

dr inż. ANDRZEJ SOBOLEWSKI
mgr inż. MAGDALENA ZWOLIŃSKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

O problemach związanych z oceną środowiska cieplnego za pomocą wskaźnika PMV

W artykule przedstawiono rozważania nt. oszacowań wskaźnika PMV (Predicted Mean Vote – Przewidywana Średnia Ocena) jako wyznacznika komfortu cieplnego. Z reguły, podczas obliczeń PMV (szczególnie przy wysokim tempie metabolizmu), nie uwzględnia się strumienia mocy W wykorzystywanego na pracę mechaniczną.

W artykule zaprezentowano rozważania dotyczące różnic między wartościami wskaźnika PMV obliczonymi przy założeniu $W = 0$ a wartościami oszacowanymi przy założeniu $W \neq 0$. Ustosunkowano się także do konieczności szacowania niepewności wskaźnika PMV.

Problems associated with assessing the thermal environment with the PMV index

This article discusses estimating the PMV (Predicted Mean Vote) index as an indicator of thermal comfort. In general, the power flux used for mechanical work is not considered in calculating PMV (especially at a high rate of metabolism). This article considers the differences between the PMV values calculated for $W = 0$ and $W \neq 0$. The need to estimate the uncertainty of the PMV index is discussed, too.



Fot. Lisa F. Young/Bigstockphoto

Wstęp

Wskaźnik PMV (*Predicted Mean Vote* – Przewidywana Średnia Ocena) służy do oceny środowiska cieplnego umiarkowanego. Na jego podstawie dokonuje się również klasyfikacji środowiska termicznego. Zgodnie z rozporządzeniem ministra pracy i polityki społecznej kryterium klasyfikacji środowiska termicznego do obszaru mikroklimatu gorącego jest wartość wskaźnika PMV w zakresie powyżej +2, do mikroklimatu zimnego poniżej -2 [1].

Obliczenia wskaźnika PMV oparte na wytycznych normy PN-EN ISO 7730:2006 [2] wykonuje się zwykle zakładając, że cała energia metaboliczna wytwarzana w organizmie człowieka zamieniana jest na ciepło. Założenie to jest równoznaczne z przyjęciem do obliczeń składnika $W = 0$ (W od ang. *Work*) określającego gęstość strumienia mocy zużywanej na pracę mechaniczną. Jest to założenie nie do końca słuszne i z tego tytułu mogą wystąpić istotne rozbieżności między uzyskanym wynikiem a rzeczywistym stanem rzeczy. Celem artykułu jest zwrócenie uwagi na ten właśnie aspekt.

Wpływ środowiska cieplnego na organizm człowieka

Jednym z czynników decydujących o utrzymaniu sprawności organizmu ludzkiego jest zrównoważona wymiana wytwarzanego przez człowieka ciepła z otaczającym środowiskiem. Z fizjologicznego punktu widzenia optymalne warunki tej wymiany wymagają stabilizacji temperatury wnętrza ciała na poziomie $37\text{ °C} \pm 0,3\text{ °C}$ i średniej temperatury powierzchni skóry w zakresie $33\text{ °C} \div 34\text{ °C}$ [3]. Spełnienie tych kryteriów zapewnia utrzymanie homeostazy cieplnej organizmu, co jest tożsame z zachowaniem zrównoważonego bilansu cieplnego. Proces utrzymania temperatury na wspomnianych poziomach w zmiennym środowisku odbywa się dzięki mechanizmom termoregulacji, którymi dysponuje żywy organizm. Wynikające stąd fizjologiczne koszty termoregulacji zależą od wartości parametrów fizycznych charakteryzujących mikroklimat otaczającego środowiska i ich zmienności w czasie. Wymianę ciepła między człowiekiem a otaczającym go środowiskiem opisuje rów-

nanie bilansu cieplnego (1) [4, 5], uwzględniające poszczególne kanały, za pośrednictwem których odbywa się ta wymiana.

$$M = W + R + C + E + RES + \Delta S \quad (1)$$

gdzie:

