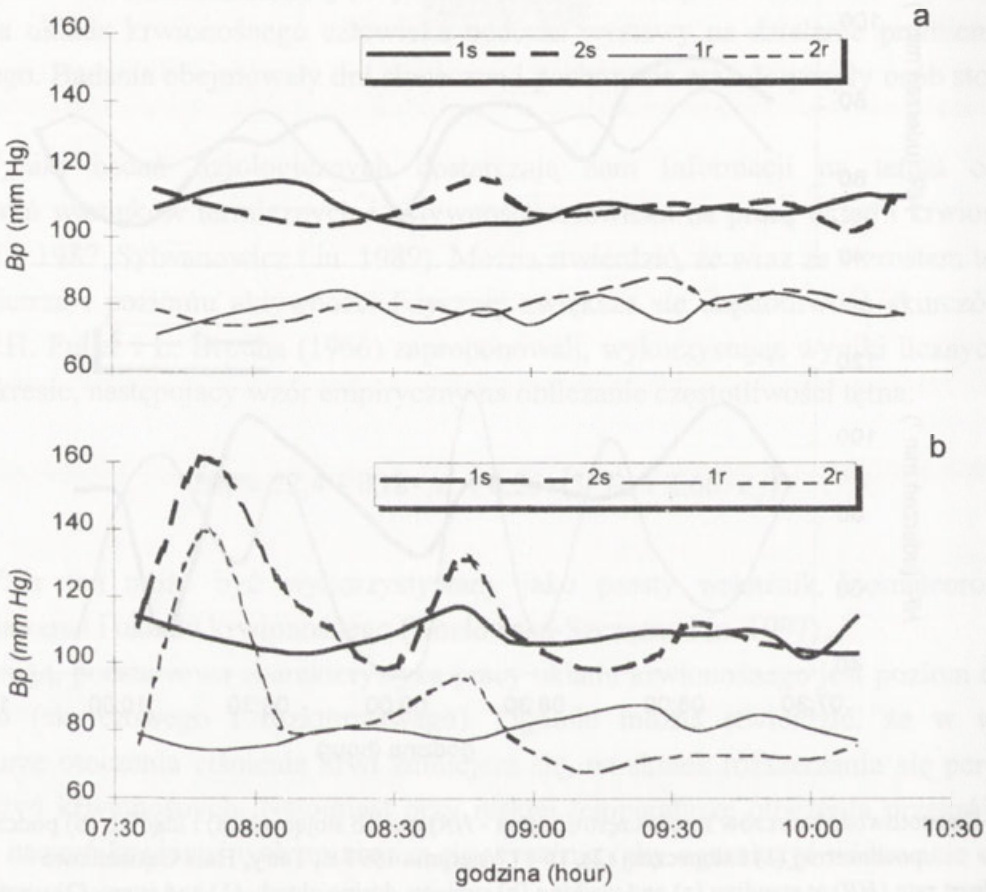
Ryc. 26. Częstotliwość skurczów serca (częstość tętna - *HR*) u osób stojących (a) i idących (b) podczas pogody pochmurnej (1) i słonecznej (2), 16 i 17 sierpnia 1997 r., Tatry, Hala Gąsienicowa
Heart rate (*HR*) at standing (a) and walking (b) subjects during cloudy (1) and sunny (2) weather, 16 and 17 August 1997, Tatry Mts., Hala Gąsienicowa

Duży dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego w sposób wyraźny wpływał także na ciśnienie krwi (*Bp*) osób idących. U osób stojących nie obserwowano istotnych różnic zarówno ciśnienia skurczowego jak i rozkurczowego. Wynosiło ono odpowiednio: 100-120 i 70-85 mm Hg. U osób maszerujących podczas pogody słonecznej ciśnienie skurczowe zmieniało się w zakresie od 100 do 160 mm Hg, a ciśnienie rozkurczowe - od 70 do 140 mm Hg. [6] W czasie pogody pochmurnej ciśnienie krwi osób idących nie podlegało wahaniom i było zbliżone do ciśnienia obserwowanego u osób stojących, tzn. około 110-115/75-85 mm Hg (ryc. 27).

[6] Najwyższe wartości *Bp* (160/140 mmHg)obserwowano przy tym na początku ekspozycji, podczas pierwszej fazy wysiłku fizycznego. W każdej następnej fazie marszu wartość *Bp* zmniejszała się osiągając w czwartej z nich wartość około 110/70 mm Hg, a więc nie odbiegającą od ciśnienia tętniczego krwi osoby stojącej.

http://rcin.org.pl

Ogólnie można więc stwierdzić, że intensywny dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego powoduje zwiększone obciążenie układu krwionośnego, zwłaszcza u osób o podwyższonym poziomie metabolizmu.



Ryc. 27. Zmiany ciśnienia krwi (*Bp*) u osób stojących (a) i idących (b) podczas różnych warunków solarnych, 16 i 17 sierpnia 1997 r., Tatry, Hala Gąsienicowa:
1s - ciśnienie skurczowe, pogoda pochmurna, 1r - ciśnienie rozkurczowe , pogoda pochmurna,
2s - ciśnienie skurczowe, pogoda słoneczna, 2r - ciśnienie rozkurczowe, pogoda słoneczna
Changes of blood pressure (*Bp*) at standing (a) and walking (b) subjects during different solar conditions, 16 and 17 August 1997, Tatry Mts., Hala Gąsienicowa:
1s - systolic pressure, cloudy weather, 1r - diastolic pressure, cloudy weather,
2s - systolic pressure, sunny weather, 2r - diastolic pressure, sunny weather

http://rcin.org.pl

5. Wpływ czynników geograficznych na ilość pochłoniętego promieniowania słonecznego

Niewiele jest szczegółowych badań natężenia promieniowania słonecznego pochłoniętego przez człowieka prowadzonych w różnych warunkach geograficznych. Dlatego analizując to zagadnienie należy się oprzeć na wynikach badań prowadzonych w odniesieniu do ogólnego bilansu radiacyjnego powierzchni czynnej. Jak wykazano bowiem w poprzednich rozdziałach ilość pochłoniętego promieniowania słonecznego jest proporcjonalna do ilości promieniowania docierającego do powierzchni ziemi.

5.1. Czynniki strefowe i astrefowe

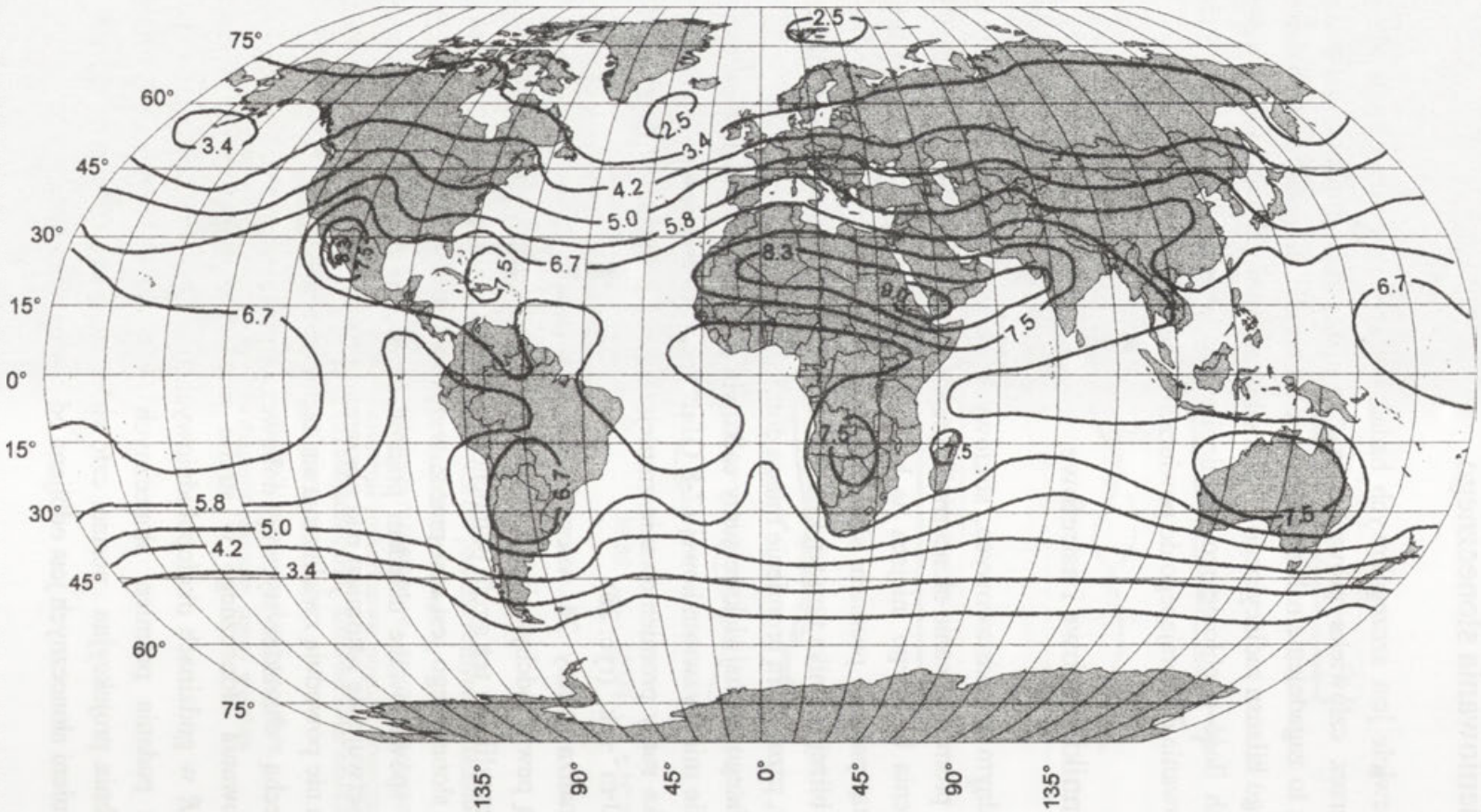
Jednym z podstawowych, strefowych czynników geograficznych oddziałującym na natężenie promieniowania słonecznego przy powierzchni Ziemi jest szerokość geograficzna. Od położenia badanego miejsca na kuli ziemskiej, od jego oddalenia od równika, zależy bowiem kąt padania promieni słonecznych i masa optyczna atmosfery. Im dany punkt jest położony bliżej równika tym większa jest wysokość Słońca i jednocześnie mniejsza jest masa atmosfery, przez którą promienie muszą dotrzeć do jej podłoża.

Dlatego też największe sumy całkowitego promieniowania słonecznego obserwowane są w strefie międzyzwrotnikowej (7-8 $GJ \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$). Przesuwając się na północ i na południe od równika sumy promieniowania zmniejszają się, osiągając w rejonach okołobiegunowych 2,5-3,5 $GJ \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$ (ryc. 28).

Analiza ryciny 28 wskazuje, że w rozkładzie sum promieniowania całkowitego występują pewne odchylenia od układu strefowego (np. wybrzeża Peru, Ekwadoru i południowej Brazylii czy też strefa północnego Atlantyku). Przyczyną zmniejszonych sum promieniowania słonecznego jest tam przede wszystkim większe, niż na terenach sąsiednich, zachmurzenie spowodowane układem prądów morskich. Zwiększone roczne sumy promieniowania obserwuje się natomiast nad obszarami pustyń okołozwtornikowych, gdzie suche masy powietrza nie powodują zwiększenia się zachmurzenia.

