

Komfort termiczny jest, obok m.in. jakości powietrza wewnętrznego, poziomu hałasu, czy np. wystroju wnętrza, istotnym elementem pozytywnego odbioru otaczającego środowiska. Z uwagi na stale wydłużający się czas spędzany, zarówno w życiu zawodowym, jak i pozazawodowym w pomieszczeniach, w których warunki środowiska są sztucznie kształtowane przez urządzenia klimatyzacyjne, niezbędne jest zaprojektowanie parametrów powietrza wewnętrznego w taki sposób, aby przebywanie w nich nie prowadziło do zaburzeń zdrowotnych (np. zespół chorego budynku; *Sick Building Syndrome*).

W artykule przedstawiono metodę oceny pomieszczeń pod względem komfortu cieplnego, na podstawie normy 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*. W sposób praktyczny zilustrowano prowadzenie takiej oceny na przykładzie pomieszczenia biurowego.

Determining thermal comfort conditions in rooms with the PMV and PPD indices

Thermal comfort is in addition to, i.e., indoor air quality, noise level, and interior design, an essential element determining the way the surrounding environment is perceived. In light of the fact that time spent both professionally and privately in buildings in which environment conditions are shaped by air conditioning is increasingly longer, it is imperative to design such indoor air parameters which will help to prevent potential health problems (e.g. the Sick Building Syndrome).

This paper presents assessment methods of buildings thermal comfort in compliance with the PN-EN ISO 7730:2006 standard "Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria". A sample office space illustrates how such an assessment can be made.

dr hab. n. med. IWONA SUDOŁ-SZOPIŃSKA
mgr inż. ANNA CHOJNACKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Określanie warunków komfortu termicznego w pomieszczeniach za pomocą wskaźników PMV i PPD

Wstęp

Komfort cieplny (termiczny) wyraża satysfakcję danej osoby (grupy osób) z warunków termicznych środowiska w pomieszczeniach, w którym osoba (osoby) ta przebywa [1]. Stan ten wynika z równowagi między ilością ciepła wytwarzaną w organizmie w wyniku przemian metabolicznych a stratami ciepła z ciała do otaczającego środowiska [2]. Na skutek różnic biologicznych nie jest możliwe zapewnienie komfortu cieplnego wszystkim osobom przebywającym w danym pomieszczeniu. Niemniej, dzięki odpowiednio zaprojektowanym systemom ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji, możliwe jest stworzenie optymalnych warunków termicznych, które przez większość użytkowników będą odczuwane jako komfortowe.

Jest to istotne, gdyż według danych GUS w 2005 roku, 35,7 tys. osób w Polsce pracuje w warunkach mikroklimatu zimnego i gorącego [3]. Przeważająca część społeczeństwa pracuje w mikroklimacie umiarkowanym, a więc w środowisku, które powinno spełniać wymagania komfortu.

Wymiana ciepła pomiędzy organizmem człowieka a otoczeniem

Podstawę projektowania mikroklimatu w pomieszczeniach stanowi wiedza z zakresu procesów wymiany ciepła między organizmem a otoczeniem. Wymiana ciepła w układzie człowiek-otoczenie wynika ze współdziałania szeregu czynników biorących udział w kształtowaniu bilansu cieplnego ciała człowieka, którego celem jest zachowanie temperatury wewnętrznej organizmu na stałym poziomie. Do czynników tych należą: wydatek energetyczny, opór przewodzenia ciepła przez odzież, temperatura powietrza, średnia temperatura promieniowania, ciśnienie cząstkowe pary wodnej oraz prędkość powietrza, które ujęte są w równaniu bilansu cieplnego [1, 2, 4]. Równanie to zostało stworzone w 1970 roku przez Fanger'a i ma następującą postać [2]:

$$S = M(1 - \eta) + E_o + P + C + R + E$$

gdzie:

