Loughborough University

This item was submitted to Loughborough's Research Repository by the author.
Items in Figshare are protected by copyright, with all rights reserved, unless otherwise indicated.

Nowy wskaznik oceny warunkow klimatoterapii uzdrowiskowej (UTCI) [New index to evaluate climate for climatotherapy (UTCI)]

PLEASE CITE THE PUBLISHED VERSION

PUBLISHER

© Medi Press

VERSION

VoR (Version of Record)

LICENCE

CC BY-NC-ND 4.0

REPOSITORY RECORD

Blazejczyk, Krzysztof, Peter Broede, Dusan Fiala, George Havenith, Ingvar Holmer, Gerd Jendritzky, Bernhardt Kampmann, and A. Kunert. 2019. “Nowy Wskaznik Oceny Warunkow Klimatoterapii Uzdrowiskowej (UTCI) [new Index to Evaluate Climate for Climatotherapy (UTCI)]”. figshare. https://hdl.handle.net/2134/6474.

Loughborough University

This item was submitted to Loughborough's Institutional Repository (https://dspace.lboro.ac.uk/) by the author and is made available under the following Creative Commons Licence conditions.

creative commons

COMMONS DEED

Attribution-NonCommercial-NoDerivs 2.5

You are free:

- to copy, distribute, display, and perform the work

Under the following conditions:



Attribution. You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor.



Noncommercial. You may not use this work for commercial purposes.



No Derivative Works. You may not alter, transform, or build upon this work.

- For any reuse or distribution, you must make clear to others the license terms of this work.
- Any of these conditions can be waived if you get permission from the copyright holder.

Your fair use and other rights are in no way affected by the above.

This is a human-readable summary of the Legal Code (the full license).

Disclaimer

For the full text of this licence, please go to:
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/

Balneologia Polska
Polish Journal of Balneology
t. LI, Nr 4 (118) / 2009, s. 313-321
ISSN 0005-4402

Nowy wskaźnik oceny warunków klimatoterapii uzdrowiskowej (*UTCI*)

New index to evaluate climate for climatotherapy (*UTCI*)

Новый биоклимтический показатель условий климатотерапий в курортах (УТЦИ)

Prof. dr hab. Krzysztof Błażejczyk,
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa, dyr. Prof. P. Korcelli
Dr Peter Broede,
Leibniz Research Centre for Working Environment and Human Factors, Dortmund, Germany dyr. Prof. B. Griefahn
Dr Dusan Fiala
University of Stuttgart, Germany, dyr. Prof. P. Schürmannn
Prof. George Havenith,
Loughborough University, UK, dyr. Prof R. Haslam
Prof. Ingvar Holmér
Lund Technical University, Sweden, dyr. Prof. G. Johanson
Prof. Gerd Jendritzky
University of Freiburg, Germany, dyr. Prof H. Mayer
Dr Bernhardt Kampmann
University of Wuppertal, Germany, dyr. Prof. F. Hofmann
Mgr Anna Kunert
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa, dyr. Prof. Piotr Korcelli

Abstrakt:
W ciągu ostatnich stu lat powstało kilkadziesiąt różnych wskaźników oceniających oddziaływanie środowiska atmosferycznego na człowieka. Większość z nich nie ma jednak bezpośredniego odniesienia do reakcji fizjologicznych zachodzących w organizmie pod wpływem warunków termicznych otoczenia. W latach 90. ubiegłego wieku powstały tzw. wielowęzłowe (multi node) modele bilansu cieplnego człowieka, które opisują wszystkie mechanizmy gospodarki cieplnej organizmu. Na bazie jednego z tych modeli powstał nowy wskaźnik termiczny oceniający obciążenia cieplne człowieka (*UTCI* – Universal Thermal Climate Index). Artykuł przedstawia założenia i podstawy interpretacji wskaźnika oraz próbę jego wykorzystania do oceny warunków klimatoterapii uzdrowiskowej.

Summary

During the last century about 100 indices were developed to assess influences of the atmosphere on human being. However, most of them have not close relationships with physiological reactions in man. The last years bring new generation of models, co called multi node models that consider all mechanism of thermoregulation. The new *UTCI* index represents air temperature of the reference condition with the same physiological response as the actual condition. The index base on Fiala model that is one of the most advanced multi-node thermophysiological models and include the capability to predict both whole body thermal effects (hypothermia and hyperthermia; heat and cold discomfort), and local effects (facial, hands and feet cooling and frostbite). The assessment scale of *UTCI* base on the intensity of objective physiological reactions to environmental heat stress in wide range of weather and climates. The index can be applicable in various research dealing with: bioclimatological assessments, bioclimatic mapping in all scales (from micro to macro), urban design, engineering of outdoor spaces, consultancy for where to live, outdoor recreation and climatotherapy, epidemiology and climate impact research.

Содержание

В течение последних 100 лет много биоклиматических показателей было разработаных. К сажалению не имеют они отношения к физиологическим процесам человека. Новый показатель УТЦИ (Универсальный Термический Показатель Климата) репрезентует температуру при которой физиологические процесы имеют такое самое насиление как в реальных условиях. Для вычисления физиологических папаметров комплексный модель Фиали теплового баланса человека был принят. УТЦИ можна использовать в многих задачях. В етой работеУТЦИ был принят для оценки условий курортной климатотерапий.

Słowa kluczowe: wskaźniki bioklimatyczne, bilans cieplny człowieka, obciążenia cieplne, *UTCI*
Key words: bioclimatic indices, human heat balance, heat stress, *UTCI*

Wprowadzenie

W badaniach bioklimatycznych, do oceny oddziaływania środowiska atmosferycznego na człowieka stosowane są przyrządy (analogi ciała człowieka), na których wskazania wpływałyby różne elementy pogody, oraz wskaźniki kompleksowe, w skład których wchodzą wartości różnych elementów meteorologicznych.