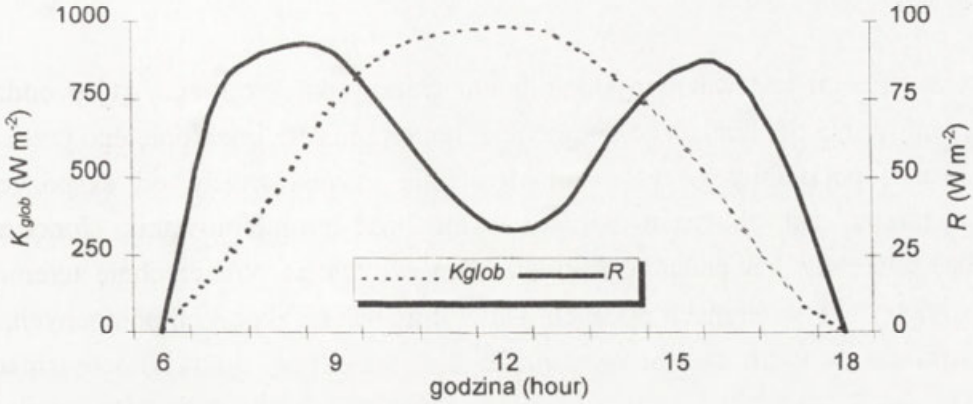
Cechą charakterystyczną dobowego przebiegu pochłoniętego przez człowieka promieniowania słonecznego w strefie międzyzwrotnikowej jest wyraźne zmniejszenie wartości R w godzinach okołopołudniowych (ryc. 29). Przyczyną tego zjawiska jest bardzo duży kąt padania promieni słonecznych ($h > 80°$). Przy tak wysokich wartościach h powierzchnia projekcyjna postaci człowieka stojącego (por. ryc. 12) jest mała, a znaczna ilość promieni słonecznych jest odbijana od powierzchni ciała.

http://rcin.org.pl



Ryc. 28. Sumy roczne całkowitego promieniowania słonecznego (GJ m^{-2} rok^{-1}) (wg Budyki 1975)
Annual sums of global solar radiation (GJ m^{-2} $year^{-1}$) (by Budyko 1975)

http://rcin.org.pl



Ryc. 29. Natężenie całkowitego promieniowania słonecznego (K_{glob}) i promieniowania pochłoniętego przez człowieka (R) w środkowym Wietnamie, średnie z okresu badań, 14-25 marca 1988 r.
Intensity of global solar radiation (K_{glob}) and solar radiation absorbed by man in Central Vietnam (R), mean values for 14-25 March 1988

5.2. Czynniki cyrkulacyjne

Istnieje szereg różnych klasyfikacji cyrkulacji atmosferycznej. Ogólnie biorąc uwzględniają one rodzaj układu barycznego oraz kierunek napływu mas powietrza nad badany obszar (np. cyrkulacja cyklonalna zachodnia, cyrkulacja antycyklonalna północna itp.). Typ cyrkulacji atmosferycznej wpływa na rodzaj napływającej masy powietrza, na jej właściwości fizyczne. Cechami, które w sposób bezpośredni wpływają na dopływ promieniowania słonecznego, a co za tym idzie na jego ilość pochłoniętą przez człowieka, jest przezroczystość i wilgotność danej masy oraz związane z tym rodzaj i wielkość zachmurzenia. Rzutują one na występowanie anomalii przebiegu dobowego i sezonowego promieniowania słonecznego oraz na jego strukturę. Na znaczenie rodzaju i wielkości zachmurzenia w kształtowaniu ilości promieniowania pochłoniętego zwrócono uwagę w rozdziale 4.2.

Dalsze badania szczegółowe w tym zakresie powinny doprowadzić do określenia ilościowych charakterystyk pochłoniętego promieniowania słonecznego w różnych typach cyrkulacji atmosferycznej.

5.3. Czynniki lokalne

Poza wymienionymi wyżej globalnymi czynnikami geograficznymi na dopływ promieniowania całkowitego i na promieniowanie pochłonięte wpływają także czynniki lokalne, związane z rzeźbą terenu, rodzajem podłoża oraz zagospodarowaniem i użytkowaniem terenu.

http://rcin.org.pl

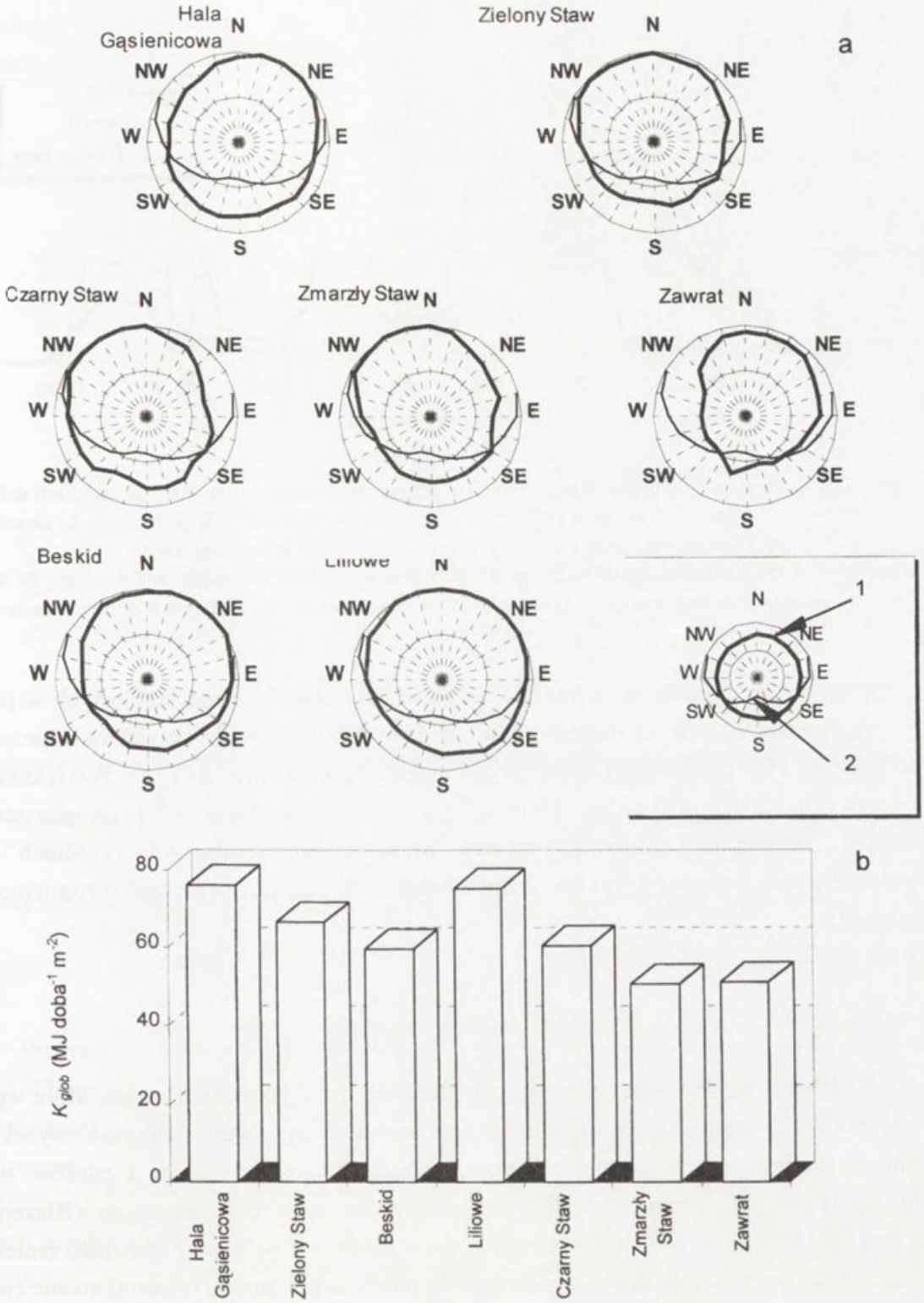
5.3.1. Rzeźba terenu

Rzeźba terenu jest ważnym składnikiem środowiska lokalnego, który oddziałuje na ilość promieniowania docierającego do powierzchni terenu oraz pochłoniętego przez nią. Ilość promieniowania pochłoniętego przez powierzchnię czynną zależy od ekspozycji i kąta nachylenia terenu. Na zboczach południowych ilość promieniowania słonecznego jest zwiększona, ponieważ kąt padania promieni słonecznych na powierzchnię terenu jest tam znacznie większy niż na terenach płaskich. Odwrotnie jest na zboczach północnych, gdzie kąt padania promieni słonecznych jest wyraźnie zmniejszony; przy dużych nachyleniach zboczy dochodzi tu także zjawisko samozacienienia, które powoduje całkowity zanik dopływu promieniowania bezpośredniego. Na przykład, na 50° szerokości geograficznej północnej, na zboczach o nachyleniu 40°, względne wartości bezpośredniego promieniowania słonecznego (w stosunku do terenu płaskiego) wynoszą: na zboczach S - 135%, SW i SE - 129%, W i E - 109%, NW i SW - 88% oraz N - 78%.

W obszarach górskich, zwłaszcza w wąskich i głębokich dolinach obserwuje się zacienianie fragmentów terenu przez otaczające wzniesienia, czego miarą jest zasłonięcie horyzontu. Możliwy czas dopływu bezpośredniego promieniowania słonecznego zmniejsza się tam wyraźnie. Efektem tego są obniżone dobowe sumy promieniowania całkowitego w dnach dolin, czego przykładem są wyniki badań prowadzonych w Dolinie Gąsienicowej w Tatrach, w sierpniu 1997 r. (fot. 7, 8). Najmniejsze sumy K_{glob} obserwowano w wąskich odcinkach doliny, w rejonie Zmarzłego Stawu i podnóża przełęczy Zawrat, gdzie zasłonięcie horyzontu sięgało 45°, a bezpośrednie promieniowanie słoneczne mogło docierać do powierzchni terenu jedynie przez kilka godzin dziennie (ryc. 30). Natomiast największe sumy dobowe promie-niowania całkowitego notowane były w szerokim odcinku doliny, na Hali Gąsienicowej oraz na przełęczy Liliowe, gdzie zasłonięcie horyzontu nie przekraczało 20°.