S – akumulacja ciepła

M – metaboliczna produkcja ciepła

η – sprawność ruchowa

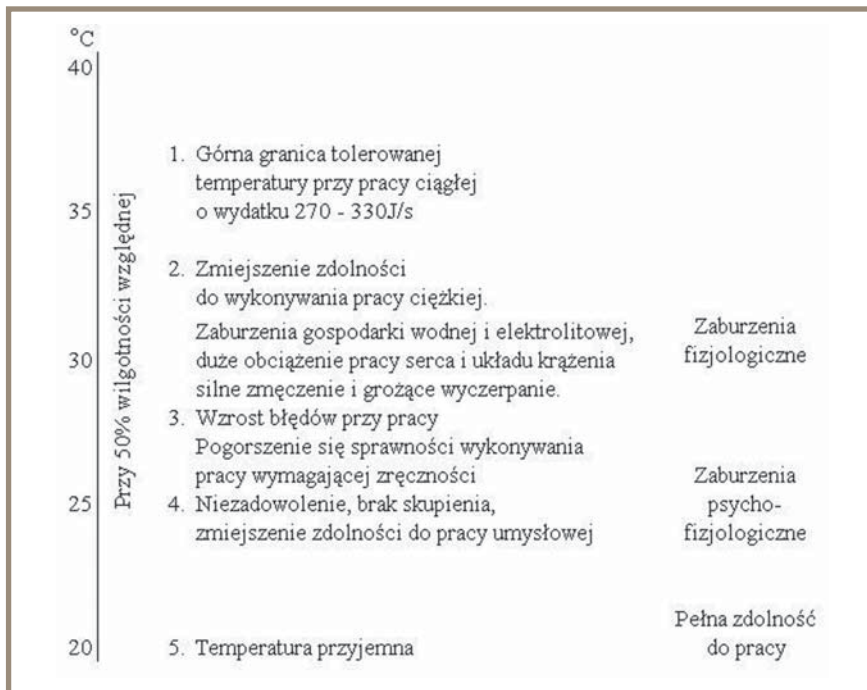
E_o – straty ciepła poprzez oddychanie

P, C, R – ilość ciepła wymienianego z otoczeniem na drodze przewodzenia, konwekcji i promieniowania

E – ilość ciepła wymienianego na drodze odparowania potu.

W warunkach komfortu cieplnego równanie bilansu cieplnego przyjmuje wartość „zerową” ($S = 0$), co oznacza, że ilość ciepła wytwarzana w organizmie jest w całości oddawana do otoczenia. Zachwianie stanu równowagi termicznej ($S \neq 0$) prowadzi do wielu niekorzystnych reakcji, m.in. ze strony układu krążenia, ośrodkowego układu nerwowego, czy zaburzeń gospodarki wodno-elektrolitowej (rys.1. – str. 20.).

Dodatnią wartość równanie komfortu cieplnego przyjmie np. w przypadku zwiększenia wydatku energetycznego (ciężkości wykonywanej pracy), stosowania odzieży termoizolacyjnej o zbyt wysokiej wartości izolacyjności czy wzrostu temperatury środowiska. Ujemną wartość równanie będzie miało m.in. w przypadku zmniejszenia wydatku energetycznego czy niedostosowania, pod względem izolacyjności, odzieży roboczej do warunków termicznych środowiska pracy.



Rys.1. Wpływ temperatury na stan fizyczny i psychiczny człowieka [5]

Fig. 1. Impact of air temperature on human physical and mental state [5]

Czynniki kształtujące poczucie komfortu cieplnego

W warunkach komfortu termicznego (równowagi cieplnej organizmu), temperatura wewnętrzna (w stanie spoczynku) utrzymuje się na stałym poziomie $37 \pm 0,3$ °C, średnia ważona temperatura powierzchni skóry wynosi 32–34 °C, a przepływ skórną krwi pozostaje na umiarkowanym poziomie [6]. Dla lekko ubranego, pozostającego w spoczynku człowieka, temperatura odczuwana jako komfortowa wynosi 23–26 °C, przy wilgotności powietrza 50%, i jednakowej temperaturze ścian oraz powietrza. W przypadku osoby rozebranej, temperatura komfortowa sięga 28 °C, zaś w czasie wykonywania wysiłku fizycznego, stosowania odzieży roboczej, szczególnie barierowej, przebywania w pobliżu promienników ciepła, jak również w sytuacjach stresowych, ulega ona obniżeniu w stosunku do temperatury komfortowej.