Przy konstruowaniu przyrządów mających służyć ocenie oddziaływania kilku czynników meteorologicznych na organizm człowieka zakłada się, że powierzchnia przyrządu podlega takim samym procesom wymiany ciepła jak powierzchnia ciała człowieka. Ciało człowieka bywało odwzorowywane jako walec (katatermometr, miernik odczuć cieplnych), kula (frygorymetr i frygorygraf, termometr kulisty), elipsoida obrotowa (miernik komfortu

cieplnego). Analogi ciała człowieka przyjmowały także formę manekinów cieplnych, tzw. „coper man" [1, 2].

W przypadku kompleksowych wskaźników biometeorologicznych poszczególnym ich wartościom wskaźników przypisywane są subiektywne odczucia cieplne ludzi [1, 3, 4, 5, 6, 2]. Należy pamiętać, że część wskaźników może być stosowana tylko w szczególnych warunkach otoczenia. W badaniach bioklimatycznych odnoszących się do uzdrowisk najczęściej stosowane są takie wskaźniki jak: temperatura efektywna (Missenarda) i wielkość ochładzająca powietrza,

Od lat 60. ubiegłego wieku rozwijają się badania bilansu cieplnego człowieka, a każdy z istniejących prostych modeli proponuje wskaźniki oceny warunków termicznych [1]. W modelach tych: MEMI [7], Klima-Michel-Model [8], MENEX_2005 [9] rozważa się jedynie organizm traktuje się jaka jedną całość, bez uwzględniania jego złożonej budowy anatomicznej. Modele te wprowadziły nową jakość do badań bioklimatycznych, odnoszą się bowiem do rzeczywistych reakcji fizjologicznych organizmu na bodźce atmosferyczne, a niektóre z nich uwzględniają także indywidualne cechy osobnicze i procesy adaptacyjne do warunków otoczenia. W dotychczasowych badaniach uzdrowiskowych prowadzonych w IGiPZ PAN stosowane są wskaźniki wywodzące się z modelu MENEX_2005.

Kolejnym krokiem w kierunku pełnego uwzględnienia wszystkich procesów i mechanizmów gospodarki cieplnej organizmu są tzw. modele wielowęzłowe bilansu cieplnego. Uwzględniają one przepływy ciepła pomiędzy wnętrzem organizmu i jego poszczególnymi warstwami (kostną, mięśniową, tłuszczową, podskórną, skórną) oraz pomiędzy powierzchnią ciała i otoczeniem. Przy ich pomocy można ilościowo określić natężenie poszczególnych procesów termoregulacyjnych w odmiennych stanach środowiska oraz wskazać takie stany atmosfery, które zagrażają zdrowiu lub życiu człowieka [10, 11, 12, 13, 14].

Celem obecnego opracowania jest przedstawienie założeń i podstaw metodycznych nowego wskaźnika oceny warunków bioklimatycznych, *UTCI* (Universal Thermal Climate Index) oraz próby jego zastosowania do oceny warunków klimatoterapii w uzdrowiskach Kołobrzeg i Szczawno-Zdrój. Wskaźnik powstał we współpracy międzynarodowej realizowanej w ramach tzw. Akcji COST 730, w latach 2005-2009.

Metoda

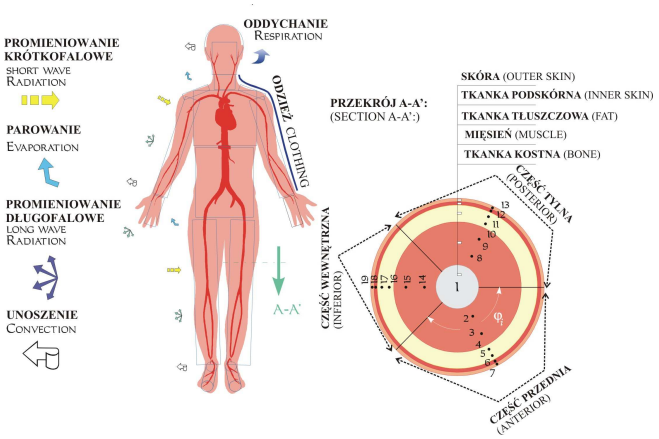
Na kongresie Międzynarodowego Stowarzyszenia Biometeorologii w Sydney, w listopadzie 1999 r. powstała grupa badawcza mająca na celu stworzenie nowego, uniwersalnego wskaźnika oceny warunków bioklimatycznych. Przyjęto, że wskaźnik ten powinien dać informacje o procesach termofizjologicznych w pełnym zakresie możliwych warunków środowiskowych (z uwzględnieniem sezonowości klimatu) i we wszystkich skalach

przestrzennych z możliwością zastosowania w najważniejszych aplikacjach z zakresu bioklimatologii człowieka, w tym także w odniesieniu do klimatoterapii. Uznano, że wskaźnik powinien opierać się na najnowszej generacji modeli bilansu cieplnego człowieka i mieć wymiar termiczny.

Kolejnym, ważnym krokiem było powstanie interdyscyplinarnego zespołu badawczego w ramach europejskiego programu COST (Współpraca w Dziedzinie Nauki i Rozwoju Technologicznego). Po kilkuletniej, intensywnej pracy w najlepszych ośrodkach naukowych Europy oraz po licznych walidacjach udało się stworzyć nowy wskaźnik *UTCI*, który pozwala na określenie obciążeń cieplnych organizmu w różnych warunkach termicznych otoczenia.