Nierównomierne zasłonięcie horyzontu w różnych częściach doliny sprawia, że obserwuje się tu zmieniony przebieg dobowy natężenia promieniowania słonecznego oraz jego ilości pochłoniętej przez człowieka. Na przykład, na Hali Gąsienicowej oraz na eksponowanym na wschód zboczu Beskidu, fizyczny wschód Słońca następował już w kilkanaście minut po wschodzie astronomicznym. Na badanym zboczu Beskidu, w godzinach przedpołudniowych natężenie promieniowania pochłoniętego przez człowieka było nawet większe niż w dnie równie nasłonecznionej Hali Gąsienicowej. Było to związane dopływem do powierzchni gruntu i do człowieka dodatkowych ilości promieniowania odbitego od zboczy położonych ponad punktem pomiarowym, które docierało do przygruntowej warstwy powietrza jako promieniowanie rozproszone. Natomiast nad Zmarzłym Stawem, pierwsze promienie Słońca docierały do powierzchni terenu dopiero po około 2 godzinach od wschodu astronomicznego (ryc. 30, 31). Podobne zjawisko było obserwowane także w dolinie Toły w Mongolii (Skoczek i in. 1990; ryc. 32).

http://rcin.org.pl

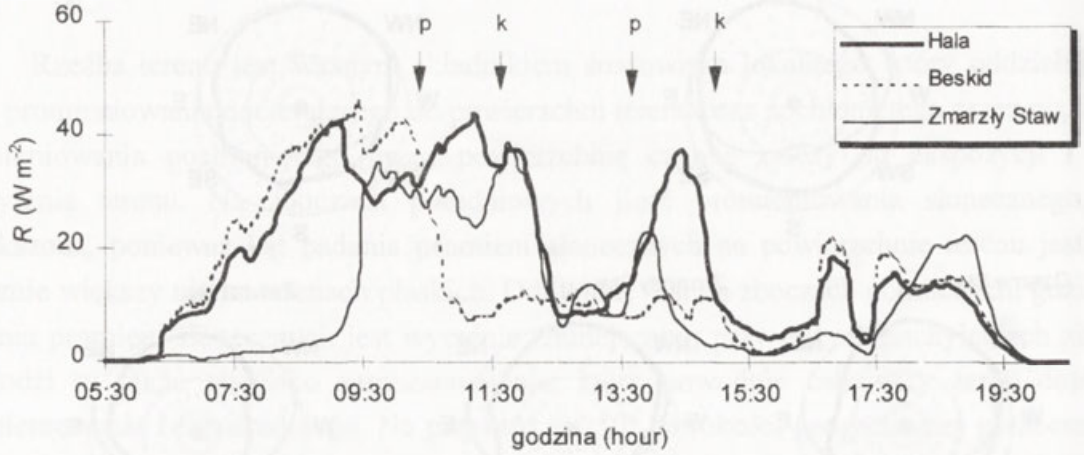


Ryc. 30. Zasłonięcie horyzontu i wysokość Słońca (a) oraz dobowe sumy całkowitego promieniowania słonecznego (b -średnie z okresu badań, 14-26 sierpnia 1997 r.) w kilku punktach doliny Gąsienicowej w Tatrach:

1 - linia horyzontu fizycznego (obszar pomiędzy tą linią a obwodem koła jest obszarem zasłoniętego horyzontu astronomicznego), 2 - linia wysokości Słońca

Horizon shading and Sun altitude (a) as well as sums of global solar radiation (b) in different sites of Gąsienicowa valley, Tatry Mts., mean values for 14-26 August 1997: 1 - line of actual horizon (the area between this line and the circle line represent horizon shading), 2 - line of Sun altitude

http://rcin.org.pl



Ryc. 31. Przebieg dobowy pochłoniętego promieniowania słonecznego (*R*) w różnych częściach doliny Gąsienicowej w Tatrach, 24 sierpnia 1997 r.; strzałkami zaznaczono początek (p) i koniec (k) okresów występowania nad partiami grzbietowymi "czapy" chmur kłębiastych

Daily course of absorbed solar radiation (*R*) in different sites of Gąsienicowa valley in Tatry Mts., 24 August 1997; the arrows show beginning (p) and end (k) of the periods when "cup" of clouds occurs over the tops

Poza tym w górach występuje także zjawisko "czapy" chmur kłębiastych w partiach szczytowych (ryc. 31). Wymuszone orograficznie wstępujące prądy powietrza doprowadziły około godziny 10^{30} do powstania warstwy chmur nad szczytami (fot. 7, 8). Powiększała ona stopniowo swój zasięg obejmując około 12^{30} całą dolinę, aby około 14^{00} ponownie zawisnąć tylko nad szczytami. Odmienny przebieg zachmurzenia w różnych częściach doliny powodował duże czasowe i przestrzenne wahania ilości pochłoniętego promieniowania słonecznego.

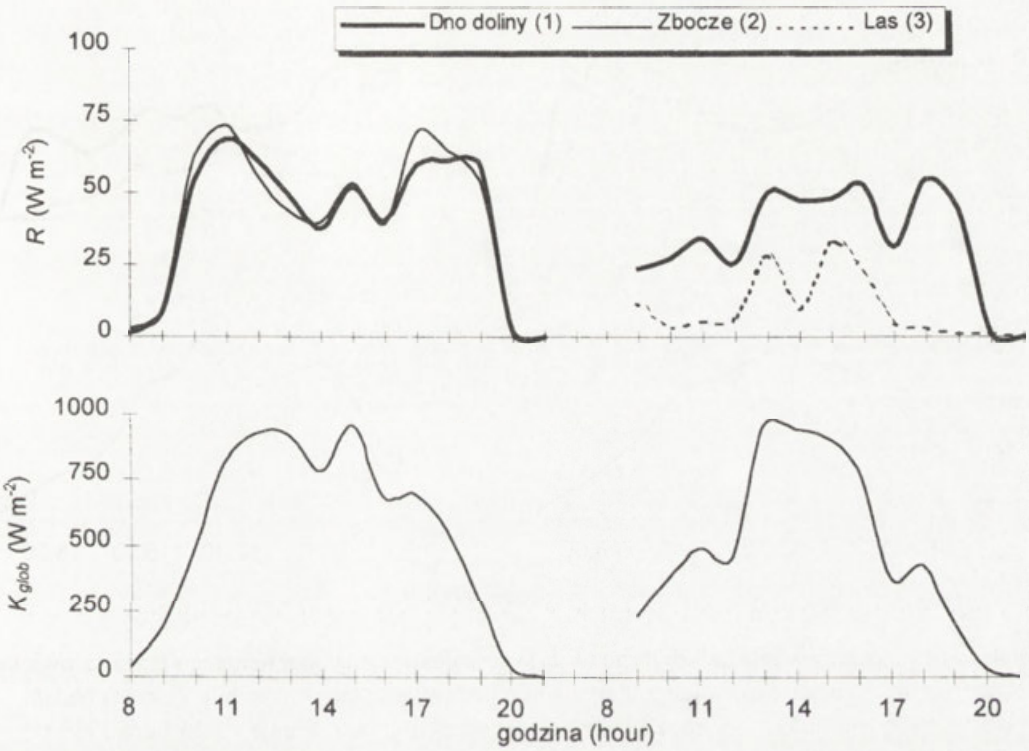
5.3.2. Zagospodarowanie i użytkowanie terenu

Najistotniejszymi elementami zagospodarowania i użytkowania terenu, które wpływają na dopływ i pochłanianie promieniowania słonecznego są: zwarta roślinność wysoka oraz zabudowa miejska. Ilość promieniowania docierającego w głąb lasów i parków stanowi średnio jedynie 10% promieniowania obserwowanego w terenie otwartym (Błażejczyk i Grzybowski 1994). [6] W obszarach zabudowanych natomiast występuje zjawisko zmiennego, w ciągu dnia, dopływu promieni słonecznych do powierzchni terenu, uwarunkowane cieniami rzucanymi przez poszczególne budynki. Także miasto, traktowane jako jeden organizm, powoduje zmniejszenie dopływu promieniowania w porównaniu z terenami wiejskimi. Jest to

[6] Dopływ promieniowania słonecznego do dna lasów i parków zależy od rodzaju i zwartości koron drzew. W lasach „świetlistych" (np. dąbrowy, brzeziny, lasy modrzewiowe) natężenie K_{glob} pod koronami drzew może wynosić średnio nawet 50-60% natężenia promieniowania w terenie otwartym. Istnieje także duża zmienność sezonowa. W lasach liściastych, gubiących na zimę liście, natężenie K_{glob} może w tej porze roku być prawie takie samo jak w terenie otwartym.

http://rcin.org.pl

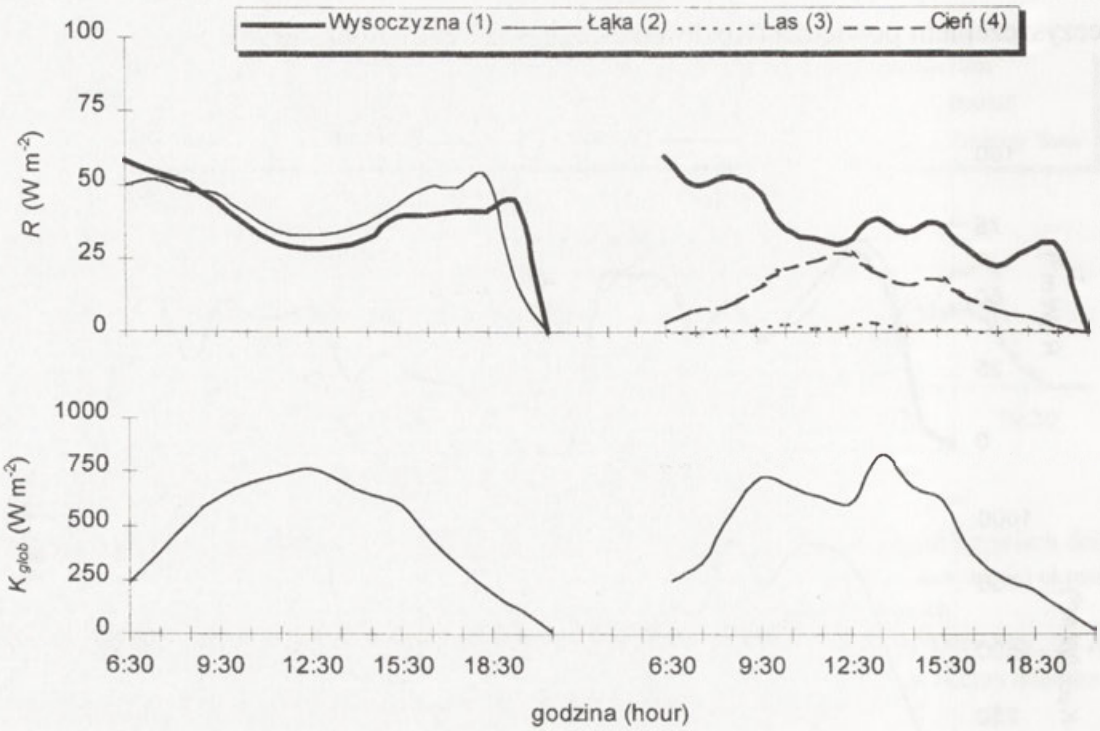
spowodowane mniejszą przezroczystością atmosfery nad miastem (Krawczyk 1968) związaną z zanieczyszczeniem powietrza (Kozłowska-Szczęsna i Podogrocki 1995).