Poczucie komfortu bądź dyskomfortu jest uzależnione od oddziaływania wielu czynników, które można podzielić na:

- czynniki środowiskowe:
 - temperatura powietrza
 - prędkość powietrza
 - wilgotność względna powietrza
 - temperatura promieniowania powierzchni

- asymetria rozkładu temperatury w pomieszczeniu

- czynniki indywidualne:

- metabolizm
- aklimatyzacja
- izolacyjność cieplna odzieży.

Temperatura powietrza

Jest ona podstawowym parametrem powietrza wpływającym na odczucie komfortu cieplnego. Zbyt wysoka, może powodować wiele istotnych zaburzeń psychofizjologicznych, które przedstawiono na rys. 1. Wykazano, m.in. [5], że ekspozycja na temperaturę wyższą niż 21 °C powoduje spadek sprawności psychofizycznej o ok. 6% w stosunku do temperatury neutralnej (tj. 18–21 °C). W temperaturze przekraczającej 26 °C obserwuje się obniżenie poziomu uwagi, spostrzegawczości i refleksu, zwłaszcza podczas krótkiego, tj. poniżej 120-minutowego czasu ekspozycji. W przypadku temperatur niższych od komfortowych, dochodzi do zwężenia naczyń krwionośnych, zwłaszcza kończyn, co może powodować obniżenie temperatury skóry nawet o 10 °C.

Prędkość powietrza

Prędkość powietrza w pomieszczeniu wpływa na odczuwalną temperaturę oraz na rozkład ciśnienia w budynku [1, 7]. Z kolei na od-

czuwalny ruch powietrza ma wpływ różnica między temperaturą skóry i powietrza, która wraz ze wzrostem potęguje to nieprzyjemne odczucie. Negatywny wpływ na poczucie komfortu mogą mieć również lokalne wzrosty prędkości powietrza, które są odczuwane jako przeciągi. Odczucie przeciągu zależy od stopnia turbulencji, również od stopnia temperatury powietrza oraz powierzchni ciała wystawionej na działanie przeciągu. Osoba oceniająca otoczenie jako ciepłe może przeciąg definiować jako przyjemny wietrzyk, podczas gdy ta sama prędkość powietrza może być odczuwana jako nieprzyjemny przeciąg przez osobę, dla której środowisko termiczne w pomieszczeniu jest zimne.

Wilgotność względna powietrza

Wpływ wilgotności powietrza na odczucia cieplne jest większy w warunkach wysokiej temperatury powietrza, tj. gdy człowiek jest ekspozowany na temperaturę wyższą od komfortowej, wyzwalającą intensywny proces pocenia [1, 7]. Wysoka wilgotność (ok. 70%) nie tylko utrudnia odparowywanie potu z powierzchni ciała, ale także sprzyja rozwojowi bakterii i pleśni w pomieszczeniu. Z kolei niska wilgotność w ogrzewanych pomieszczeniach może prowadzić do wysuszenia śluzówki nosa i skóry, oraz powodować bóle gardła i głowy. Przyczynia się także do wzrostu stężenia zanieczyszczeń powietrza. Ze względów zdrowotnych wilgotność względna powinna zawierać się w granicach 40–70%.

Asymetria rozkładu temperatury w pomieszczeniu

Różnica temperatury w pomieszczeniu (tzw. pionowy gradient temperatury wyrażający zmianę wartości temperatury wraz z wysokością lub szerokością pomieszczenia, °C/m) może być przyczyną odczuwanego zimna na poziomie stóp lub głowy, podczas gdy dla pozostałych części ciała warunki w pomieszczeniu będą komfortowe. Z tego powodu, stopień asymetrii promieniowania cieplnego nie powinien przekraczać 10 °C, a temperatura podłogi 24 °C (przegrzanie stóp może prowadzić do lokalnego rozszerzenia naczyń krwionośnych i w konsekwencji do obrzęków stóp, a nawet zaburzenia systemu termoregulacji organizmu, charakteryzującego się naprzemiennymi dreszczami i poceniem) [7].