Fizjologiczne podstawy wskaźnika *UTCI*

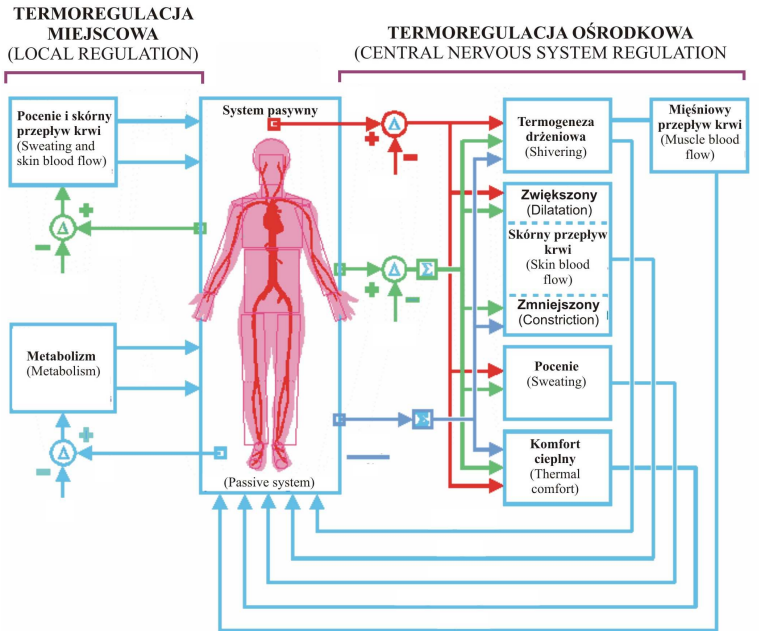
Wskaźnik opiera się na analizie bilansu cieplnego człowieka, dokonywanej przy zastosowaniu wielowęzłowego modelu wymiany ciepła Fiali [11]. Model Fiali składa się z dwóch podsystemów regulacji wymiany ciepła: pasywnego i aktywnego. Składowymi podsystemu pasywnego są krążenie krwi oraz wymiana ciepła wewnątrz organizmu i z otoczeniem (ryc. 1). Model rozpatruje przepływy ciepła w obrębie 19 różnych części ciała, a każda z tych części jest dodatkowo podzielona na 5 warstw (kość, mięsień, tkanka tłuszczowa i podskórna oraz skóra) i dwa-trzy segmenty (przedni, tylny i wewnętrzny). Każda z tych części ciała, warstwa i segment są reprezentowane przez jeden węzeł. Łącznie algorytmy opisują przepływy ciepła pomiędzy ponad trzystoma węzłami.



Ryc. 1. Podsystem pasywny modelu Fiali; 1-19 –numery węzłów wymiany ciepła w obrębie uda
Passive sub-system of Fiala model; 1-19 – numbers of nodes at thigh cross section

Podsystem aktywny uwzględnia fizjologiczne mechanizmy termoregulacji i obejmuje: skórę z rozmieszczonymi w niej gruczołami potowymi oraz receptorami ciepła i zimna, system nerwowy przesyłający sygnały z termoreceptorów do mózgu, podwzgórze, czyli centralny ośrodek termoregulacji w mózgu, reakcje termoregulacyjne stymulowane przez podwzgórze, a mające na celu zachowanie komfortu cieplnego. Model uwzględnia aktywne, fizjologiczne

procesy termoregulacji zmieniające wielkość strumieni ciepła, takie jak: wydzielanie potu, produkcję ciepła w wyniku tzw. termogenezy drżeniowej, zmiany w tempie skórnego przepływu krwi (ryc. 2). Dodatkową cechą modelu Fiali jest dynamiczne analizowanie składników bilansu cieplnego w dowolnym czasie.



Ryc. 2. Podsystem aktywny modelu bilansu cieplnego człowieka Fiali
Active sub-system of Fiala model

Danymi wejściowymi do modelu są informacje meteorologiczne (temperatura powietrza, ciśnienie pary wodnej, prędkość wiatru oraz tzw. średnia temperatura promieniowania) oraz fizjologiczne (metaboliczna produkcja ciepła, albedo powierzchni ciała i odzieży, współczynnik emisyjności ciała i odzieży, izolacyjność termiczna i ewaporacyjna odzieży). Model dostarcza informacji o wielkości poszczególnych fizjologicznych parametrów organizmu (uwilgotnienie skóry, wydzielanie potu, skórny przepływ krwi, termogeneza drżeniowa, temperatura wewnętrzna, temperatura skóry w różnych częściach ciała) oraz strumieni ciepła. Informacje te są szczególnie ważne w odniesieniu do efektywności zabiegów klimatoterapeutycznych w uzdrowiskach. Chodzi w nich przecież o to, aby w pełni wykorzystać walory klimatyczne do usprawnienia pracy systemu krążenia i termoregulacyjnego oraz układu oddechowego, bez narażania organizmu na niebezpieczne dla zdrowia przeciążenia.

Koncepcja wskaźnika

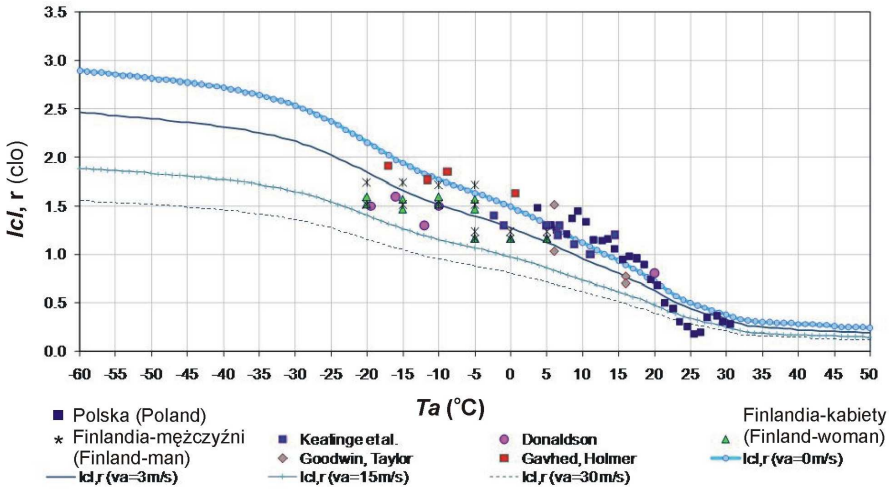
Wskaźnik *UTCI* jest definiowany jako ekwiwalentna temperatura powietrza, przy której w warunkach referencyjnych podstawowe parametry fizjologiczne organizmu przyjmują takie same wartości jak w warunkach rzeczywistych. Mówiąc inaczej zakłada się, że wymiana ciepła między człowiekiem a otoczeniem zależy tylko od temperatury powietrza (t), przy stałym