M – gęstość strumienia mocy metabolicznej produkcji ciepła, W/m^2

W – gęstość strumienia mocy przeznaczony na pracę mechaniczną, W/m^2

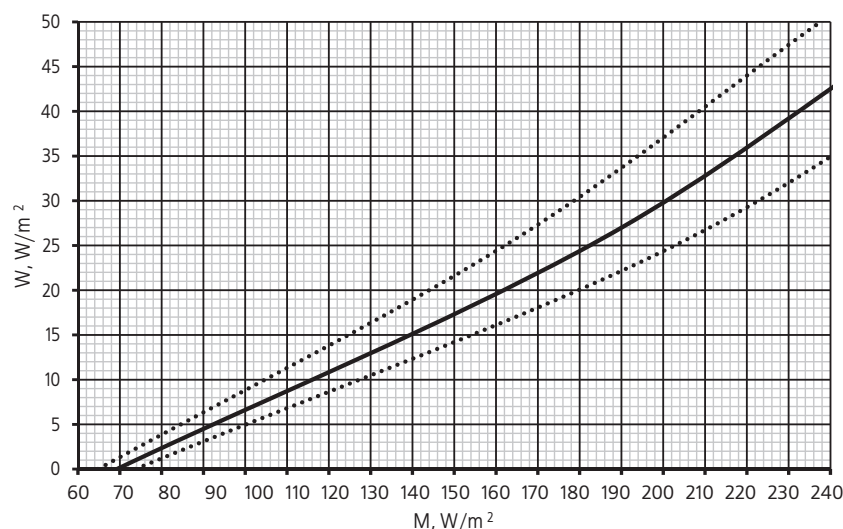
$C + R$ – gęstość strumienia mocy traconej na skutek konwekcji i promieniowania, W/m^2

E – gęstość strumienia mocy traconej w wyniku parowania potu, W/m^2

RES – gęstość strumienia mocy traconej w wyniku oddychania, na drodze konwekcji oraz odparowania, W/m^2

ΔS – akumulacja ciepła, W/m^2 .

Organizm człowieka jest najlepiej dopasowany do umiarkowanego środowiska zewnętrznego. Jest wówczas źródłem ciepła, które ulega naturalnemu rozproszeniu do chłodniejszego otoczenia. W procesie tym



Rys. 1. Związek między wartością metabolizmu M [W/m^2] a obciążeniem W [W/m^2]
 Fig. 1. The relationship between the metabolic rate M (W/m^2) and the load W (W/m^2)

uczestniczą uwzględnione we wzorze (1) zjawiska wymiany ciepła.

Swobodne rozpraszanie ciepła metabolicznego wytwarzanego podczas pracy lub w spoczynku, bez zaangażowania mechanizmów termoregulacji, pozwala na osiągnięcie stanu równowagi cieplnej organizmu jak najmniejszym kosztem. Osiągnięcie stanu równowagi cieplnej oznacza brak akumulacji ciepła ($\Delta S = 0$). Warunki mikroklimatu sprzyjające temu stanowi odpowiadają środowisku neutralnemu, a związane z nim odczucia ciepłe określane są jako komfort cieplny. Słowa komfort nie należy utożsamiać z luksusem, gdyż w tym kontekście określa ono warunki cieplne najmniej obciążające organizm człowieka.

Środowisko cieplne umiarkowane

Zagadnienia związane z oceną obciążenia cieplnego organizmu człowieka w warunkach umiarkowanego środowiska cieplnego ujęte są w normie PN-EN ISO 7730:2006 [2]. Wskaźnikiem określającym środowisko umiarkowane jest PMV. Założenia teoretyczne, na których opiera się ta norma, zostały stworzone przez Fangera [5]. Wychodząc z równania bilansu cieplnego człowieka, Fanger opracował równanie komfortu cieplnego (wzór 4).

W normie PN-EN ISO 7730:2006 [2] do oceny wrażeń cieplnych związanych z odczuwaniem środowiska zastosowano 7-stopniową skalę ASHRAE: zimno (-3), chłodno (-2), lekko chłodno (-1), neutralnie (0), lekko ciepło (+1), ciepło (+2), gorąco (3) [2, 4]. Wrażenia te odnoszą się do całego ciała człowieka.

Za pomocą wskaźnika PMV prognozując się przeciętne wrażenia cieplne dużej grupy ludzi, poddanej działaniu określonej kom-

binacji zmiennych parametrów otoczenia. Ze wskaźnikiem PMV związany jest wskaźnik PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) – określający przewidywany procent osób niezadowolonych.