Izolacyjność odzieży

Istotny wpływ na komfort cieplny ma izolacyjność odzieży roboczej oraz ochronnej

stosowanej na stanowiskach pracy, zwłaszcza tzw. barierowej, ograniczającej w zasadniczy sposób wymianę ciepła człowiek/środowisko [6].

Ilość ciepła przekazywanego na drodze przewodzenia przez odzież zależy od wielkości powierzchni tej odzieży, gradientu temperatury pomiędzy skórą a zewnętrzną powierzchnią materiału oraz od wartości współczynnika przewodzenia cieplnego zastosowanych materiałów.

W miejsce jednostki m^2K/W (stosowanej do określenia oporu termicznego wszelkich rodzajów materiałów) stosuje się jednostkę clo, przeznaczoną specyficznie do opisu oporności cieplnej odzieży. 1 clo określa izolację cieplną odzieży wymaganą do zapewnienia tzw. standardowej osobie komfortu termicznego w pomieszczeniu, w którym temperatura powietrza wynosi $21\text{ }^\circ\text{C}$, wilgotność 50%, a prędkość przepływu powietrza $0,01\text{ m/s}$. W układzie SI, 1 clo odpowiada oporowi przewodzenia wynoszącemu $0,155\text{ m}^2K/W$. Przykładowo, najwyższą izolacyjnością charakteryzuje się odzież Eskimosów (4 clo), wartość letniej odzieży wynosi ok. 0,6 clo, a odzieży zimowej – 1 clo.

Aklimatyzacja

Aklimatyzacja zwiększa zdolność adaptacyjną organizmu do określonych warunków termicznych środowiska, przez co zmniejsza ryzyko wystąpienia szkodliwych skutków zdrowotnych wynikających z pracy lub przebywania w niesprzyjających warunkach temperaturowych otoczenia. Zmiany aklimatyzacyjne w środowisku gorącym dotyczą, m.in. skórno-przebiegu krwi oraz wydzielania i składu potu, w środowisku zimnym zaś tempa przemian metabolicznych, grubości tkanki podskórnej, czy przepływu w naczyniach obwodowych [5, 8].

Ocena komfortu termicznego za pomocą wskaźników PMV i PPD

Podstawowymi i powszechnie stosowanymi wskaźnikami oceny środowiska umiarkowanego są: PMV (*Predictive Mean Vote*) – przewidywana średnia ocena komfortu cieplnego oraz PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) – przewidywany odsetek niezadowolonych. Wskaźniki te zostały zaproponowane przez Fanger [2] i stanowią prostą i szybką metodę do oceny komfortu cieplnego.

PMV jest wskaźnikiem służącym do wyznaczenia tzw. przewidywanej średniej oceny środowiska termicznego w danym pomieszczeniu

i ma zastosowanie w przypadku spełnienia następujących warunków:

- temperatura powietrza w analizowanym pomieszczeniu: $10 - 30\text{ }^\circ\text{C}$
- średnia temperatura promieniowania przegród (np. ściany zewnętrzne, stropy, okna) w pomieszczeniu: $10 - 40\text{ }^\circ\text{C}$
- prędkość powietrza w pomieszczeniu: $0 - 1\text{ m/s}$
- ciśnienie cząstkowe pary wodnej w pomieszczeniu: $0 - 2700\text{ Pa}$
- wydatek energetyczny osób przebywających w tym pomieszczeniu: $0,8 - 4,0\text{ met}$ ($46,6 - 232,8\text{ W/m}^2$)
- izolacyjność termiczna odzieży osób przebywających w pomieszczeniu: $0 - 2\text{ clo}$.