poziomie pozostałych parametrów meteorologicznych. Aby określić taką właśnie temperaturę powietrza należy w pierwszej kolejności obliczyć bilans cieplny człowieka w warunkach rzeczywistych. Następnie przyjmując warunki referencyjne należy metodą kolejnych przybliżeń znaleźć taką temperaturę powietrza, przy której parametry fizjologiczne przyjmą takie same wartości jak w warunkach rzeczywistych. Jako referencyjne warunki meteorologiczne przyjęto:

- średnią temperaturę promieniowania (*Tmrt*) równą temperaturze powietrza (brak promieniowania słonecznego i cieplnego),
- prędkość wiatru (*v*) na wysokości 10 m nad gruntem równą 0,5 m/s,
- względną prędkość ruchu powietrza (*v'*) związaną z poruszaniem się równą 1,1 m/s,
- ciśnienie pary wodnej (*vp*) odpowiadające 50% wilgotności względnej (przy temperaturze <29ºC) i równą 20 hPa przy temperaturze wyższej od 29ºC.

Przyjęto także stałe parametry fizjologiczne:

- metaboliczną produkcję ciepła (*M*) równą 135 W/m^2 (co odpowiada marszowi z prędkością 4 km/godz),
- izolacyjność termiczną odzieży (*Icl*) proporcjonalną do rzeczywistych warunków termicznych (ryc. 3).



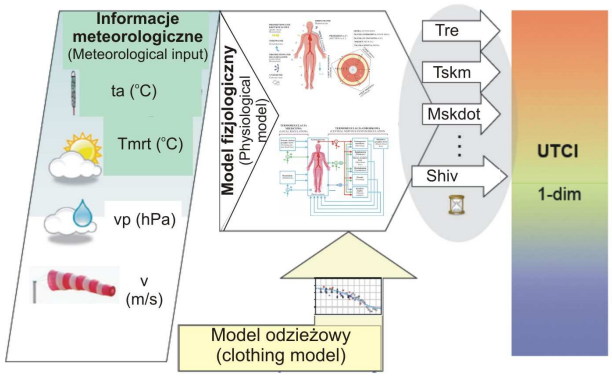
Ryc. 3. Izolacyjność termiczna odzieży według różnych badań oraz według przyjętego modelu jako funkcja temperatury otoczenia
Thermal insulation of clothing as a function of ambient temperature due to different authors

Przyjęto 7 różnych parametrów fizjologicznych, istotnych dla prawidłowego funkcjonowania gospodarki cieplnej organizmu, dla których poszukiwano ekwiwalentnej temperatury *UTCI*. Poziom każdego z tych parametrów rozpatrywano po krótkiej (30 minut) i długiej (120 min) ekspozycji (tab. 1).

Tabela 1. Parametry fizjologiczne uwzględnione w tworzeniu wskaźnika *UTCI*

L.p.	Parametr fizjologiczny	Symbol	Wymiar
1.	Temperatura rektalna	*Tre*	ºC
2.	Średnia temperatura skóry	*Tskm*	ºC
3.	Temperatura skóry twarzy	*Tskfc*	ºC
4.	Wydzielanie potu	*Mskdot*	g/min
5.	Ciepło wytworzone w termogenezie drżeniowej	*Shiv*	W
6.	Uwilgotnienie skóry	*WettA*	% powierzchni ciała
7.	Skórny przepływ krwi	*VblSk*	% wartości podstawowej

Istotną cechą wskaźnika *UTCI* jest zastąpienie wielowymiarowych informacji wejściowych (*t*, *Tmrt*, *vp*, *v*, *v'*, *M*) i wyjściowych (*Tre*, *Tskm*, *Tskfc*, *Mskdot*, *Shiv*, *WettA*, *VblSk*) modelu Fiali jednowymiarową wartością (wyrażoną w stopniach Celsjusza), która zawiera podobny ładunek informacji o procesach fizjologicznych istotnych z punktu widzenia funkcjonowania organizmu człowieka w zmieniających się warunkach termicznych (ryc. 4).



Ryc. 4. Koncepcja przejścia od wielowymiarowego pola informacji meteorologiczno-fizjologicznej do jednowymiarowego wskaźnika *UTCI*; *ta* – temperatura powietrza, *Tmrt* – średnia temperatura promieniowania, *vp* – ciśnienie pary wodnej, *v* – prędkość wiatru
Concept of transient from multi-dimensional meteorological and physiological information to one-dimensional *UTCI*; *ta* – air temperature, *Tmrt* – mean radiant temperature, *vp* – vapour pressure, *v* – wind speed

Procedura liczenia *UTCI*

Pełny sposób wyznaczenia wartości *UTCI* polega na wielokrotnym obliczaniu bilansu cieplnego człowieka. Jest to procedura bardzo czasochłonna, szczególnie w przypadku dużych zbiorów danych meteorologicznych. Dlatego też zdecydowano się na stworzenie modelu regresyjnego pozwalającego na szybkie określenie wartości *UTCI* w stosunkowo krótkim czasie i z dostatecznie dużą dokładnością. Wykorzystano w tym funkcję wykładniczą 6 stopnia:

$$UTCI = f(t, vp, v, dTmrt)$$

gdzie: *t* – temperatura powietrza (ºC), *vp* – ciśnienie pary wodnej (hPa), *v* – prędkość wiatru na wysokości 10 m nad gruntem, d*Tmrt* – różnica pomiędzy średnią temperaturą promieniowania a temperaturą powietrza (ºC).