Ryc. 32. Przebieg dzienny promieniowania całkowitego (K_{glob}) i promieniowania pochłoniętego przez człowieka (R) w różnych punktach doliny Toły w środkowej Mongolii, średnie z okresu badań: dla dna doliny i zbocza 16-20 sierpnia 1987, dla dna doliny i lasu modrzewiowego - 21-23 sierpnia 1987
Daily course of global (K_{glob}) and absorbed solar radiation (R) in different sites of Toła valley in Central Mongolia, mean values: 16-20 August 1987 for valley bottom (1) and slope (2), 21-23 August for valley bottom (1) and forest (3)

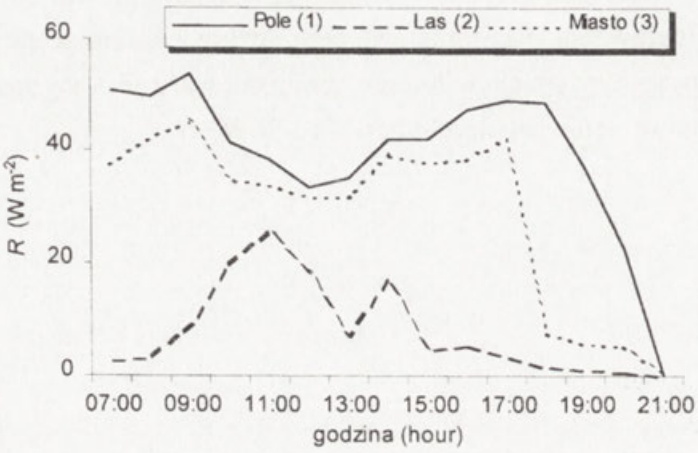
Ilustracją mogą być przykłady z badań prowadzonych w różnych typach terenu. Na rycinie 33 przedstawiono przebieg dobowy promieniowania całkowitego i promieniowania pochłoniętego w kilku typach terenu Suwalskiego Parku Krajobrazowego. Jeden z punktów usytuowano w gęstym, młodym lesie sosnowym, gdzie zwarcie koron wynosiło prawie 100%. W związku z tym natężenie promieniowania pochłoniętego przez człowieka stojącego w lesie nie przekraczało 5 $W \cdot m^{-2}$. W tym samym czasie w terenie otwartym wartość R wynosiła 25-60 $W \cdot m^{-2}$, a dla człowieka stojącego w cieniu szpaleru drzew - 10-30 $W \cdot m^{-2}$.

http://rcin.org.pl



Ryc. 33. Natężenie promieniowania całkowitego (K_{glob}) i promieniowania pochłoniętego przez człowieka (R) w różnych typach terenu Suwalskiego Parku Krajobrazowego; wartości średnie z okresu badań: dla wysoczyzny i łąki - 1-8 lipca 1989 r., dla wysoczyzny, lasu i cienia - 9-15 lipca 1989 r.
Intensity of global (K_{glob}) and absorbed solar radiation (R) in different sites of Suwałki Landscape Park, mean values: 1-8 July 1989 for upland (1) and meadow (2) and 9-15 July 1989 for upland (1), forest (2) and shaded area (3)

Przebieg natężenia promieniowania pochłoniętego w innym typie lasu, starym borze świerkowym, o zwarciu koron 70-75% i gęstości około 40 drzew na 100 m^2. Prześwity pomiędzy koronami drzew sprawiały, że w krótkich okresach w ciągu dnia promienie słoneczne docierały do dna lasu. Natężenie K_{glob} było wtedy nawet nieco zwiększone w stosunku do terenu otwartego (Kozłowska-Szczęsna i in. 1995). Miało to swoje odbicie w ilości promieniowania pochłoniętego przez człowieka (ryc. 34).



Ryc. 34. Przebieg dobowy promieniowania pochłoniętego przez człowieka (R) w różnych typach terenu na obszarze Supraśla; wartości średnie z okresu badań: 28 czerwca - 2 lipca 1994 r.
Daily course of absorbed solar radiation (R) in different sites of town Supraśl (1 - open area, 2 - forest, 3 - build-up area), mean values for 28 June - 2 July 1994

http://rcin.org.pl

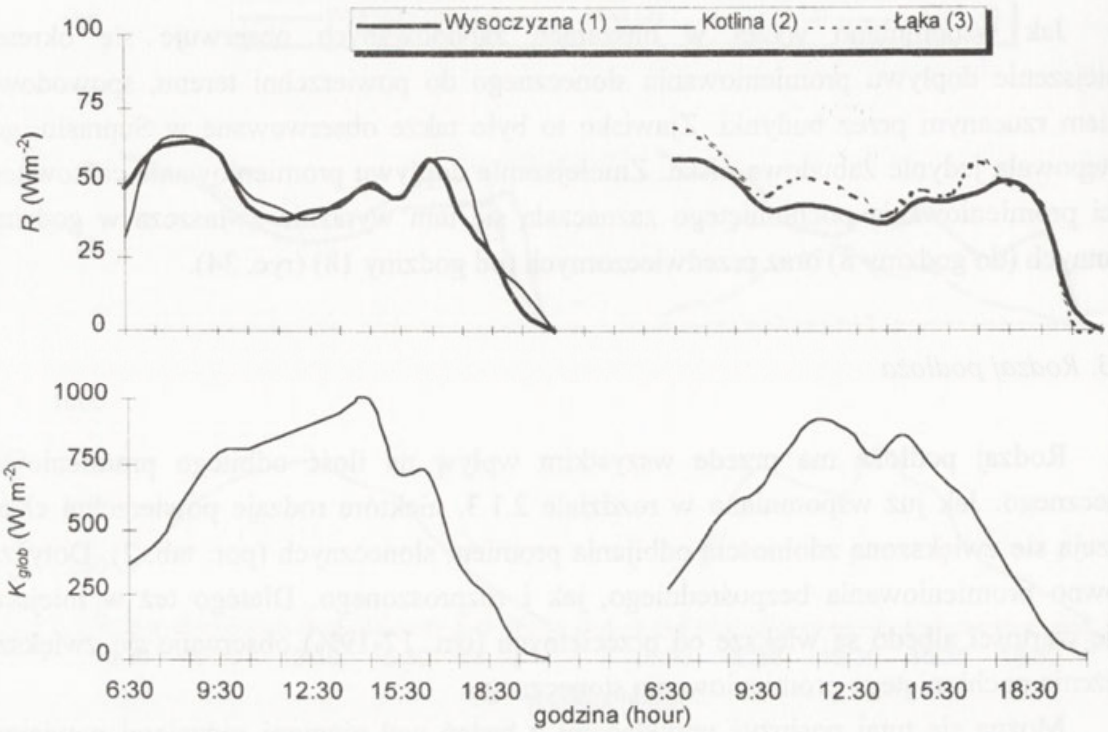
Jak wspomniano wyżej w obszarach zabudowanych obserwuje się okresowe zmniejszenie dopływu promieniowania słonecznego do powierzchni terenu, spowodowane cieniem rzucanym przez budynki. Zjawisko to było także obserwowane w Supraślu, gdzie występowała jedynie zabudowa niska. Zmniejszenie dopływu promieniowania całkowitego i ilości promieniowania pochłoniętego zaznaczała się tam wyraźnie zwłaszcza w godzinach porannych (do godziny 8) oraz przedwieczornych (od godziny 18) (ryc. 34).

5.3.3. Rodzaj podłoża

Rodzaj podłoża ma przede wszystkim wpływ na ilość odbitego promieniowania słonecznego. Jak już wspomniano w rozdziale 2.1.3. niektóre rodzaje powierzchni charakteryzują się zwiększoną zdolnością odbijania promieni słonecznych (por. tab. 2). Dotyczy to zarówno promieniowania bezpośredniego, jak i rozproszonego. Dlatego też w miejscach, gdzie wartości albedo są większe od przeciętnych (tzn. 17-19%) obserwuje się zwiększone natężenia pochłoniętego promieniowania słonecznego.

Można się tutaj posłużyć przykładami z badań nad różnymi rodzajami powierzchni trawiastych w Suwalskim Parku Krajobrazowym. W punktach pomiarowych zainstalowanych na świeżych, wilgotnych łąkach ilość promieniowania odbitego od podłoża była o 5-10% większa niż w punktach z trawą przesuszoną (wysoczyzna) co powodowało, że także natężenie promieniowania pochłoniętego było w obrębie łąk świeżych o 5-10 $W \cdot m^{-2}$ wyższe niż w innych typach terenu (ryc. 33, 35). Nie obserwowano natomiast różnic w ilości pochłoniętego promieniowania słonecznego pomiędzy stanowiskami położonymi na wysoczyźnie i w dnie rozległej, niezbyt głębokiej (maksymalnie 50 m) kotlinie rzeki Szeszupy, gdzie podłoże stanowiła przesuszona trawa.

http://rcin.org.pl



Ryc. 35. Natężenie promieniowania całkowitego (K_{glob}) i promieniowania pochłoniętego przez człowieka (R) w różnych typach terenu Suwalskiego Parku Krajobrazowego; wartości średnie z okresu badań: dla wysoczyzny i kotliny - 26 czerwca - 6 lipca 1988 r., dla wysoczyzny i łąki - 7-15 lipca 1988 r.

Intensity of global (K_{glob}) and absorbed solar radiation (R) in different sites of Suwałki Landscape Park, mean values: 26 June-6 July 1988 for upland (1) and basin (2) and 7-15 July 1988 for upland (1) and meadow (3)

http://rcin.org.pl

6. Podsumowanie i wnioski

Bezpośrednie badania eksperymentalne, dotyczące wpływu promieniowania słonecznego na organizm człowieka były dotychczas prowadzone rzadko, głównie w komorach klimatycznych, gdzie źródłem promieniowania słonecznego były lampy słoneczne.

Badania, których wyniki przedstawiono w obecnym opracowaniu, prowadzono w terenie otwartym w warunkach klimatycznych Polski środkowej i południowej. Ich celem było określenie wpływu promieniowania słonecznego na bilans cieplny, odczucia cieplne i funkcjonowanie układu krwionośnego człowieka.

Pomiary pochłoniętego promieniowania słonecznego prowadzono zarówno na manekinie (analogowym, geometrycznym modelu ciała człowieka), jak i na grupie osób w wieku od 16 do 46 lat (kobiet i mężczyzn), o normalnych proporcjach ciężaru ciała do wzrostu.

Wyniki pomiarów prowadzonych na manekinie pozwoliły na zaproponowanie nowych modeli cyfrowych pochłaniania promieniowania słonecznego: **SolDir**, **SolGlob** i **SolAlt**. Poprawność i dokładność tych modeli (oraz innych modeli znanych z literatury) zostały zweryfikowane opierając się na wynikach bezpośrednich pomiarów promieniowania pochłoniętego, prowadzonych na ludziach. Dokładność zaproponowanych w opracowaniu nowych modeli okazała się większa niż innych, znanych dotychczas. Zwłaszcza wartości *R*, obliczone za pomocą modeli opartych na cylindrze, jako geometrycznym analogu ciała człowieka, są zbyt duże w porównaniu ze zmierzonym natężeniem promieniowania pochłoniętego.

W zależności od posiadanych danych wejściowych, dotyczących warunków solarnych, umożliwiają one określenie realnych wartości natężenia promieniowania pochłoniętego przez człowieka (*R*). Model **SolDir** może być stosowany wtedy, gdy dysponujemy danymi o natężeniu wszystkich strumieni promieniowania słonecznego. Różnice wartości *R* obliczonych w ten sposób różnią się od wartości *R* zmierzonych na ludziach, średnio o około 14%. Model **SolGlob** jest polecany wówczas, gdy posiadamy jedynie informacje o natężeniu promieniowania całkowitego i wielkości zachmurzenia. Zmierzone i obliczone wartości *R* różnią się średnio o około 22%. Model **SolAlt** może być wykorzystywany wtedy, gdy mamy wyłącznie dane o wielkości zachmurzenia. Średni błąd obliczonej wartości *R* wynosi około 3%, przy stosunkowo dużym odchyleniu standardowym i nierównomierności rozkładu obliczonych wartości *R*.