Środowisko cieplne umiarkowane definiowane jest w przedziale zmienności $-2 < PMV < +2$. W przypadku $PMV = -2$ lub $PMV = +2$ szacuje się, że aż 75% zatrudnionych w danym środowisku będzie odczuwało dyskomfort. Możliwe jest jednak osiągnięcie stanu równowagi cieplnej organizmu człowieka z otoczeniem w warunkach odczuwania chłodu ($PMV = -2$) lub ciepła ($PMV = +2$), ale odbywa się to dużym kosztem fizjologicznym organizmu. Nie jest to oczywiście korzystne dla dobrego samopoczucia człowieka oraz jakości i efektywności wykonywanej przez niego pracy.

Według normy PN-EN ISO 7730:2006 [2] środowisko umiarkowane można opisać następującymi zakresami parametrów mikroklimatu: temperatura powietrza $10\text{ °C} \div 30\text{ °C}$, ciśnienie pary wodnej $0\text{ kPa} \div 2,7\text{ kPa}$, temperatura promieniowania $10\text{ °C} \div 40\text{ °C}$, prędkość przepływu powietrza $0\text{ m/s} \div 1\text{ m/s}$, tempo metabolizmu $46\text{ W/m}^2 \div 232\text{ W/m}^2$ oraz izolacyjność cieplna odzieży ochronnej $0\text{ clo} \div 2,0\text{ clo}$.

Granice komfortu cieplnego określa nierówność $-0,5 < PMV < +0,5$ [6]. Temu zakresowi zmienności odpowiada środowisko neutralne, w którym procent ludzi zadowolonych z warunków cieplnych wynosi 90% (PPD = 10%). W środowisku pracy należy zatem dążyć do stworzenia warunków mikroklimatu sprzyjających do osiągnięcia stanu komfortu cieplnego. Wynikają stąd konkretne korzyści: odczucie komfortu cieplnego wśród pracowników przekłada się na lepszą wydajność, efek-

tywność i jakość pracy, jak również precyzję i bezbłądność jej wykonania. Ponadto z uwagi na brak obciążenia cieplnego praca może odbywać się bez przerwy przez całą zmianę.

Metaboliczna produkcja ciepła

We wszystkich oszacowaniach obciążenia cieplnego, jakiemu podlega organizm człowieka w otaczającym środowisku, podstawową rolę odgrywa przyjmowana do obliczeń wartość metabolizmu M . Jest ona podstawiana do lewej strony równania bilansu cieplnego (1), jako jedyny wyraz i stanowi bazową wartość w rozliczeniach bilansu cieplnego. W większości przypadków przyjmuje się założenie, że metabolizm, tj. energia cieplna wytwarzana przez organizm w trakcie procesów życiowych, w całości przetwarzana jest na ciepło wewnętrzne ciała i jako taka jest rozpraszana różnymi kanałami do środowiska zewnętrznego. Tak jest w przypadku niewielkich wartości metabolizmu odpowiadających czynnościom niewymagającym specjalnej aktywności, takich jak np. praca w pozycji siedzącej ($M = 58\text{ W/m}^2$) czy pozycja stojąca ($M = 70\text{ W/m}^2$). Większe wartości metabolizmu generowane są przez organizm podczas jego obciążenia wysiłkiem fizycznym. Przy wzmożonej aktywności część energii metabolicznej M zużywana jest na pracę mechaniczną, na którą wydatkowany jest strumień mocy o gęstości W . Można przyjąć, że im większa jest wartość metabolizmu M , tym większa jest gęstość strumienia mocy W przeznaczanej na pracę mechaniczną.