Samo równanie regresji składa się z 211 członów. Przygotowano prosty w obsłudze program działający w środowisku DOS oraz arkusz kalkulacyjny EXCEL dla środowiska WINDOWS. Ważnym etapem obliczania *UTCI* jest przygotowanie odpowiednich danych wejściowych. O ile przygotowanie zmiennych meteorologicznych: temperatury powietrza, ciśnienia pary wodnej oraz prędkości wiatru nie wymaga specjalnego komentarza, o tyle nieco uwagi należy poświęcić zmiennej nazywanej „średnia temperatura promieniowania" (*Tmrt*). *Tmrt* oznacza temperaturę cienkiej warstwy powietrza otaczającej ciało człowieka. Kształtuje się ona pod wpływem strumieni promieniowania słonecznego (*K*) i długofalowego (*L*) docierającego do człowieka. Mówiąc inaczej, średnia temperatura promieniowania jest termicznym wymiarem pola promieniowania otaczającego ciało człowieka. *Tmrt* można określić jako funkcję:

$Tmrt = f(K, L)$

W praktyce pomiarów meteorologicznych pomiary strumieni promieniowania słonecznego i długofalowego należą do rzadkości. Do wyznaczenia wartości *Tmrt* należy zatem stosować niekiedy metody pośrednie szacowania strumieni promieniowania. Można do tego wykorzystać procedury opracowane przez Niemieckie Stowarzyszenie Inżynierów (VDI 1994) lub procedury zaimplementowane w programie BioKlima© v.2.5. Obliczenie *Tmrt* według procedur VDI jest możliwe za pomocą programu Rayman (Matzarakis, Rutz 2005). Program BioKlima jest dostępny na stronie www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/bioklima.htm.

Skala oceny *UTCI*

Jednym z podstawowych zadań *UTCI* jest możliwość dokonania zobiektywizowanej oceny warunków bioklimatycznych. Większość dotychczas stosowanych wskaźników była stosowana do oceny tzw. odczuć cieplnych człowieka. W przypadku *UTCI* skalę oceny postanowiono oprzeć nie na subiektywnych odczuciach cieplnych (procesy aklimatyzacyjne do odmiennych warunków klimatycznych i indywidualne cechy osobnicze sprawiają, że te same wartości parametrów meteorologicznych są w różnych populacjach oceniane odmiennie) lecz na obiektywnych zmianach parametrów fizjologicznych organizmu, zachodzących pod wpływem warunków środowiskowych. Wartości wskaźnika *UTCI* są zatem miarą obciążeń cieplnych organizmu (tab. 2).

Poszczególne progi *UTCI* są wyznaczone na podstawie istotnych zmian parametrów fizjologicznych. W zakresie warunków ciepła najistotniejszy jest poziom temperatury skóry i temperatury wewnętrznej oraz tempo wydzielania potu. W warunkach zimna najważniejszymi

parametrami fizjologicznymi są zmiany temperatury ciała, zwłaszcza dłoni i twarzy, oraz proces termogenezy drżeniowej (tab. 3).

Tabela 2. Skala oceny obciążeń cieplnych organizmu według wskaźnika *UTCI*

UTCI (°C)	Obciążenie cieplne (stress category)	Sposób przeciwdziałania (possible protection)
> +46	Nieznośny stres ciepła (extreme heat stress)	Niezbędne okresowe schładzanie organizmu, konieczne uzupełnianie płynów > 0,5 l/godz. Należy unikać dużego wysiłku fizycznego.
+38 do +46	Bardzo silny stres ciepła (very strong heat stress)	Konieczne okresowe korzystanie z pomieszczeń klimatyzowanych l/lub miejsc zacienionych, niezbędne uzupełnianie płynów > 0,5 l/godz. Należy ograniczyć wysiłek fizyczny.
+32 do +38	Silny stres ciepła (strong heat stress)	Niezbędne uzupełnianie płynów 0,25 l/godz., pożądane korzystanie z miejsc zacienionych i okresowe zmniejszanie wysiłku fizycznego.
+26 do +32	Umiarkowany stres ciepła (moderate heat stress)	Niezbędne uzupełnianie płynów 0,25 l/godz.
+9 do +26	Brak obciążeń cieplnych (no thermal stress)	Fizjologiczne procesy termoregulacji są wystarczające do zachowania komfortu cieplnego.
0 do +9	Łagodny stres zimna (slight cold stress)	Pożądane używanie rękawiczek i nakrycia głowy.
-13 do 0	Umiarkowany stres zimna (moderate cold stress)	Należy zwiększyć wysiłek fizyczny oraz chronić kończyny i twarz przed wychłodzeniem.
-27 do -13	Silny stres zimna (strong cold stress)	Należy zwiększyć wysiłek fizyczny oraz chronić kończyny i twarz przed wychłodzeniem. Pożądane zwiększenie termoizolacyjności odzieży.
-40 do -27	Bardzo silny stres zimna (very strong cold stress)	Należy zwiększyć wysiłek fizyczny oraz chronić kończyny i twarz przed wychłodzeniem. Niezbędne zwiększenie termoizolacyjności odzieży i ograniczenie czasu przebywania w terenie otwartym.
< -40	Nieznośny stres zimna (extreme cold stress)	Czas przebywania ograniczyć do niezbędnego minimum. Niezbędne zwiększenie termoizolacyjności i wiatrochronności odzieży