Reakcje układu termoregulacyjnego na pochłonięte promieniowanie słoneczne były określane za pomocą temperatury powierzchni ciała (*Tsk*). Mierzono ją równocześnie - i w tych samych miejscach - co strumień *R*. Na wartość *Tsk* wpływały, poza promieniowaniem pochłoniętym, także temperatura powietrza oraz ochładzający efekt parującego z powierzchni skóry potu. Obserwowano wyraźny związek pomiędzy wartościami *R* i *Tsk*. Jednocześnie, wzrost temperatury powierzchni ciała, związany z pochłanianiem promieniowania słonecz-

http://rcin.org.pl

nego, powodował uaktywnienie gruczołów potowych, a w efekcie parowania potu - obniżenie temperatury skóry.

Zaobserwowano również, że barwa noszonej odzieży wyraźnie wpływała zarówno na ilość promieniowania pochłoniętego, jak i na temperaturę skóry. Wartości *R* i *Tsk* były znacząco wyższe w przypadku noszenia odzieży czarnej w porównaniu z odzieżą białą. Różnice *R* sięgają 50-60 $W \cdot m^{-2}$, a różnice *Tsk* - 5-6°C.

Pochłanianie promieniowania słonecznego i związany z tym wzrost temperatury skóry wpływały także na subiektywne odczucia cieplne badanej grupy ludzi. Na intensywny dopływ do człowieka bezpośredniego promieniowania słonecznego układ termoregulacyjny reagował zmianą odczuć cieplnych w kierunku gorąca.

Stwierdzono znaczący wpływ dużego dopływu i pochłaniania promieniowania słonecznego na pracę układu krwionośnego u osób o zwiększonym poziomie metabolizmu związanego z marszem. Zaznaczyło się to w tej grupie osób znacznymi wahaniami częstości tętna podczas chodzenia w czasie pogody słonecznej. Większe, niż w czasie pogody pochmurnej, były także wahania ciśnienia krwi.

Przedstawione w opracowaniu wyniki badań dowodzą, że promieniowanie słoneczne ma bardzo duży wpływ zarówno na bilans cieplny człowieka, jak również na obiektywne reakcje fizjologiczne układu termoregulacyjnego i układu krążenia oraz subiektywne odczuwanie dopływu promieni słonecznych do człowieka.

Daje to podstawę do stwierdzenia, że należy w sposób rozsądny korzystać z cieplnego działania promieni słonecznych. Pochłanianie promieniowania słonecznego powoduje zwiększenie się ogólnego zasobu ciepła, jakim dysponuje organizm. Zimą lub przy niskiej temperaturze powietrza i wietrze, gdy oddawanie ciepła do otoczenia poprzez konwekcję jest bardzo duże, pochłonięte promieniowanie słoneczne zmniejsza ogólny deficyt ciepła w organizmie. Natomiast w przypadku wysokiej temperatury powietrza ciepło - uzyskane przez organizm w wyniku pochłaniania promieniowania słonecznego - znacznie obciąża układ termoregulacyjny i może się stać przyczyną przegrzania organizmu.

Ważnym elementem racjonalnego wykorzystywania cieplnych efektów promieniowania słonecznego jest zwrócenie uwagi na barwę noszonej odzieży. Należy pamiętać, że odzież ciemna pochłania więcej promieni słonecznych niż biała. Można to wykorzystać jako dodatkowy „regulator" bilansu cieplnego człowieka i jego odczuć cieplnych.

Przeprowadzone badania nie odpowiedziały na wszystkie pytania i wątpliwości związane z wpływem promieniowania słonecznego na człowieka. W przyszłości należałoby zwrócić uwagę na zagadnienie wpływu czynników regionalnych i lokalnych oraz na udział czynników cyrkulacyjnych w kształtowaniu bilansu radiacyjnego człowieka. Dalszych badań wymaga także określenie, jaki jest realny wpływ promieniowania słonecznego na pracę serca i układu krwionośnego oraz na pracę innych układów i narządów człowieka. Ważnym zagadnieniem jest również wpływ radiacji na bilans wodny i bilans mineralny człowieka.

http://rcin.org.pl

7. Literatura

Ajzenštat B.A. 1973, *Bioklimatičeskij atlas Srednej Azii*, Gidrometeoizdat, Moskva.

– 1986, *Health and the heat balance of the human body*, [w:] *Climate and human health*, Proc. Symp. Leningrad, 22-26 Sept.1986, 170-181.

Atlas kurortno rajoniranie na NR Bulgarija, 1971, (praca zbiorowa), Sofia, Min. Nar. Zdrave.

Beaumont W. van, Bullard R.W. 1965, *Sweating: Direct influence of skin temperature*, Science, 147, 3664, 1465-1467.

Belinskij V.A. 1968, *Ultrafioletovaja radiacija solnca i neba*, Moskva.

Blanc J. de 1975, *Man in the cold*, Ch.C.Thomas Publ., Springfield.

Bligh J., Johnson 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.

– 1987, *Bilans cieplny człowieka w warunkach stacjonarnych i niestacjonarnych*, Probl.Uzdrow., 11/12, 25-35.

– 1988, *Human skin temperature in different climatic zones*, [w:] *Symposium on Human Biometeorology*, Štrbske Pleso, High Tatras, Czechoslovakia, Proc., 30-39.

– 1990, *Nowy wskaźnik bioklimatyczny do określania odczuwalności cieplnej człowieka*, Probl.Uzdrow., 5/6, 59-71.

– 1991, *Heat balance of the human body in different weather conditions in North-East Poland (the problem of thermal stress)*, Grana, 30, 277-280.

– 1993, *Wymiana ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem w różnych warunkach środowiska geograficznego*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 159.

– 1994, *New climatological-and-physiological model of the human heat balance outdoor (MENEX)and its applications in bioclimatological studies in different scales*, [w:] K. Błażejczyk, B. Krawczyk, *Bioclimatic research of the human heat balance*, Zesz. IGiPZ PAN, 28, 27-58.

– 1995, *Fizyczne znaczenie promieniowania słonecznego dla człowieka*, [w:] B. Krawczyk, K. Błażejczyk (red.), *Współczesne badania klimatologów polskich w kraju i za granicą*, Conf.Pap., IGiPZ PAN, 23, 61-68.

– 1997a, *Dry heat exchange and skin temperature in subjects outdoors at fluctuated cloud cover*, [w:] B. Nielsen-Johannsen, R. Nielsen (red.), *Thermal physiology 1997*, Proc. Int.Symp.Thermal Physiol., Copenhagen, 8-12 July 1997, August Krogh Inst., 115-118.

– 1997b, *Modelisation de la structure momentanée du rayonnement solaire globale*, Publ. de l'AIC, 10 (w druku).

Błażejczyk K., Grzybowski J. 1994, *Znaczenie klimatotwórcze małych powierzchni wodnych oraz charakterystyka topoklimatów w krajobrazie pojeziernym Suwalskiego Parku Krajobrazowego*, [w:] A. Hilbricht-ilkowska i R.J. Wiśniewski (red.) *Jeziora Suwalskiego Parku Krajobrazowego*, Komitet Naukowy przy Prezydium PAN "Człowiek i środowisko", Zesz.Naukowe, 7, 103-118.

http://rcin.org.pl

Błażejczyk K., Krawczyk B. 1991, *The influence of climatic conditions on the heat balance of the human body*, Int.J.Biomet. 35, 103-106.

Błażejczyk K., Nilsson H., Holmér I. 1993, *Solar heat load on man (review of different methods of estimation)*, Int.J.Biomet. 37, 125-132.

– 1994, *Absorption of solar radiation by uncovered and „clothed" ellipsoid model of man*, maszynopis, arch. Zakładu Klimatologii IGiPZ PAN, Warszawa.

Breckenridge J.R., Goldman R.F. 1971, *Solar heat l oad in man*, J.Appl.Physiol., 31, 659-663.

– 1977, *Effect of clothing on bodily resistance against meteorological stimuli*, [w:] S.W. Tromp (red.), *Progress in human biometeorology*, II, 194-208.

Brown R.D., Gillespie T.J. 1986, *Estimating outdoor thermal comfort using a cylindrical radiation thermometer and an energy budget model*, Int.J.Biomet., 30, 1, 43-52.

Budyko M.I. 1959, *O teplovom balanse žyvyh organizmov*, Izv.AN SSSR, Ser.geogr., 2, 29-35.

– 1975, *Klimat i życie*, PWN, Warszawa.

Budyko M.I, Cicenko G.V. 1960, *Klimatičeskie faktory teploočuščenija čeloveka*, Izv.AN SSR, Geogr., 3, 3-11.

Burt J.E., O'Rourke P.A., Terjung W.H. 1982a, *The relative influence of urban climates on outdoor human energy budgets and skin temperature*, Int.J.Biomet., 26, 1, 3-35.

– 1982b, *The relative influence of selected cloud types and amounts on human energy budgets and skin temperature*, Int.J.Biomet., 26, 2, 99-114.

Büttner K. 1938, *Physikalische Bioklimatologie. Probleme und Methoden*, Akad.Verl., Leipzig.

Cabanac M. 1980, *Physiological signals for thermal comfort*, [w:] K.Cena, J.A. Clark (red.), *Bioengineering, thermal physiology and comfort*, Wrocław Techn.Univ. Press - Elsevier, Amsterdam, 181-193.

Cena K. 1974, *Radiative heat loss from animals and man*, [w:] L.E. Mount, J.L. Monteith (red.), *Heat loss from animals and man*, Butterworths, London, 33-58.

Clark J.A., Cena K. 1976, *Solar and thermal radiative heat loads in the energy balance of man*, Int.Mech.Engin., 5, 3, 75-78.

Clark J.A., Cena K. Monteith J.L. 1973, *Measurements of the local heat balance of animal coats and human clothing*, J.Appl.Physiol., 35, 5, 751-754.

Clark R.P., Edholm O.G. 1985, *Man and his thermal environment*, E.Arnold Ltd., London.

Daniłowa N.A. 1988, *Przyroda i nasze zdrowie*, Wiedza Powsz., Warszawa.

Downey J.A., Huckaba C.E., Darling R.C. 1971, *The effect of skin and central cooling on human thermoregulation*, Int.J.Biomet., 15, 2-4, 171-175.

Elizondo R.S., Bullard R.W. 1971, *Local determination of sweating and the assessment of the "Set point"*, Int.J.Biomet., 15, 2-4, 273-280.

Fanger P.O. 1974, *Komfort cieplny*, Arkady, Warszawa.

Freitas C.R. de 1985, *Assessment of human bioclimate based on thermal response*, Int.J.Biomet., 29, 97-119.

– 1990, *Recreation climate assessment*, Int.J.Clim., 10, 89-103.

Freitas C.R. de, Ryken M.G. 1989, *Climate and physiological heat strain during exercise*, Int.J.Biomet., 33, 157-164.

http://rcin.org.pl

Fuller F.H., Brouha L. 1966, *New engineering methods for evaluating the job environment*, ASHRAE J., 8, 1, 39-52.

Garden J.W., Wilson I.D., Rasch P.J. 1966, Acclimatization of healthy young adult males to a hot-wet environment, J.Appl.Physiol., 21, 2, 665-669.

Givoni B. 1976, *Man, climate and architecture*, Applied Sci.Publ., London.

Givoni B., Beldings H.S. 1965, *Effektivnost' ohlaždenija pri isparenii pota*, [w:] *Biometeorologija*, Gidrometeoizdat, Leningrad, 198-206.

Givoni B., Goldman R.F. 1973, *Predicting effects of heat acclimatization on heart rate and rectal temperature*, J.Appl.Physiol., 35, 6, 875-879.

Góra T. 1973, *Określenie czasu fotochemicznej aktywności promieniowania słonecznego dla potrzeb helioterapii*, Probl.Uzdrow., 6, 133-142.