Wyznaczenie wskaźnika PMV wymaga obliczenia wymienionych powyżej parametrów fizycznych analizowanego pomieszczenia, przy uwzględnieniu wydatku energetycznego oraz odzieży pracujących w nim osób. Uzyskaną wartość PMV porównuje się następnie z 7-stopniową psychofizyczną skalą wrażeń cieplnych, opracowaną przez Fanger: +3 gorąco; +2 ciepło; +1 lekko ciepło; 0 neutralnie (komfortowo); -1 lekko chłodno; -2 chłodno; -3 zimno. Środowisko komfortowe pod względem mikroklimatu (tzw. umiarkowane) zawiera się w przedziale $-0,5 < \text{PMV} < +0,5$.

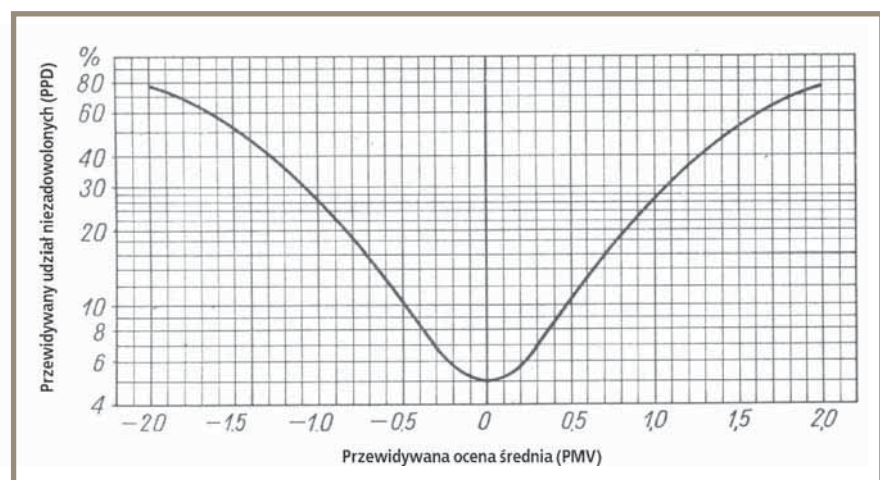
Dla danej wartości PMV można ponadto określić wskaźnik PPD, tj. przewidywany odsetek osób niezadowolonych, a więc oceniających zdecydowanie negatywnie badane środowisko termiczne [1, 2, 3]. W tym celu wykorzystywany jest wzór lub wykres opracowany na podstawie badań 1300 osób [2, 7], a następnie przeniesiony do normy [9].

Z uwagi na indywidualne różnice w odczuwaniu mikroklimatu, nie jest możliwe, aby wszystkie osoby przebywające w danym środowisku, w którym stworzono warunki komfortowe (tj. $-0,5 < \text{PMV} < +0,5$), zgodnie oceniali je jako satysfakcjonujące. Analityczny związek między udziałem niezadowolonych PPD i PMV przedstawiono na wykresie (rys. 2.). Wynika z niego, że 90% osób przebywających w pomieszczeniu, ocenia jego środowisko jako komfortowe, dla pozostałych 10% jest ono zimne (5%) lub gorące (5%) [2, 9].

Dyskomfort lokalny

Wskaźniki PMV i PPD wyrażają komfort bądź dyskomfort (PPD) dla całego ciała, a przecież może on dotyczyć tylko części ciała (tzw. dyskomfort lokalny). Dyskomfort lokalny odczuwają głównie osoby wykonujące pracę o małej aktywności oraz ze skłonnością do ziębnienia określonych części ciała. Podczas wykonywania bardziej intensywnych zajęć lokalne odczucia dyskomfortu mają mniejsze znaczenie [2, 9].

Wskaźniki charakteryzujące dyskomfort lokalny są zawarte w normie PN-EN ISO 7730:2006 (U) [11]. Dyskomfort wywołany przeciągiem jest określany za pomocą wskaźnika DR (*Draught Rate*), który określa odsetek osób wrażliwych na ruch powietrza o większej prędkości, oraz wskaźnika PD (*Percentage of Dissatisfied*), określającego odsetek osób niezadowolonych ze zmienności temperatury powietrza wynika wraz ze zmiany wysokości pomieszczenia lub asymetrii promieniowania przegród, gdzie:



Rys. 2. Przewidywany procent niezadowolonych PPD w funkcji przewidywanej oceny średniej PMV [2, 9]
Fig. 2. Predicted percentage of dissatisfied PPD in function of PMV [2, 9]