Wyniki

Próba oceny warunków klimatoterapii w uzdrowiskach

Celem klimatoterapii uzdrowiskowej jest wspomaganie procesu leczenia poprzez usprawnienie podstawowych procesów fizjologicznych, zwłaszcza w odniesieniu do układów: krążenia, termoregulacji i oddechowego. Aby ten cel osiągnąć należy racjonalnie dozować zabiegi klimatoterapeutyczne (kąpiele słoneczne i powietrzne, terapia ruchowa). Stopniowe nasilanie pewnych bodźców pozwala na swoiste „wytrenowanie" organizmu, który dzięki temu łatwiej radzi sobie w obciążających warunkach pogodowych. Racjonalne dozowanie

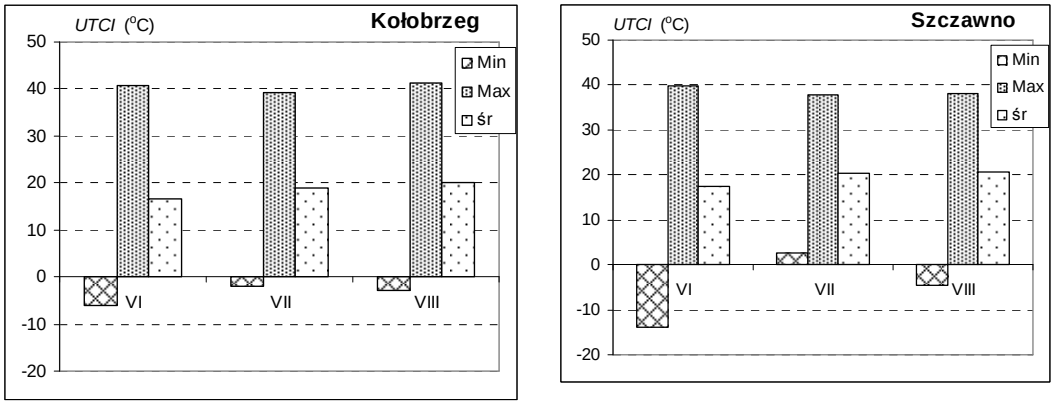
klimatoterapii pozwala także na uniknięcie bodźców zbyt silnych , mogących nadmiernie obciążyć organizm.

Tabela 3. Krytyczne poziomy reakcji fizjologicznych organizmu obserwowane przy różnych wartościach *UTCI*

UTCI (°C)	Reakcje fizjologiczne (Physiological criterion)
48	Zwiększenie tempa wzrostu temperatury rektalnej. Stopniowa utrata zdolności oddawania ciepła do otoczenia.
46	Wzrastające wydzielanie potu do > 650 g/godz.
40	Zmniejszenie w ciągu 30 min gradientu temperatury pomiędzy wnętrzem i powierzchnią ciała do < 1ºC.
38	Wzrost temperatury rektalnej po 30 min ekspozycji.
36	Dynamiczne odczucie cieplne po 2 godz. “bardzo gorąco”.
33	Średnie wydzielanie potu > 200 g/godz. Wzrost temperatury rektalnej po 2 godz. ekspozycji.
32	Straty ciepła na parowanie po 30 min > 40 W. Stopniowy wzrost temperatury skóry.
30	Zmiana w tempie wzrostu wydzielania potu, temperatury skóry, temperatury rektalnej, oraz temperatury twarzy i dłoni. Pojawienie się pocenia po 30 min ekspozycji. Stopniowy wzrost uwilgotnienia skóry.
26	Średnie wydzielanie potu > 100 g/godz. Dynamiczne odczucie ciepła „ciepło”.
18	Dynamiczne odczucie ciepła „komfortowo”. Straty ciepła na parowanie średnio >40 W.
14	Brak zmian temperatury rektalnej w czasie 2 godzinnej ekspozycji.
13	Dynamiczne odczucie ciepła po 2 godz. ekspozycji „komfortowo”.
12	Straty ciepła na parowanie > 40 W po 2 godz. ekspozycji.
9	Dynamiczne odczucie ciepła po 2 godz. ekspozycji „zimno”. Lokalne obniżenie temperatury dłoni (należy włożyć rękawiczki).
8	Zmiana w tempie spadku średniej temperatury skóry.
0	Dynamiczne odczucie ciepła po 2 godz. ekspozycji „bardzo zimno”. Zmniejszenie tempa skórnego przepływu krwi.
-2	Temperatura twarzy po 2 godz. ekspozycji < 15°C (uczucie bólu).
-10	Znaczny spadek temperatury dłoni. Rozpoczyna się spadek temperatury rektalnej.
-13	Temperatura twarzy po 30 min ekspozycji < 15°C (uczucie bólu). Spadek średniej temperatury skóry podczas 2 godz. ekspozycji o 2ºC.
-14	Temperatura twarzy po 2 godz. ekspozycji < 7°C (drętwienie).
-20	Średnia temperatura twarzy < 7°C (drętwienie).
-22	Spadek temperatury rektalnej o 0,1ºC/godz.
-26	Zwiększenie gradientu temperatury pomiędzy wnętrzem i powierzchnią ciała.
-27	Temperatura twarzy po 2 godz. ekspozycji < 0°C (ryzyko odmrożenia).
-30	Wzrost tempa obniżania się temperatury rektalnej.
-32	Temperatura twarzy po 30 min < 7°C (drętwienie).
-32	Początek termogenezy drżeniowej.
-33	Spadek temperatury rektalnej o 0,2ºC/godz.
-35	Temperatura twarzy po 2 godz. ekspozycji < -5°C (duże ryzyko odmrożenia).
-40	Spadek temperatury rektalnej o 0,3ºC/godz.
-48	Temperatura twarzy po 30 min < 0°C (ryzyko odmrożenia).