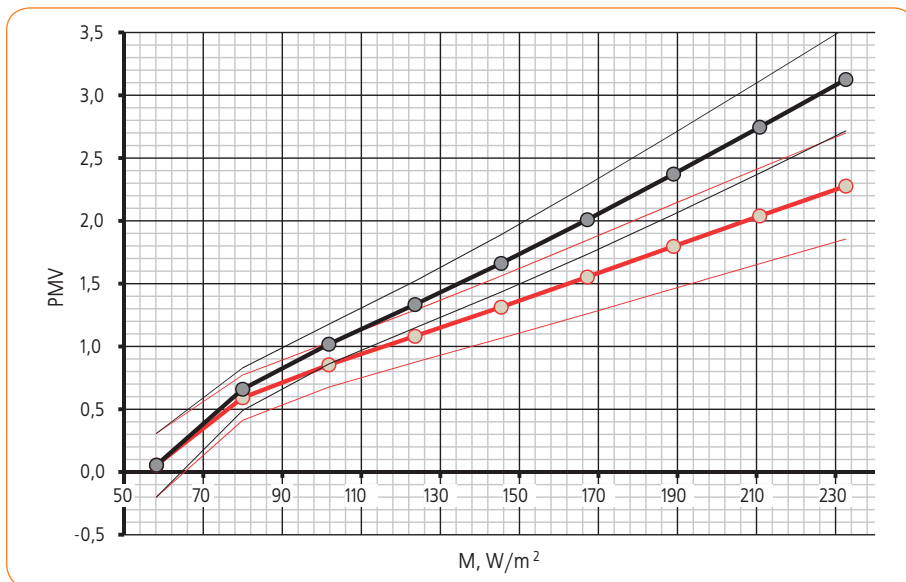
Wartość W zależy od sprawności ruchowej η , którą określa się z zależności [6]:

$$\eta = \frac{W}{M} \quad (2)$$

Według Fangera zakres zmienności współczynnika sprawności ruchowej mięśni się w zakresie $0,00 \div 0,21$ [5].

Związek funkcyjny zachodzący między wartościami W i M został określony na podstawie eksperymentów przeprowadzonych w CIOP-PIB [7]. Do tego celu wykorzystano wyniki pomiarów metabolizmu M wykonane u ochotników podczas ich obciążania zadaną mocą W . Odpowiednią wartość obciążenia uzyskiwano podczas marszu z prędkością 3 km/h, na bieżni nachylonej pod odpowiednim kątem zależnym od całkowitej masy ochotnika (wraz z dodatkowym oprzyrządowaniem). Na rys. 1. przedstawiono uzyskaną zależność empiryczną $W = f(M)$. Linie przerywane wyznaczają 68% pasmo ufności wokół krzywej środkowej opisującej przeciętną zmienność W w funkcji M .

Wykorzystując przedstawiony diagram, można oszacować przeciętną wartość W odpowiadającą metabolizmowi zawartemu w granicach $70 \leq M \leq 240\text{ W/m}^2$. Wykorzy-



Rys. 2. Zmienność wartości współczynnika PMV w zależności od tempa metabolizmu M (A – linia czarna z kółkami: wyniki obliczeń przy założeniu $W = 0$; B – linia czerwona z kółkami: wyniki obliczeń przy założeniu $W \neq 0$. Cienkimi liniami oznaczono wartości błędów ΔPMV)

Fig. 2. The variability of PMV – value depending on the metabolic rate M (A – black line with circles – the results of calculations for $W = 0$; B – red line with circles – the results of calculations for $W \neq 0$. Thin lines – errors ΔPMV)

stując zaś dolne i górne pasmo 68% przedziału ufności można oszacować szerokość przedziału zmienności $W \pm SD_w$. Opierając się na tej zależności sprawdzono, jak na obliczenia wartości PMV wpływa uwzględnienie parametru W zależnego od przyjętej wartości metabolizmu M .

Porównanie oszacowań wartości wskaźnika PMV bez uwzględnienia i z uwzględnieniem wartości W

W celu oszacowania wartości PMV i PPD wykorzystano program komputerowy, którego postać źródłowa jest zamieszczona w normie PN-EN ISO 7730:2006 [2].

Do obliczeń przyjęto następujące założenia: $l_{cl} = 0,155 \pm 0,008 \text{ m}^2\text{K/W}$, $t_a = 25,4 \pm 0,1^\circ\text{C}$, $t_r = 24,5 \pm 0,1^\circ\text{C}$, $v_a = 0,30 \pm 0,015 \text{ m/s}$ oraz

$RH = 50 \pm 5\%$. W obliczeniach uwzględniono następujące wartości metabolizmu: ($M \pm 10\% M$): $58,2 \pm 5,8$; $80,0 \pm 8,0$; $101,8 \pm 10,2$; $123,6 \pm 12,3$; $145,4 \pm 14,5$; $167,2 \pm 16,7$; $189,0 \pm 18,9$; $210,8 \pm 21,1$; $232,6 \pm 23,3 \text{ [W/m}^2\text{]}$.