- różnice temperatury powietrza (np. pionowy gradient temperatury) – oznaczają pionową różnicę temperatury powietrza pomiędzy głową siedzącego człowieka (wysokość 1,1 m) a jego kostkami (0,3 m), (wykresy w normie przedstawiają wartość PD w funkcji gradientu temperatury powietrza)

- asymetria promieniowania – ma miejsce w przypadku występowania w pomieszczeniu przegród o temperaturze różnej od temperatury powietrza. W tym przypadku użytkownicy wykazują większą wrażliwość na asymetrię promieniowania wywołaną przez cieplejsze stropy lub zimne ściany (np. okna i ściany zewnętrzne zimą). W normie zamieszczono wykres oraz równania uwzględniające wartość PD wywołaną przez te czynniki.

Źródłem odczuwanego dyskomfortu w pomieszczeniach mogą być również oscylacje parametrów powietrza w czasie pracy systemu wentylacji i klimatyzacji, wśród których można wyróżnić [9]:

- zmiany temperatury powietrza – pojawiają się w przypadku możliwości regulowania temperatury bezpośrednio w pomieszczeniu; odczucie dyskomfortu powodują wahania temperatury przekraczające 1 °C

- strumienie powietrza o temperaturze niższej od temperatury środowiska – dyskomfort termiczny występuje, gdy różnica ta przekracza 2 °C.

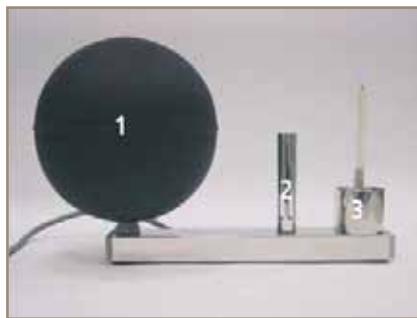
Pomiary i obliczenie wskaźnika PMV

Podstawą oceny środowiska w pomieszczeniach pod kątem komfortu termicznego jest norma PN-EN ISO 7730:2006 (U) [9]. Na prawidłowe przeprowadzenie badań oraz oceny komfortu termicznego w pomieszczeniach składają się trzy etapy.

Etap I

1. Ogólna ocena warunków pracy w pomieszczeniu na podstawie wywiadu z przedstawicielem służby bhp i pracownikami oraz analizy warunków termicznych pracy i stopnia jej intensywności (wydatku energetycznego, etap II p.1.)

2. Pomiar parametrów mikroklimatu środowiska na analizowanym stanowisku (stanowiskach) pracy, tj.: temperatury powietrza t_a , prędkości powietrza v_a , ciśnienia cząstkowego pary wodnej p_a , wilgotności względnej powietrza RH, temperatury promieniowania przegród oraz wyposażenia pomieszczenia t_r ,



Rys. 3. Zestaw czujników do pomiaru wartości parametrów powietrza w warunkach jednorodnych: 1 – czujnik temperatury poczernionej kuli; 2 – czujnik suchej temperatury powietrza; 3 – czujnik temperatury powietrza w stanie wilgotnym

Fig. 3. Sensors for assessing air parameters: 1 – black globe temperature; 2 – dry-bulb temperature; 3 – wet-bulb temperature



Rys. 4. Trzy zestawy czujników (por. rys. 3.) do pomiaru wartości parametrów powietrza w warunkach niejednorodnych

Fig. 4. Sensors for assessing air parameters in a non-uniform environment

temperatury poczernionej kuli t_r . Zestawy czujników do pomiarów parametrów powietrza w środowisku jednorodnym przedstawiono na rys. 3., natomiast w odniesieniu do środowiska niejednorodnego – 3 zestawy tych czujników przestawiono na rys. 4.

Etap II

1. Określenie (tabela B.1. normy [9]), ewentualnie pomiar metabolicznej produkcji ciepła (wydatku energetycznego) pracownika na analizowanym stanowisku pracy.