Gregorczuk M. 1966, *Cieplny wpływ promieniowania słonecznego na człowieka*, Przegl.Geofiz., 11, 2, 119-128.

Gyllerup S. 1997, *Climatic conditions and coronary mortality in northern Europe*, referat na Sympozjum „Praca w warunkach zimna", Salstjöbaden (Szwecja).

Hammel H.T. 1965, *Neurons and temperature regulation*, [w:] W.S. Yamamoto (red.), *Physiological controls and regulations*, W.B.Saunders Co, Philadelphia, 71-97.

Hammer N., Koch E., Rudel E. 1986, *Die Beurteilung der thermisch-hygrischen Befindlichkeit des Menschen nach verschiedenen Methoden*, Arch.Met.Geoph.Biokl., B, 36, 3-4, 343-355.

Hardy J.D. 1965, *The "set-point" concept in physiological temperature regulation*, [w:] W.S. Yamamoto (red.), *Physiological controls and regulations*, W.B. Saunders Co, Philadelphia, 98-116.

Henneman D.H., Bunker J.P., Brewster W.R. 1958, *Immediate metabolic response to hypothermia in man*, J.Appl.Physiol.,12, 2, 164-168.

Holmér I. 1988, *Assessment of cold stress in terms of required clothing insulation - IREQ*, Int.J.Ind.Ergon., 3, 159-166.

– 1994., *Work in cold environments*, Undeskäkningsrapport, 31.

Hensel H. 1981, *Thermoreception and temperature regulation*, Acad.Press, London.

Hey E.N. 1974, *Physiological control over body temperature*, [w:] L.E. Mount, J.L. Monteith (red.), *Heat loss from animals and man*, Butterworths, London, 77-95.

Höppe P. 1982, *Physikalishe Prinzipien in der Biometeorologie*, Promet Met.Fortbild., 3/4, 4-9.

– 1984, *Die Energiebilanz des Menschen*, Wiss.Mitt.Met.Inst.Univ. Munchen, 49.

Ingram D.L., Mount L.E. 1975, *Man and animals in hot environments*, Springer-Verlag, Berlin.

ISO/DIS 9920, *Ergonomics of the thermal environment - Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of clothing ensemble*, Int.Org.Stand., Geneva.

Jendritzky G. 1990, *Bioklimatische Bewertungsgrundlage der Räume am Beispiel von mesoska-ligen Bioklimakarten*, [w:] H. Schirmer (red.), *Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen*, ARL Hannover, 114, 7-69.

Jendritzky G., Menz G. 1986, *Bioclimatic maps of heat exchange of the human being in different scales*, [w:] *Climate and human health*, Proc.Symp.Leningrad, 2, 107-114.

http://rcin.org.pl

Jendritzky G., Nübler W. 1981, *A model analysing the urban thermal environment in physiologically significant terms*, Arch.Met.Geoph.Biokl., Ser.B, 29, 4, 313-326.

Jendritzky G., Sievers U. 1986, *Numerical simulation of the thermal environment of the human being in street canyons*, [w:] *Climate and human health*, Proc.Symp.Leningrad, 2, 172-179.

Kaciuba-Uściłko M. 1990, *Termoregulacja*, [w:] A. Tkaczyk (red.), *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*, PZWL, Warszawa.

Kaleta Z. 1971, *Regulacja temperatury ciała*, [w:] *Fizjologia człowieka*, PZWL, Warszawa, 821-829.

Kenney W.L. 1985, *A review of comparative responses of men and women to heat stress*, Envir.Res., 37, 1, 1-11.

Klonowicz S., Kozłowski S. 1970, *Człowiek a środowisko termiczne*, PZWL, Warszawa.

Koch E., Rudel E. 1988, *The human sensitivity on high mountains - a comparison between an energy balance model and the cooling power*, [w:] *Symposium on Human Biometeorology*, Štrbske Pleso, High Tatras, Czechoslovakia, Proc., 193-201

Kozłowska-Szczęsna T. 1973, *Promieniowanie pochłonięte na obszarze Polski*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 99.

Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K. 1996, *Środowisko fizycznogeograficzne Warszawy - niektóre zagadnienia*, [w:] T. Kozłowska-Szczęsna, K. Błażejczyk, B. Krawczyk, *Atlas Warszawy, 4, Środowisko fizycznogeograficzne - niektóre zagadnienia*, Wyd. IGiPZ PAN, Warszawa.

– 1997, *Promieniowanie słoneczne i jego wpływ na organizm człowieka*, Balneol.Pol., (w druku).

Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B. 1997, *Bioklimatologia człowieka. Metody i ich zastosowanie w badaniach bioklimatu Polski*, IGiPZ PAN, Monografie, 1.

Kozłowska-Szczęsna T., Krawczyk B., Błażejczyk K. 1995, *Warunki bioklimatyczne Supraśla*, Zesz. IGiPZ PAN, 33.

Kozłowska-Szczęsna T., Podogrocki J. 1995, *Antropogeniczne zmiany warunków radiacyjnych w Warszawie*. [w:] K. Kłysik (red.) *Klimat i bioklimat miast*, Wyd. Uniw.Łódzkiego, 87-98.

Kozłowski S. 1986, *Granice przystosowania*, Wiedza Powsz., Warszawa.

Krawczyk B. 1968, *Badania zmętnienia atmosfery w Warszawie w latach 1961-1963*, Przegl.Geogr, 40, 4, 823-832.

– 1979, *Bilans cieplny ciała człowieka jako podstawa podziału bioklimatycznego obszaru Iwonicza*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 131.

– 1994, *Porównanie różnych metod wyznaczania struktury całkowitego promieniowania słonecznego*, maszynopis, arch. Zakładu Klimatologii IGiPZ PAN.

Krawczyk B., Błażejczyk K. 1991, *Wstępne badania bilansu cieplnego ciała człowieka na pustyni Kara-kum*, Przegl.Geogr., 63, 1/2, 143-154.

Krys S.A., Brown R.D. 1990, *Radiation absorbed by a vertical cylinder in complex outdoor environments under clear sky conditions*, Int.J.Biomet., 34, 69-75.

Kuczmarski M. 1984, *Możliwości wykorzystania usłonecznienia do celów helioterapii w Polsce*, Dok.Geogr., 1-2, 117-137.

– 1990, *Usłonecznienie Polski i jego przydatność dla helioterapii*, Dok.Geogr., 4.

Lee D.H.K. 1980, *Seventy-five years of searching for a heat index*, Envir.Res., 22, 331-356.

http://rcin.org.pl

Liopo T.N., Cicenko G.V. 1971, *Klimatičeskie uslovija i teplovoe sostojane čeloveka*, Gidrometeoizdat, Leningrad.

Malchaire J.B. 1991, *Predicted sweat rate in fluctuating thermal conditions*, Eur.J.Appl.Physiol., 63, 282-287.

Martynuska A., Baranowska M. 1996, *O wpływie promieniowania UV na człowieka.* Gaz.Obserw.IMGW, 45, maj-czerwiec, 3-6.

Mateeva Z.S. 1997, *Toplinet komfort na čoveka pri klimatičnite uslovia na Rilo-Rodopskata oblast*, Bułg.Akad.Nauk, Inst.Geogr., Sofia.

Mitchell D. 1977, *Physical basis of thermoregulation*, [w:] D. Robertshow (red.), *International reviev of physiology*, 15, *Environmental physiology II*, Univ.Park.Press, 1-21

Morgan D.L., Baskett R.L. 1974, *Comfort of man in the city, An energy balance model of man-environment coupling*, Int.J.Biomet., 18, 184-198.

Narębski J. 1980, *Termoregulacja*, [w:] *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii klinicznej*, PZWL, Warszawa, 282-294.

Nielsen B., Kassow K., Aschengreen F.E. 1988, *Heat balance during exercise in the sun*, Eur.J.Appl.Physiol., 58, 189-196.

Nurkowska J. 1997, *Słoneczne złego początki*. Wiedza i życie, 8, 12-17.

Paltridge G.W., Platt C.M.R. 1976, *Radiative processes in meteorology and climatology. Development in atmospheric Sciences*, 5, Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York.

Parsons K.C. 1993, *Human thermal environments*, Taylor & Francis Publ., London.

Popoczko P. 1990, *Ciepło a życie. Zarys termofizjologii zwierząt*, PWN, Warszawa.

Povolockaja N.P. 1975, *Ispolzovanie metoda teplovogo balansa v dozimetrii solnečnych i vozdušnych vann*, [w:] A. Novikov (red.), *Voprosy medicinskoj klimatologii i klimatoterapii bolnych na kurortach*, Inst.Kurort., Piatigorsk, 64-78.

Rewerski W., Kozłowski S., Korolkiewicz Z., Wróblewski T.E. 1972, *Termoregulacja: fizjologia, patologia i farmakologia*, PZWL, Warszawa.

Robinson N. (red) 1966, *Solar radiation,* Elsevier, Amsterdam/Londyn/Nowy York.

Rowell L.B., Brengelmann G., Murray J.A., Kroning K.K., Kusumi F. 1969, *Human metabolic responses to hyperthermia during mild to maximal exercise*, J.Appl.Physiol. 26, 4, 395-402.

Skoczek J., Krawczyk B., Błażejczyk K. 1990, *Warunki topoklimatyczne i biotopo-klimatyczne okresu letniego w dolinie Toły (Chentej, Mongolia)*, Przegl.Geogr., 62, 1/2, 121-136.

Skrzypski J. 1974, *Usłonecznienie i możliwości helioterapii w Krynicy*, Probl.Uzdrow., 9/10, 83-107.

– 1981, *Bilans cieplny ciała człowieka podczas kąpieli słonecznych*, Probl.Uzdrow., 9/12, 95-106.

Słomka J. 1973, *Uwagi o krótkofalowej granicy UV widma słonecznego, usłonecznieniu i erytemalnej efektywności promieniowania słonecznego*, Probl.Uzdrow., 6, 137-140.

Smolander J. 1987, *Circulatory and thermal adjustments to dynamic exercise in different combinations of ambient temperature, air humidity and clothing*, Publ.Univ. Kuopio, Medicine, Orig.Rep., 1, 1-93.

Stetson J.B. (red.) 1967, *Metabolism*, 5, 2, Little, Brown and Co (Inc), Boston.

Stoker J.B., Kappagoda C.T., Thenabadu P.N, Linden R.J. 1973, *A simple method for measurement of oxygen consumption*, J.Appl.Physiol., 35, 5, 748-750.

http://rcin.org.pl

Strydom N.B., Wyndham C.H., Williams C.G., Morrison J.F., Bredell G.A., Benade A.J., von Rahden M. 1966, *Acclimatization to humid heat and role of physical conditioning*, J.Appl.Physiol., 21, 2, 636-642.

Sylwanowicz W., Michajlik A., Ramotowski W., 1989, *Anatomia i fizjologia człowieka*, PZWL, Warszawa.

Terjung W.H. 1966, *Physiological climates of the conterminous United States: A bioclimate classification based on man*, Ann.Ass.Am.Geogr., 56, 1, 141-179.

– 1969, *The city-man system in urban energy balance climatology*, Proc.Ass.Am.Geogr., 1, 145-148.

– 1970, *Urban energy balance climatology: A preliminary investigations of the city-man system in downtown Los Angeles*, Geogr.Rev., 60, 44-53.