Ogromną pomocą w racjonalnym wykorzystaniu bodźców klimatycznych są informacje zawarte we wskaźniku *UTCI*. Tytułem przykładu obliczono wartości *UTCI* dla dwóch uzdrowisk: Kołobrzega i Szczawna-Zdroju, dla miesięcy letnich okresu 1971-2000. Wartości średnie wskaźnika mieszczą się w przedziale oznaczającym brak obciążeń cieplnych. Jednakże wartości skrajne *UTCI* w poszczególnych miesiącach mówią, że w badanych uzdrowiskach obciążenia cieplne mogą zmieniać się od umiarkowanego stresu zimna do bardzo silnego stresu ciepła (ryc. 5). W pierwszym ze skrajnych przypadków należy się liczyć z osłabieniem skórnego przepływu krwi, obniżeniem temperatury twarzy po 2 godz. ekspozycji do wartości < 15°C i pojawienia się w związku z tym uczucie bólu, znacznie obniża się też temperatura skóry dłoni oraz może się obniżyć temperatura rektalna (która jest wskaźnikiem temperatury wewnętrznej). Należy w takich warunkach zwiększyć wysiłek fizyczny oraz chronić kończyny i twarz przed wychłodzeniem.

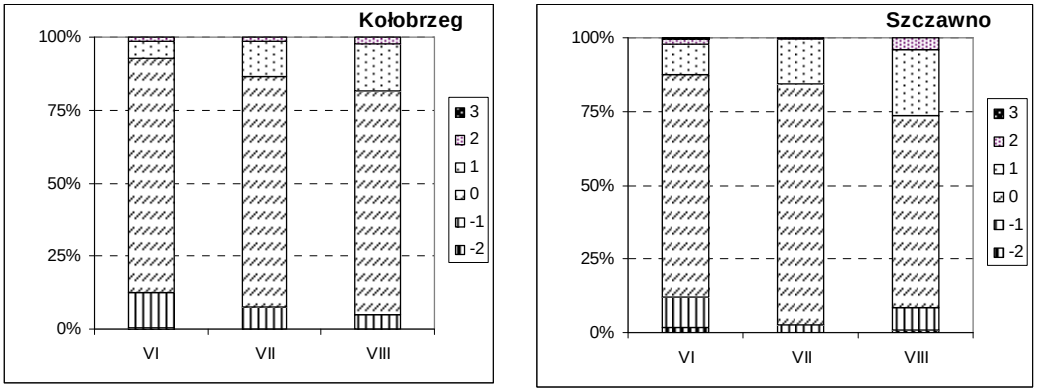
W drugiej sytuacji ekstremalnej obserwuje się znaczący wzrost temperatury wewnętrznej już po 30 minutach lekkiego wysiłku (co wiąże się z osłabieniem tempa odprowadzenia ciepła z wnętrza organizmu do tkanki skórnej), przy jednoczesnym intensywnym wydzielaniu potu w ilości około 500 gramów w ciągu godziny. Aby się zabezpieczyć przed negatywnymi skutkami należy okresowo korzystać z pomieszczeń klimatyzowanych lub z miejsc zacienionych i uzupełniać płyny oraz ograniczyć wysiłek fizyczny.



Ryc. 5. Minimalne, maksymalne i średnie wartości *UTCI* w miesiącach letnich w Kołobrzegu i Szczawnie-Zdroju, 1971-2000.
Minimum (min), maximum (max) and average (śr) *UTCI* values In summer months In Kołobrzeg and Szczawno, 1971-2000

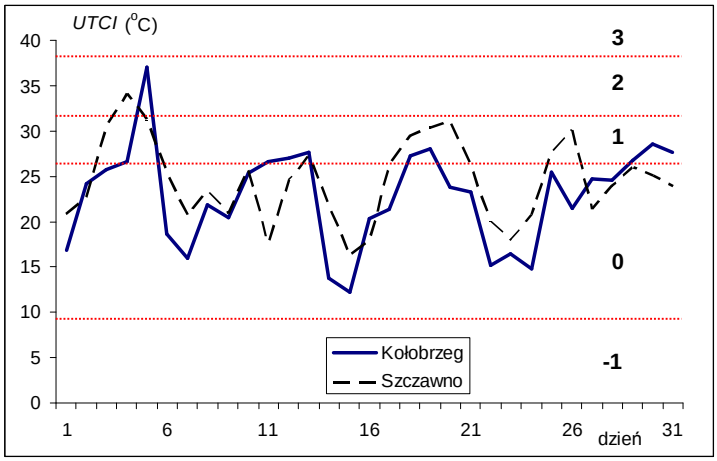
Analiza częstości różnych obciążeń cieplnych człowieka wskazuje, że w obydwu uzdrowiskach dominują sytuacje nie powodujące obciążeń cieplnych, a fizjologiczne procesy termoregulacji są wystarczające do zachowania równowagi cieplnej. Warunki pogodowe powodujące silne obciążenia termiczne są rzadkie, nie przekraczając 3% dni w miesiącu. Dane

te mówią, że w badanych uzdrowiskach można latem z powodzeniem stosować różne zabiegi klimatoterapeutyczne, w tym terapię ruchową (ryc. 6).



Ryc. 6. Częstość występowania różnych obciążeń cieplnych organizmu w Kołobrzegu i Szczawnie-Zdroju w miesiącach letnich, 1971-2000; -2 – umiarkowany stres zimna, -1 – łagodny stres zimna, 0 – brak obciążeń cieplnych, 1 – umiarkowany stres ciepła, 2 – silny stres ciepła, 3 – bardzo silny stres ciepła
Frequency of various heat stress categories In Kołobrzeg and Szczawno during summer months, 1971-2000, -2 – moderate heat stress, -1 – slight heat stress, 0 – no thermal stress, 1 – moderate heat stress, 2 – great heat stress, 3 – very great heat stress

Wskaźnik *UTCI* można także wykorzystywać do oceny warunków biotermicznych w konkretnych dniach i godzinach. Jako przykład podano codzienne wartości *UTCI* w lipcu 1999 r. Przez większą dni miesiąca brak było obciążeń cieplnych. Silny stres ciepła występował tylko przez kilka pierwszych dni lipca. Można także zauważyć, że w ciągu analizowanego miesiąca występowały cztery okresy relatywnie wysokich i trzy okresy relatywnie niskich wartości *UTCI*. Świadczy to o dużej zmienności warunków bioklimatycznych (ryc. 7).