Rozważono dwa przypadki:

A: bez uwzględnienia pracy mechanicznej W (dla $W = 0$)

B: z uwzględnieniem pracy mechanicznej $W = f(M)$, której wartość określono z zależności przedstawionej na (rys. 1.), tzn. $W \pm DW$: 0 ± 0 ; $2,10 \pm 1,08$; $6,37 \pm 1,87$; $11,11 \pm 2,58$; $16,33 \pm 3,18$; $22,03 \pm 3,69$; $28,20 \pm 4,11$; $34,85 \pm 4,43$; $41,97 \pm 4,66 \text{ [W/m}^2\text{]}$.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń wyznaczono zmienność PMV w zależności od tempa metabolizmu M (rys. 2.).

Konsekwencją uwzględnienia w obliczeniach wskaźnika PMV parametru W związanego z pracą mechaniczną, jest redukcja obliczonej wartości w stosunku do wyniku uzyskanego bez uwzględnienia wpływu pracy. Wartość tej redukcji można zinterpretować za pomocą współczynnika redukcji ξ określonego z zależności:

$$\xi = \frac{PMV_{W \neq 0}}{PMV_{W = 0}} \quad (3)$$

gdzie:

$PMV_{W \neq 0}$ – wartość oszacowana z uwzględnieniem wykonywanej pracy mechanicznej
 $PMV_{W = 0}$ – wartość oszacowana z pominięciem pracy mechanicznej

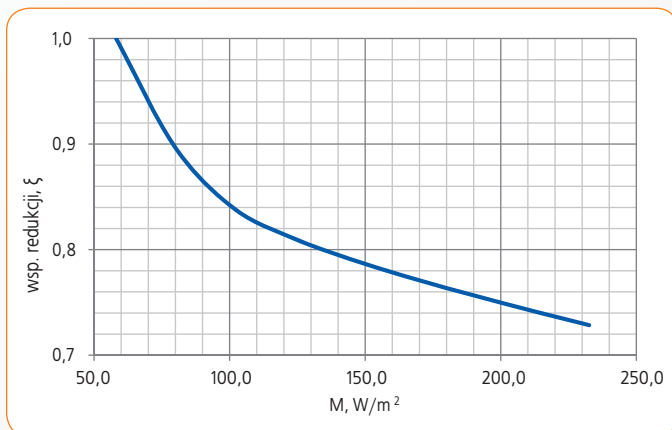
Zależność funkcijną $\xi = f(M)$ przedstawiono na rys. 3.

Dla wartości metabolizmu na poziomie 58 W/m^2 wartość współczynnika $\xi = 1$, natomiast przy tempie metabolizmu 232 W/m^2 $\xi = 0,725$. Z powyższych obliczeń wynika, że bezkrytyczne przyjmowanie w oszacowaniach wskaźnika PMV, wartości $W = 0$ w całym zakresie zmienności $58 \leq M \leq 232$, może doprowadzić do fałszywych wniosków. Uzasadnieniem tej tezy mogą być poniżej przedstawione oceny wskaźnika PMV, oparte na założeniu, że wartość $W = 0$.