2. Określenie (tabela C.1. normy [9]), ewentualnie pomiar izolacyjności cieplnej odzieży ochronnej tego pracownika.

3. Obliczenie (na podstawie zmierzonych parametrów powietrza oraz danych uzyskanych w pkt. 1. i 2.) wskaźników komfortu: PMV za pomocą zamieszczonego w normie [9] równania lub programu, PPD na podstawie wykresu lub z równania (w przypadku dyskomfortu lokalnego obliczane są również wskaźniki DR oraz PD, zgodnie z wytycznymi przedstawionymi w punkcie 6. normy [9]).

Etap III

1. Porównanie obliczonego wskaźnika PMV z wartościami skali odczuć termicznych w celu orientacyjnej oceny subiektywnych odczuć warunków komfortu termicznego (tab. 1. normy [9]).

2. Porównanie obliczonych wskaźników PMV i PPD z wartościami odniesienia zawartymi w normie [9].

3. Przedstawienie wyniku przeprowadzonej oceny środowiska termicznego wraz z ewentualnymi wskazówkami dotyczącymi koniecznych modyfikacji, w celu zapewnienia komfortu termicznego.

Obliczanie wskaźników PMV i PPD na przykładzie pomieszczenia biurowego

Ocenę środowiska pracy pod kątem komfortu termicznego przeprowadzono w okresie zimowym, w czterech pomieszczeniach biurowych.

Etap I

Na podstawie wywiadu przeprowadzonego z przedstawicielem służby bhp i pracownikami ustalono, że cztery badane pomieszczenia mieszczą się w centralnej części budynku (nie występuje ryzyko zmiany temperatury ścian,

jakie pojawia się w pomieszczeniach, gdzie są ściany zewnętrzne) i posiadają system klimatyzacji (osoby tam przebywające nie mają możliwości otwierania okien). Wobec tego przyjęto, iż warunki termiczne w pomieszczeniach są utrzymywane na stałym poziomie przez cały, 8-godzinny dzień pracy, oraz że rozkład temperatur i prędkości powietrza w pomieszczeniach jest jednorodny. Ponadto, wszyscy pracownicy wykonują podobny rodzaj pracy, określany w normie [9] jako praca biurowa. Na podstawie tych ustaleń uznano, że pomiary zostaną przeprowadzone w 2 punktach pomiarowych (w miejscu przebywania pracowników) w każdym z analizowanych pomieszczeń biurowych. W punktach pomiarowych każdego pomieszczenia ustawiono odpowiednie czujniki (rys. 3.) do pomiaru parametrów powietrza. Po zakończeniu pomiarów uśredniono odczytane wartości każdego z mierzonych parametrów. W tabeli 1. przedstawiono uśrednione wyniki z 1. punktu w pomieszczeniu nr 1.

Etap II

Na podstawie tabeli B.1 normy [9] określono wydatek energetyczny (M) pracowników analizowanych pomieszczeń, który wynosił **70 W/m²**.

Na podstawie tabeli C.1 określono średnią wartość izolacyjności termicznej odzieży pracowników przebywających w analizowanym pomieszczeniu (*I_{cl}*) jako równą **0,142 m²K/W**.

Obliczenia wskaźników PMV oraz PPD przeprowadzono za pomocą programu zamieszczonego w normie [9]. W tabeli 2. przedstawiono przykładowo średnie wartości wskaźników PMV i PPD.

Etap III

Wartość obliczonego wskaźnika PMV mieściła się w granicach komfortu: tj. - 0,5 < PMV < +0,5, zaś odsetek osób niezadowolonych z warunków środowiska termicznego w pomieszczeniu wyniósł niecałe 6%, co potwierdziło, iż na analizowanych stanowiskach pracy zostały spełnione warunki komfortu cieplnego. Należy jednak zwrócić uwagę na niski poziom wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu, który – według obliczeń – wynosił RH = 34%. Zgodnie z postanowieniami normy PN-78/B-03421 [10], wilgotność w pomieszczeniach biurowych powinna wynosić od 40 do 60%. Stąd, mimo wypełnienia zaleceń dotyczących komfortu termicznego,