– 1974, *Energy balance between atmosphere and living organisms*, [w:] S.W. Tromp (red.), *Progress in biometeorology*, 1, 1, Elsewier, Amsterdam, 55-58,

Terjung W.H., Louie S.S.-F. 1971, *Potential solar radiation climates of man*, Ann.Ass.Am.Geogr., 61, 3, 481-500.

Tuller S.E. 1975, *The energy budget of man: variations with aspect in a downtown urban environment*, Int.J.Biomet., 19, 1, 2-13.

– 1997, *Climatic controls of the cool human thermal sensations in a summertime onshore wind*, Int.J.Biometeor., 41, 1, 26-33.

Tyczka S. 1973, *Zastosowanie danych meteorologicznych i aktynometrycznych w klimatoterapii*, Probl.Uzdrow., 6, 1-14

Tyczka S., Ponikowska J., Marusik T. 1971, *Średnie dawki rumieniowe promieniowania słonecznego dla osób zdrowych, określone w warunkach klimatycznych wybrzeża Bałtyku*, Baln.Pol., 16, 3/4, 217-222.

Underwood C.R., Ward E.J. 1966, *The solar radiation area of man*, Ergonomics, 9, 2, 155-168.

Vitte N.K., Petryn N.M. 1952, *Izmenene teploprodukcji čeloveka v rozličnyh uslovijah temperatury vozduha v pokoje i pri vypolnenii fizičeskoj raboty*, Vrač.Delo, 10, 913-916.

Webb P. 1971, *Metabolic heat balance data for 24-hour period*, Int.J.Biomet., 15, 2-4, 151-155

Wood J.E., Bass D.E., Iampietro P.F. 1958, *Responses of peripheral veins of man to prolonged and continuous cold exposure*, J.Appl.Physiol., 12, 3, 357-360.

http://rcin.org.pl

SOLAR RADIATION AND HEAT BALANCE OF THE HUMAN ORGANISM

Summary

Solar radiation is very important factor influencing human life and development. Physically it is kind of electromagnetic waves with the length of 0,1-4,0 μm. There are three ranges of solar radiation: ultraviolet (< 0.4 μm.), day-light (0.4-0.76 μm) and infrared (> 0.76 μm) (Fig. 1). Each range of radiation has its specific, biological activity. UV radiation has bactericidal properties; it also produces vitamin D_3 and burning of skin surface. Day-light radiation is a source of visual and mental impressions in man. However infrared beams have thermal features.

In the average only about 50% of solar radiation observed outside the atmosphere reaches and is absorbed by the Earth surface (Fig. 2). The last part is reflected (by troposphere, clouds and ground surface) or absorbed (by air vapour or atmospheric water). The man outdoor is under the influence of direct (K_{dir}) and diffuse (K_{dif}) radiation fluxes as well as of solar flux reflected from the ground (K_{ref}). The general equation of absorbed solar radiation (R) has the following form:

$$R = (\beta_{dir} \cdot K_{dir} + \beta_{dif} \cdot K_{dif} + \beta_{ref} \cdot K_{ref}) \cdot \alpha \cdot \cdot Cl$$

where: β - are coefficients defining doses of particular solar fluxes (K_{dir}, K_{dif}, K_{ref}) absorbed by man, α - is parameter related to skin reflectance, and Cl - is parameter expressing thermal insulation of clothing.

The aim of the paper is to present the results of studies dealing with thermal effect of solar radiation at human being outdoors. There are considered absorption of solar radiation and its influence on thermal sensations as well as on functioning of thermoregulatory and circulatory systems.

Absorption of solar radiation were studied both, on a mannequin and on subjects. Mannequin was used as a geometrical, analogue model of man. Absorbed dose of solar radiation was derived from direct measurements of dry heat exchange (S_m, S) observed on the surfaces of mannequin and subjects bodies. S and S_m values were measured with the use of special, elastic heat flux plates. The sensors were attached on forehead, forearm, palm, chest, back, thigh and lower leg (Fig. 14). There were also controlled convective (C_m, C) and radiative (long-wave - L_m, L_c) heat exchange. The temperature of the surfaces of mannequin and subjects bodies was measured as well using resistant thermometers. There were made five series of measurements: in July 1995, October 1995, July 1996, July 1997 and August 1997 on the research stations of the Institute of Geography and Spatial Organization of the Polish Academy of Sciences in Borowa Góra (next to Warsaw) and Hala Gąsienicowa (in the Tatry Mtns.). Beside physiological parameters meteorological elements, i.e. air temperature, wind speed, air humidity, solar radiation (global, direct, diffuse and reflected) and long wave radiation (of the sky and of the ground) were controlled as well. The data were registered automatically as 1 minute averages. In 1997 circulatory system parameters (heart rate, diastolic and systolic blood pressure) were also examined.

Absorbed solar radiation is a component of dry heat exchange equations which have the following forms:

$$S_m = R_m + L_m + C_m \qquad \text{for a mannequin and}$$

$$S = R + L_c + C + M \qquad \text{for subjects.}$$

(Metabolic heat production at subjects - M - was found by direct measurements.)

http://rcin.org.pl

The purpose of measurements carried out on the mannequin was to define β coefficients. However the results of climatic-and-physiological experiments were used for verification of numerical models of absorbed solar radiation derived from the „mannequin" part of investigations.

Because of various kinds of insolation data we can have in our disposal there were proposed three new, numerical models of absorbed solar radiation in subjects. **SolDir** model may be used when we have measured data of solar radiation fluxes (K_{dir}, K_{dif}, K_{ref}). Then absorbed solar radiation may be calculated as follows:

$$R = 1{,}4 \cdot \left[K_{dir} \cdot e^{(-0{,}51+0{,}368 \cdot h)} + \left(K_{dif} + K_{ref}\right) \cdot \left(0{,}0013 + 0{,}033 \cdot \ln h\right)\right] \cdot \left(1 - 0{,}01 \cdot a_c\right) \cdot Irc$$

- for Sun altitude (h) ≤ 5° and

$$R = 1{,}4 \cdot \left[K_{dir} \cdot \left(\frac{18{,}816}{h} - 0{,}235\right) + \left(K_{dif} + K_{ref}\right) \cdot \left(0{,}0013 + 0{,}033 \cdot \ln h\right)\right] \cdot \left(1 - 0{,}1 \cdot a_c\right) \cdot Irc$$

- for Sun altitude > 5°,

where: a_c - is albedo of skin and/or clothing (in %), h - is Sun altitude (in degree), Irc - is coefficient reducing heat transfer due to clothing (see Appendix 1).

Very often we have only data of global solar radiation (K_{glob}) and general information about cloudiness. In this case we can use **SolGlob** model of absorbed solar radiation. R equations have various form depending on insolation conditions:

$$R = 1{,}4 \cdot K_{glob} \cdot \left(0{,}546 - 0{,}224 \cdot \ln h\right) \cdot \left(1 - 0{,}1 \cdot a_c\right) \cdot Irc$$

- for h < 10° in the morning hours,

$$R = 1{,}4 \cdot K_{glob} \cdot \left(0{,}163 + 0{,}187 \cdot \ln h\right) \cdot \left(1 - 0{,}1 \cdot a_c\right) \cdot Irc$$

- for h < 10° in the evening hours,

$$R = 1{,}4 \cdot K_{glob} \cdot \left(2{,}764 \cdot h^{-0{,}694}\right) \cdot \left(1 - 0{,}1 \cdot a_c\right) \cdot Irc$$

- for h ≥ 10° and cloudiness of 0-20%,

$$R = 1{,}4 \cdot K_{glob} \cdot \left(0{,}04 + \frac{5{,}166}{h}\right) \cdot \left(1 - 0{,}1 \cdot a_c\right) \cdot Irc$$

- for h ≥ 10° and cloudiness of 21-80%,

$$R = 1{,}4 \cdot K_{glob} \cdot \left(0{,}0013 + 0{,}033 \cdot \ln h\right) \cdot \left(1 - 0{,}1 \cdot a_c\right) \cdot Irc$$

- for h ≥ 10° and cloudiness > 80% and

$$R = 1{,}4 \cdot K_{glob} \cdot e^{\left(-1{,}86 - \frac{12{,}702}{h}\right)} \cdot \left(1 - 0{,}1 \cdot a_c\right) \cdot Irc$$

- for h ≥ 10° and cloudiness of 21-80% as well as lack of direct solar radiation.

SolAlt model may be used when we have in our disposal data of an amount of cloud cover only. Then we can assess absorbed solar radiation by the following formulas:

http://rcin.org.pl

$$R = 1{,}4 \cdot (1{,}388 + 0{,}215 \cdot h)^2 \cdot (1 - 0{,}1 \cdot a_c) \cdot Irc$$

- for $h < 4°$,

$$R = 1{,}4 \cdot (-100{,}428 + 73{,}981 \cdot \ln h) \cdot (1 - 0{,}1 \cdot a_c) \cdot Irc$$

- for $h \geq 4°$ and cloudiness of 0-20%,

$$R = 1{,}4 \cdot e^{\left(5{,}383 - \frac{16{,}072}{h}\right)} \cdot (1 - 0{,}1 \cdot a_c) \cdot Irc$$

- for $h \geq 4°$ and cloudiness of 21-50%,

$$R = 1{,}4 \cdot e^{\left(5{,}012 - \frac{11{,}805}{h}\right)} \cdot (1 - 0{,}1 \cdot a_c) \cdot Irc$$

- for $h \geq 4°$ and cloudiness of 51-80% and

$$R = 1{,}4 \cdot 0{,}951 \cdot h^{1{,}039} \cdot (1 - 0{,}1 \cdot a_c) \cdot Irc$$

- for $h \geq 4°$ and cloudiness of 0-20% as well as lack of direct solar beams or for $h \geq 4°$ and cloudiness > 80%.

The accuracy of proposed models was verified during direct measurements of solar radiation absorbed by subjects. 6 volunteers healthy subjects within the age category of 16-46 years were taken under investigation (Tables 5-7). Absorbed solar radiation observed on subjects was compared with *R* values calculated with the use of **SolDir**, **SolGlob** and **SolAlt** models. Some previous models considered another analogue models of man (cylinder, ellipsoid) were taken into account as well: Budyko & Tsytsenko (1960), Breckenridge & Goldman (1971), Krys & Brown (1990) and Błażejczyk (1993, 1995). It was stated that the compatibility of measured and calculated *R* values occured at **SolDir** and **SolGlob** as well as Błażejczyk's models (mean differences of calculated and measured *R* values changed from -10,0 to +4,6 $W \cdot m^{-2}$, i.e. from -22,1 to +12,5% of measured values). Satisfied are also mean *R* values derived from **SolAlt** model. However *R* values calculated with the use of another models were considerably higher then measured ones; the mean differences reached +27 and even +38 $W \cdot m^{-2}$, i.e. 70-100% (Fig. 24, Table 8).

Preliminary results of investigations related to the influence of exposure to solar radiation on thermoregulatory and circulatory systems show the great importance of this climatic element in man. Regulation of body surface temperature was especially complicated during varying cloud cover. Temperature of skin reacted on sudden income or lack of solar beams in about 5-8 minutes. The changes of insolation had also direct impact on thermal sensations in subjects (Fig. 25).

Very important role in temperature regulation under sunny conditions plays colour of clothing. At white clothing heating of the body surface was lower then at black one (Fig. 9, 22). White clothing protects also man against high temperature fluctuations during sudden changes in income of direct radiation (Fig. 23).

http://rcin.org.pl

Very first results dealing with reactions of circulatory system on sun exposition show that both, heart rate and variations of blood pressure were higher under sunny conditions then under cloudy ones especially at walking subjects (in comparison to the standing ones, Fig.26, 27).