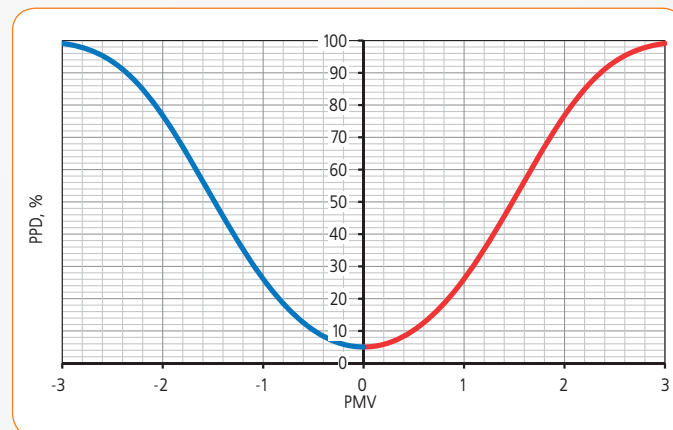
Ocena wartości PMV zbyt pesymistyczna

Zakładając, że cała energia wytwarzana w organizmie przetwarzana jest na ciepło, uzyskuje się zawyżone wartości PMV. Jest to szczególnie zauważalne w sytuacjach o dużym tempie metabolizmu. Interpretacja otrzymanego wyniku, skłania do oceny środowiska jako zbyt ciepłe, podczas gdy w rzeczywistości, może okazać się akceptowalne, z punktu widzenia osoby w nim pracującej.

Takie przypadki związane są z środowiskiem określonym wartościami $PMV \geq +1$ (prawa gałąź krzywej PPD, rys. 4.).



Rys. 3. Związek między współczynnikiem redukcji ξ a tempem metabolizmu M
 Fig. 3. The relationship between the reduction index ξ and the metabolic rate M



Rys. 4. Wykres zależności $PPD = f(PMV)$, [5]
 Fig. 4. A graph of the relationship $PPD = f(PMV)$, [5]

$$PMV = \left(0,352e^{-0,042\left(\frac{Q_M}{A_{Du}}\right)} + 0,032 \right) \left\{ \begin{array}{l} \frac{Q_M}{A_{Du}}(1-\eta) - 0,35 \left[43 - 0,061 \frac{Q_M}{A_{Du}}(1-\eta) - p_w \right] \\ -0,42 \left[\frac{Q_M}{A_{Du}}(1-\eta) - 50 \right] - 0,0023 \frac{Q_M}{A_{Du}}(44 - p_w) \\ -0,0014 \frac{Q_M}{A_{Du}}(34 - t_w) - 3,4 \cdot 10^{-8} f_{cl} \left[(t_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4 \right] \\ -f_{cl}\alpha_k(t_{cl} - t_w) \end{array} \right\} \quad (4)$$

gdzie:

A_{Du} – powierzchnia DuBois (powierzchnia ciała ludzkiego), m^2

Q_M – ciepło metaboliczne, W

η – sprawność ruchowa ciała

p_w – ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu, mmHg

t_w – temperatura powietrza, $^{\circ}C$

f_{cl} – stosunek pola powierzchni ciała pokrytego odzieżą do pola powierzchni ciała odkrytego

t_{cl} – średnia temperatura powierzchni ciała ludzkiego pokrytej odzieżą, $^{\circ}C$

T_{mrt} – średnia temperatura promieniowania, $^{\circ}C$

α_k – współczynnik przejmowania ciepła przez konwekcję, W/m^2K .

Ocena PMV zbyt optymistyczna

To samo założenie o całkowitej transformacji energii wytwarzanej w organizmie w ciepło, doprowadza do zawyżenia wartości PMV w środowisku określonym wartościami PMV ≤ -1 . Pozornie akceptowane warunki cieplne w tym środowisku – o czym świadczą wyniki uzyskane z obliczeń przy założeniu $W = 0$ – w rzeczywistości mogą okazać się uciążliwe dla osoby w nim przebywającej ze względu na odczucie chłodu (lewa gałąź krzywej PPD, rys. 4.).

O szacowaniu niepewności pomiarów wskaźnika PMV i PPD

Często spotykanym problemem jest oszacowanie niepewności pomiarów wskaźnika PMV i PPD. Z formalnego punktu widzenia źródłem niepewności oceny wartości wskaźnika PMV, są błędy pomiarów wartości parametrów mikroklimatu w środowisku będącym przedmiotem badań, oraz wartości metabolizmu i izolacyjności cieplnej odzieży ochronnej pracowników, uzyskane z pomiarów lub najczęściej przyjęte arbitralnie z odpowiednich tablic. W świetle przedstawionych wyżej rozważań, także decyzja o uwzględnieniu lub nieuwzględnieniu w obliczeniach wartości $W \neq 0$ ma istotny wpływ na uzyskany wynik PMV.

Ze względu na skomplikowaną postać równania komfortu cieplnego (wzór 4), określenie niepewności wskaźnika PMV jest zadaniem złożonym.