Ryc. 7. Przebieg miesięczny wskaźnika *UTCI* w Kołobrzegu i Szczawnie-Zdroju w lipcu 1999 r.; -1 – łagodny stres zimna, 0 – brak obciążeń cieplnych, 1 – umiarkowany stres ciepła, 2 – silny stres ciepła, 3 – bardzo silny stres ciepła
Monthly course of *UTCI* In Kołobrzeg and Szczawno In July 1999; 1 – moderate heat stress, 2 – great heat stress, 3 – very great heat stress

Podsumowanie

Kilkuletni wysiłek badawczy kilku zespołów naukowych z Europy i Izraela pozwolił na stworzenie nowego wskaźnika obciążeń cieplnych człowieka (*UTCI*). *UTCI* jest definiowane jako temperatura (temperatura ekwiwalentna *UTCI*), przy której w warunkach referencyjnych podstawowe parametry fizjologiczne organizmu przyjmują takie same wartości jak w warunkach rzeczywistych.

UTCI dostarcza informacji na temat rzeczywistych, obiektywnie zachodzących procesów regulacji temperatury ciała, które są zależne od warunków meteorologicznych otoczenia i ocenia obciążenia cieplne związane z dostosowywanie się do nich. Należy pamiętać, że taki sam poziom parametrów fizjologicznych organizmu może być różnie oceniany przez poszczególne osoby (np. reakcje fizjologiczne mówiące o łagodnym stresie zimna mogą być przez niektórych oceniane jako komfortowe, a przez innych jako wiążące się z odczuciem chłodu lub nawet zimna).

Dokonana próba wskazuje, że *UTCI* powinien znaleźć szerokie zastosowanie w badaniach biometeorologicznych i bioklimatycznych podejmowanych w różnych skalach czasowych i przestrzennych, w tym w badaniach dotyczących klimatoterapii uzdrowiskowej. Szczegółowe algorytmy można uzyskać po skontaktowaniu się z prof. K. Błażejczykiem (k.blaz@twarda.pan.pl).

Literatura

1. Błażejczyk K., (2004), *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*, Prace Geograficzne, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania (IGiPZ) PAN, 192.
2. Parsons K.C., (2003) *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance*. Taylor&Francis, London, New York.
3. Jankowiak J., (red.), 1976, *Biometeorologia człowieka*. PZWL, Warszawa.
4. Klonowicz S., Kozłowski S., (1970) *Człowiek a środowisko termiczne*. PZWL, Warszawa.
5. Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., (1997) *Bioklimatologia człowieka. Metody ich zastosowania w badaniach bioklimatu Polski*. IGiPZ PAN, Monografie, 1, Warszawa.
6. Lee D.H.K., (1980) *Seventy-five years of searching for a heat index*. Environmental Research, 22: 331-356.
7. Höppe P., (1999) *The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment*. International Journal of Biometeorology, 43: 71-75.
8. Jendritzky G., (1990) *Bioklimatische Bewertungsgrundlage der Räume am Beispiel von mesoskaligen Bioklimakarten*. [w:] Jendritzky G, Schirmer H, Menz G, Schmidt-Kessen W: Methode zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). Akademie für Räumforschung und Landesplanung, Hannover, Beiträge 114:7–69.
9. Błażejczyk K., (2007) *Multiannual and seasonal weather fluctuations and tourism in Poland*.

[w:] B. Amelung, K. Błażejczyk, A. Matzarakis (red.), Climate Change and Tourism Assessment and Copying Strategies, Maastricht–Warsaw–Freiburg: 978-00-023716-4, s. 69-90.
10. Fiala D., Lomas K.J., Stohrer M. (1999) *A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: The passive system*. Journal of Applied Physiology, 87 (5): 1957-1972.
11. Fiala D., Lomas K.J., Stohrer M. (2001) *Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions*. International Journal of Biometeorology, 45: 143-159.
12. Fiala D., Laschewski G., Jendritzky G., (2005) *Comparison of human thermal and regulatory responses predicted by simple and multi-node complete heat budget models*. Proceedings 17th Int. Congress Biometeorology ICB 2005, Ann. d. Met., DWD Offenbach. 41, Vol. 1: 318-319.
13. Huizenga C., Zhang H., Arens E., (2001) *A model of human physiology and comfort for assesssing complex thermal environments*. Building and Environment 36: 691-699.
14. Jendritzky G., Maarouf A., Fiala D., Staiger H., (2002) *An update on the development of a Universal Thermal Climate Index*. 15th Conf. Biomet. Aerobiol. and 16th ICB02, 27 Oct – 1 Nov 2002, Kansas City, AMS: 129-133.
15. Tanabe S.I., Kobayashi K., Nakano J., Ozeki Y., Konishi M., (2002) *Evaluation of thermal comfort using combined multi-node thermoregulation (65MN) and radiation models and computational fluid dynamics (CFD)*. Energy and Buildings 34: 637-646.
16. VDI 3789, (1994) *Environmental meteorology, Interactions between atmosphere and surfaces, Calculation of short-wave and long-wave radiation*. Part 2. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
17. Matzarakis A., Rutz F., (2005) *Application of RayMan for tourism and climate investigations*, Annalen der Meteorologie, 41, 2: 631-636.