Absorption of solar radiation is influenced by regional (zonal and unzonal) geographical factors (e.g. latitude, air mass circulation etc.). Very typical are relatively small *R* values observed in subtropical regions during midday hours (Fig. 29). It is caused by high solar angle which results in reducing of effective body area receiving Sun Beams.

Local features of geographical environment influence absorbed solar radiation in man as well. *R* values depend mostly on differences in orography, land use and albedo of ground. Very typical for urban and forested areas are great periodical fluctuations in income of direct solar beams and consequently - in absorbed solar radiation (Fig. 32, 34). In the mountain regions very important role play three elements: great horizon shading into valleys (Fig. 30) as well as great midday cloudiness, provoked by air vapour condensation around high mount ridges (midday „cap" of clouds) and additional income of solar radiation reflected from the slopes (Fig. 31).

The investigations refereed have found answers for some questions. However there are still number of problems to study. Detail recognising of regional and local differentiation as well as influence of various types of atmospheric circulation on absorbed solar radiation should be the main problems investigated in the future. There are still open for discussion questions dealing with impacts of solar radiation on the functioning of thermoregulatory and circulatory systems of man as well on his water and mineral balances.

http://rcin.org.pl

Załącznik 1

Wzory do wyznaczania współczynnika osłabienia przepływu ciepła przez odzież

Współczynnik *Irc* określa stopień osłabienia przepływu radiacyjnego i konwekcyjnego strumienia ciepła przez odzież. Zależy on od współczynnika konwekcyjnego przenoszenia ciepła, temperatury powietrza oraz od izolacyjności termicznej odzieży.

Współczynnik *Irc* jest liczony wg następujących wzorów:

$$Irc = \frac{hc \cdot \left(\frac{0{,}53}{Icl_{eff}} \right)}{\left[\left(hc \cdot \frac{0{,}53}{Icl_{eff}} \right) + \left(hc \cdot \sqrt{v} \right) + \left(0{,}056 \cdot Ta + 4{,}48 \right) \right]}$$

gdzie: hc - współczynnik konwekcyjnego przenoszenia ciepła ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
Icl_{eff} - efektywna izolacyjność termiczna odzieży (clo)

$hc = 0{,}013 \cdot ap - 0{,}04 \cdot Ta - 0{,}503$,

$Icl_{eff} = Icl \cdot [1{,}0 - 0{,}27 \cdot (v + v')^{0{,}4}]$

ap - ciśnienie atmosferyczne (hPa),
Icl - podstawowa izolacyjność termiczna odzieży (clo),
v' - prędkość poruszania się człowieka ($m \cdot s^{-1}$).

http://rcin.org.pl

Podpisy pod fotografiami:

Fot. 1. Manekin (pokryty folią aluminiową) z zamontowanymi strumieniomierzami - widok z przodu
Mannequin (covered by aluminium foil) with attached heat flux sensors - frontal view

Fot. 2. Manekin (pokryty folią aluminiową) z zamontowanymi strumieniomierzami - widok z tyłu
Mannequin (covered by aluminium foil) with attached heat flux sensors - back view

Fot. 3. Obserwator z zamontowanymi strumieniomierzami, termometrami oraz czujnikami monitorującymi pracę serca
Subject with attached heat flux and skin temperature sensors as well as sensors monitoring heart action

Fot. 4. Obserwator w pełnym wyposażeniu, w odzieży o termoizolacyjności 0,5 clo, podłączony do rejestratorów suchej wymiany ciepła, temperatury ciała i pracy serca
Fully equipped subject, in clothing with insulation of 1 clo, connected to the loggers collected dry heat flux, body temperature and heart action

Fot. 5. Para obserwatorów, ubranych w odzież białą i czarną o termo-izolacyjności 0,5 clo, podczas ekspozycji dosłonecznej; w głębi manekin z nogami pokrytymi tkaniną białą i czarną; za manekinem widoczny maszt z czujnikami promieniowania, temperatury powietrza i prędkości wiatru
Pair of subjects during sunny exposition wearing black and white clothing with insulation of 0.5 clo; in the background is a mannequin with legs covered by black and white fabrics; behind the mannequin is meteorological post measuring solar radiation, air temperature and wind speed

Fot. 6. Grupa obserwatorów przed wyruszeniem na pomiary prowadzone w trakcie marszu (w odzieży o termoizolacyjności 1 clo), sierpień 1997, Tatry, Hala Gąsienicowa
Group of subjects before start to „walking" measurements (in clothing of insulation 1 clo), August 1997, Tatry Mts., Hala Gąsienicowa

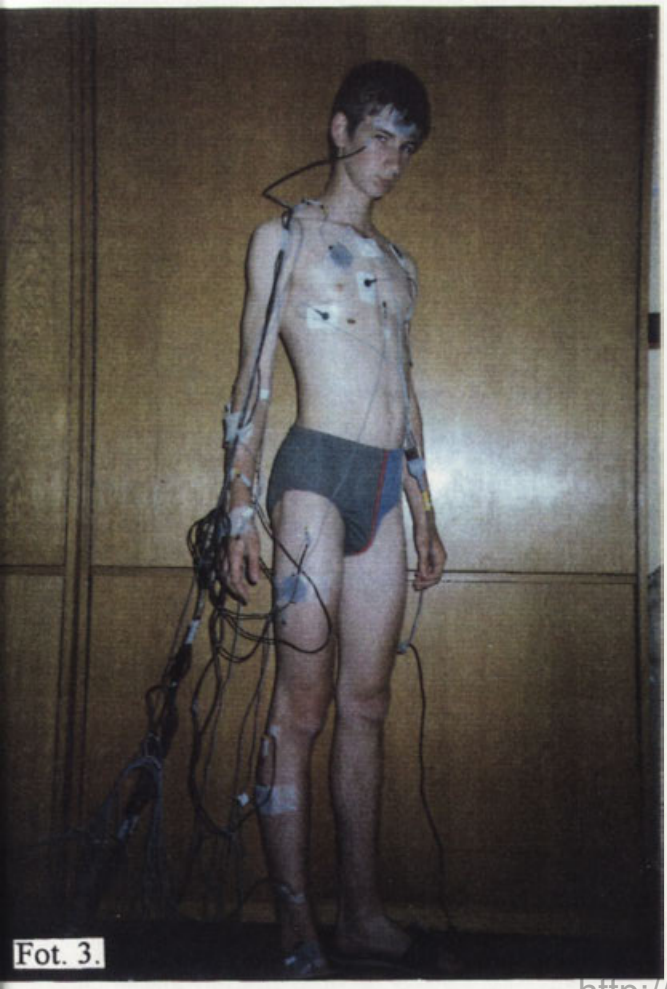
Fot. 7. Widok ze stacji meteorologicznej na Hali Gąsienicowej w kierunku Czarnego Stawu i Kozich Wierchów (przykład doliny wąskiej o skalistych zboczach); na pierwszym tle ogródek meteorologiczny; w rejonie Zmarzłego Stawu i Kościelca widoczna ławica chmur, hamująca dopływ promieniowania słonecznego do powierzchni terenu
View from Hala Gąsienicowa to the south for Czarny Staw and Kozie Wierchy ridge (an example of narrow valley with rocky slopes); at the front meteorological station is seen; clouds in the background - over Zmarzły Staw and Kościelec Mt. - reduce income of solar radiation to the ground

Fot. 8. Widok ze stacji meteorologicznej na Hali Gąsienicowej w kierunku Beskidu i przełęczy Lilowe (przykład doliny szerokiej o trawiastych zboczach); nad grzbietem Beskidu widoczna „czapa" chmur konwekcyjnych
View from Hala Gąsienicowa to the south for Beskid Mt. and Liliowe incline (an example of wide valley with grass slopes); over Beskid ridge a „cap" of cumulus clouds is seen

http://rcin.org.pl

Fot. 1.

Fot. 2.



Fot. 3.

Fot. 4.

http://rcin.org.pl

Fot. 5.

Fot. 6.

Fot. 7.

Fot. 8.

rcin.org.pl

Informacje dla autorów i czytelników

„Zeszyty IGiPZ PAN" ukazują się w standardowym nakładzie 100 egzemplarzy (w tym 10 autorskich).

Sprzedaż publikacji IGiPZ PAN prowadzą księgarnie:
- ORWN-BIS, ul.Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, tel. 69 78 835, czynna od poniedziałku do piątku w godz. od 10 do 18.

- ORWN, Pałac Kultury i Nauki, Warszawa.

Wymagania techniczne stawiane pracom składanym do druku w serii „Zeszyty IGiPZ PAN"

Tekst i tabele należy przygotować na dyskietce (3,5" Microdisks) w programie WORD 7.0 lub 6.0, podpisy pod ryciny w języku polskim i angielskim powinny być umieszczone w oddzielnym pliku, ryciny (opracowane komputerowo lub na kalce) w postaci czystorysów gotowych do druku.
Do każdej pracy w języku polskim należy dołączyć streszczenie angielskie (1-2 strony) oraz abstrakt (3 - 4 zdania) i słowa kluczowe (3 - 4), również w języku angielskim.

http://rcin.org.pl

1996

37. ANNA BEATA ADAMCZYK - **Charakterystyka wiatrów silnych i bardzo silnych w Polsce**;
JAROSŁAW BARANOWSKI - **Wielkość zachmurzenia w Warszawie w zależności od cyrkulacji atmosferycznej**.

38. HALINA POWĘSKA, TOMASZ KOMORNICKI - **Przejścia graniczne: Kostrzyn, Słubice, Świecko, Gubin - podstawowe funkcje i strefa oddziaływania na terenie Polski i Niemiec**;
JOANNA PAPIS, TOMASZ KOMORNICKI - **Miasto Duszniki Zdrój jako gmina przygraniczna**.

39. LESZEK KOLENDOWICZ - **Burze na obszarze Polski Północno-Zachodniej w świetle częstości występowania różnych typów cyrkulacji atmosfery.**

40. ROMAN SZCZĘSNY - **Rolnictwo i gospodarka żywnościowa w okresie restrukturyzacji 1989-1994.**

41. PIOTR KORCELLI (red.) - **Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: I.**

42. PIOTR KORCELLI (red.) - **Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: II.**

1997

43. PIOTR KORCELLI (red.) - **Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: III.**

44. PIOTR KORCELLI (red.) - **Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: IV.**

45. PIOTR KORCELLI (red.) - **Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: V.**

46. PIOTR KORCELLI (red.) - **Aglomeracje miejskie w procesie transformacji: VI.**

47. PIOTR EBERHARDT - **Problematyka narodowościowa Estonii.**

48. WŁODZIMIERZ ZGLIŃSKI - **Przekształcenia państwowego rolnictwa - skutki społeczne, ekonomiczne i przestrzenne.**

49. BOŻENNA GRABIŃSKA - **Geografia plazów na tle świata.**
Regionalizacja zoogeograficzna kręgowców Europy.
Powierzchnia jednostki a bogactwo taksonomiczne ssaków.

50. ROMAN SZCZĘSNY - **Struktura przestrzenna rolnictwa Polski w 1995 roku.**

http://rcin.org.pl

http://rcin.org.pl

PL - ISSN 0867-6836
WYDAWNICTWA IGiPZ PAN, WARSZAWA

http://rcin.org.pl