Wymaga ono przeprowadzenia wielokrotnego różniczkowania funkcji równania komfortu względem wszystkich parametrów uwzględnionych w tym równaniu, albo wykonania dużej liczby obliczeń symulacyjnych. Analizę niepewności fizycznego modelu komfortu cieplnego Fangera wraz z analizą procentowego udziału niepewności parametrów, wchodzących w jego skład, przeprowadził w 2003 r. na Uniwersytecie Stanowym Missisipi L. M. Chamra [8]. Wyznaczona niepewność

całkowita U_{PMV} modelu Fangera mieści się w przedziale $PMV 0,540 \div 1,134$. Zważywszy, że warunki komfortu zawarte są w przedziale $-0,5 \leq PMV \leq +0,5$, są to relatywnie bardzo duże wartości niepewności. Ze względu na związki łączące wskaźnik PPD z wartością PMV, niepewność wskaźnika PPD jest funkcją niepewności wskaźnika PMV. Stwierdzono również, że niepewność wskaźnika PMV wzrasta wraz ze wzrostem prędkości przepływu powietrza i wzrostem poziomu aktywności człowieka. Należy zauważyć, że wskaźnik PMV nie jest wielkością fizyczną i opiera się na siedmiostopniowej subiektywnej skali ocen. Określa więc istotę badanego zjawiska jakościowo, w sposób mało precyzyjny.

Ponadto, jak wspomniano, do jego oszacowania należy arbitralnie przyjąć do obliczeń wartości: M , W , I_{cl} . Wobec tego, zdaniem autorów, szacowanie niepewności pomiaru PMV nie znajduje praktycznego uzasadnienia. Potwierdza to również fakt, iż w normie dotyczącej PMV nie ma żadnej wzmianki o takiej potrzebie. Stawianie wymagania szacowania niepewności pomiaru wskaźnika PMV wydaje się automatycznym przeniesieniem wymagań odnoszących się do niepewności pomiarów wielkości fizycznych. W sprawozdaniu przedstawiającym wyniki oceny wskaźników PMV i PPD, przede wszystkim powinny być zawarte oszacowania wartości niepewności zmierzonych parametrów mikroklimatu.

Podsumowanie

Prawidłowe oszacowanie wskaźnika PMV pozwala na wiarygodną ocenę wszystkich środowisk cieplnych, nie tylko środowiska umiarkowanego. Dlatego oceniając cieplne środowisko pracy, według wytycznych normy PN-EN ISO 7730:2006 [2], warto uwzględnić w obliczeniach wskaźnika PMV m.in. taki parametr jak sprawność ruchowa wykonywanej pracy. Przy wzmożonej aktywności, część energii metabo-

licznej M zużywana jest na pracę mechaniczną, na którą wydatkowany jest strumień mocy o gęstości W zależny właśnie od tej sprawności. Przyjęcie założenia, że cała energia wytwarzana w organizmie przetwarzana jest na ciepło, bez uwzględnienia pracy W , prowadzi do zawyżenia wartości PMV. Na podstawie przedstawionych w artykule zależności i analiz wykazano, że zawyżenie to może doprowadzić do błędnej interpretacji środowiska, jako np. zbyt gorące, podczas gdy może okazać się akceptowalne z punktu widzenia osób w nim pracujących.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 16 czerwca 2009 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 105, poz. 873
- [2] PN-EN ISO 7730:2006 *Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczenie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego* (oryg.)
- [3] W. Traczyk, A. Trzebski *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL 2001, s. 266-267
- [4] ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers Inc. Atlanta 1996
- [5] P.O. Fanger *Komfort cieplny*. Wyd. Arkady, Warszawa 1974
- [6] K. Parson *Human Thermal Environments*. CRC, 1ed., 1993
- [7] A. Sobolewski Sprawozdanie z III etapu realizacji zadania 4.5.34: *Model obliczeniowy wymiany ciepła między otaczającym środowiskiem i człowiekiem ubranym w odzież barierową w warunkach obciążenia pracą*. CIOP-PIB 2010
- [8] Z. Kabza, K. Kostyrko, S. Zator, A. Łobzowski, *W. Szkolnikowski Regulacja mikroklimatu pomieszczenia*. Agenda Wydawnicza PAK, Warszawa 2005, s. 51-52

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.