Tabela 1
WARTOŚCI ŚREDNIE I ŚREDNIE ODCHYLENIA STANDARDOWE ZMIERZONYCH PARAMETRÓW MIKROKLIMATU
Mean values and standard deviation of assessed environment parameters

Parametr	t _{ar} , °C	v _{ar} , m/s	p _{ar} , kPa	RH, %	t _e , °C	t _g , °C
Wartość średnia	21,73	0,02	0,89	33,99	21,28	21,61
Średnie odchylenie standardowe	0,3279	0,0172	0,1517	6,6946	0,2953	1,4796

Tabela 2
WYNIKI OSZACOWAŃ WSKAŹNIKÓW PMV i PPD
Results of estimated PMV and PPD indicators

Miejsce pomiaru	PMV przewidywana średnia ocena komfortu cieplnego	PPD przewidywany odsetek niezadowolonych
Punkt pomiarowy 1	- 0,18	5,67

użytkownicy badanych pomieszczeń są narażeni na zaburzenia związane z niską wilgotnością powietrza, np. wysuszenie śluzówki nosa czy wysychanie ust.

Z tego powodu w końcowym etapie badań zwrócono uwagę przedstawicielom służby bhp na potrzebę regulacji i zmiany parametrów powietrza dostarczanego do pomieszczeń.

Podsumowanie

Prezentowany artykuł dopełnia cykl publikacji zamieszczonych na łamach „Bezpieczeństwa Pracy” [11, 12] poświęconych metodom oceny stanowisk pracy w mikroklimacie gorącym, zimnym oraz umiarkowanym. Świadomość potrzeby zapewnienia komfortu termicznego na stanowiskach pracy jest jednak nadal w Polsce niewystarczająca, mimo że utrzymanie komfortu termicznego, z uwagi na jego wpływ na jakość i efektywność pracy, jest obecnie priorytetowym wymaganiam stawianym projektantom systemów wentylacji i klimatyzacji. Znajomość mechanizmów wymiany ciepła między człowiekiem a środowiskiem i podstawowych metod pomiarów środowisk termicznych, jest niezbędna zarówno dla specjalistów zajmujących się projektowaniem instalacji wentylacyjnych, klimatyzacyjnych i grzewczych w budynkach, jak i służby bhp oraz inspekcji pracy nadzorujących miejsca pracy pod kątem komfortu cieplnego.

PIŚMIENNICTWO

[1] ASHRAE, HVAC Fundamentals Handbook, 2001
 [2] P.O. Fanger *Komfort cieplny*, Arkady 1974
 [3] *Warunki pracy w 2005 r.* GUS, Warszawa 2006
 [4] K. Parson *Human thermal environments. The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance*. Taylor&Francis 2003
 [5] W. Z. Traczyk, A. Trzebski *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii klinicznej i stosowanej*. PZWL Warszawa 2004
 [6] S. Kozłowski, K. Nazar *Wprowadzenie do fizjologii klinicznej*. PZWL Warszawa 1995
 [7] L. Śliwowski *Mikroklimat wnętrz i komfort cieplny ludzi w pomieszczeniach*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000
 [8] E. Śliwińska *Komfort cieplny ludzi na chłodnych i termoneutralnych stanowiskach pracy*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1988
 [9] PN-EN ISO 7730:2006(U): *Ergonomia. Środowisko termicznie umiarkowane. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego*
 [10] PN-78/B-03421: *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi*
 [11] I. Sudoł-Szopińska, A. Sobolewski, A. Chojnacka *Ocena obciążenia termicznego pracowników za pomocą wskaźnika WBGT – aspekty praktyczne*. „Bezpieczeństwo Pracy” 10(421)2006, 16-20
 [12] I. Sudoł-Szopińska, A. Chojnacka *Praktyczne aspekty oceny narażenia pracowników zatrudnionych w warunkach środowiska zimnego za pomocą wskaźników WCI i IREQ*. „Bezpieczeństwo Pracy” 2(425)2007, 16-19

Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach programu wieloletniego pn. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej” dofinansowywanego w latach 2005-2007 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy