

Jan KACZMARCZYK

Politechnika Śląska w Gliwicach

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Techniki Odpylania

METODY BADANIA I OCENY ŚRODOWISKA CIEPLNEGO POMIESZCZEŃ

Streszczenie. Jednym z głównych zadań stawianych budynkowi jest zapewnienie odpowiedniej jakości środowiska wewnętrznego jego użytkownikom. Ważnym elementem tego środowiska są warunki cieplne, które decydują o odczuwaniu komfortu bądź też dyskomfortu cieplnego ogólnego lub lokalnego. W celu właściwej analizy właściwości cieplnych pomieszczeń konieczne jest wykonanie pomiarów parametrów środowiska przy zastosowaniu odpowiednich procedur oraz właściwa interpretacja otrzymanych wyników. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie metod oceny środowiska cieplnego oraz metod badania wpływu warunków cieplnych środowiska na odczucia ludzi.

METHODS OF INVESTIGATION AND EVALUATION OF THERMAL ENVIRONMENT INDOORS

Summary. One of the main purposes of building is to provide its occupants with indoor environment of an appropriate quality. Important aspects of this environment are thermal conditions, which determine occupants' thermal comfort or general or local thermal discomfort. In order to evaluate thermal environment it is necessary to perform measurements of thermal conditions as well as to interpret correctly the results obtained. The aim of this article is to demonstrate procedures for evaluation of thermal environment and to present methods of studying human response to thermal conditions.

1. Wstęp

Budynek jest obiektem wydzielonym ze środowiska przegrodami budowlanymi. Jednym z zadań budynku przeznaczonego na przebywanie ludzi jest odizolowanie jego użytkowników od niekorzystnych warunków panujących na zewnątrz oraz stworzenie komfortowego

środowiska wewnętrznego. Na jakość tego środowiska ma wpływ wiele czynników, takich jak usytuowanie i konstrukcja budynku, zastosowane instalacje grzewcze i wentylacyjne oraz sposób ich eksploatacji.

Badania wykazały, że zły jakości środowisko wewnętrzne ma negatywny wpływ na samopoczucie, zdrowie, a w przypadku miejsc pracy również na wydajność pracy osób w nich przebywających [10, 21, 24]. Wskutek pogorszonych warunków cieplnych w pomieszczeniach biurowych spadek wydajności pracy oszacowano na 5-15% [23]. Projektanci powinni, stosując dostępne środki i wiedzę, tak kreować budynek i kształtować środowisko wewnętrzne, aby przebywający w nim człowiek czuł się komfortowo.

Ocena środowiska, którego bardzo istotnym elementem jest środowisko cieplne, przeprowadzana w istniejących obiektach jest sprawdzianem słuszności przyjętych reguł i zastosowanych rozwiązań przy projektowaniu budynków i ich wyposażenia. Jest miarą właściwej realizacji projektu oraz należytej eksploatacji pomieszczenia i urządzeń. Wynik takich analiz może być źródłem wskazówek do poprawy istniejącego stanu oraz do przyszłego, lepszego projektowania.

Celem niniejszego artykułu jest przybliżenie najistotniejszych zagadnień dotyczących środowiska cieplnego pomieszczeń oraz omówienie najważniejszych zasad przeprowadzania oceny jakości środowiska i najczęściej stosowanych metod.

2. Człowiek a środowisko cieplne

Sprawdzenie tego, czy w danym pomieszczeniu jego użytkownicy będą zadowoleni z warunków cieplnych, tj. czy będą odczuwać komfort cieplny, nie jest łatwe. Odczuwanie komfortu lub też jego braku jest wynikiem złożonych relacji pomiędzy warunkami środowiska a odczuciami człowieka, relacje te stanowi zaś wiele procesów fizjologicznych, psychologicznych oraz często również różnych zachowań ludzi.

Między ciałem człowieka a środowiskiem zachodzi nieustanna wymiana ciepła. Odbywa się ona czterema drogami: przez konwekcję, promieniowanie, przewodzenie oraz odparowywanie potu. Przepływ ciepła zależy od parametrów fizycznych otoczenia, takich jak: temperatura powietrza, średnia temperatura promieniowania, wilgotność (ciśnienie cząstkowe pary wodnej) i prędkość ruchu powietrza. Wartości tych parametrów analizowane osobno nie są wystarczające, aby wskazać, czy równowaga będzie utrzymana czy też nie, a więc czy będą spełnione warunki odczuwania komfortu. Często decydującymi będą tutaj inne czynniki, niezależne od środowiska, takie jak: ilość produkowanego przez organizm ciepła (metabolizm), która uzależniona jest od aktywności człowieka, oraz izolacyjność cieplna noszonych ubrań, a więc czynniki zależne od samego człowieka.

Do prawidłowego funkcjonowania organizmu człowieka konieczne jest utrzymanie stałej temperatury wewnętrznych jego organów, która w stanie równowagi cieplnej wynosi $37\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ [7]. Jest to możliwe dzięki mechanizmowi termoregulacji, który odpowiednio dostosowując temperaturę skóry oraz wydzielanie potu, pozwala na zatrzymanie niezbędnej ilości ciepła lub też odprowadzenie jego nadmiaru. W przypadku wyższych temperatur otoczenia temperatura skóry obniży się oraz zwiększy się wydzielanie potu, oba te zjawiska spowodują intensyfikację oddawania ciepła do otoczenia. Naturalne w tej sytuacji jest również to, że ludzie zakładając będą lżejsze ubrania. Zmiana któregokolwiek z parametrów, jak chociażby ubranie ciepłego swetra, spowoduje, że równowaga ustali się na innym poziomie, co może wywołać inne odczucia cieplne. Utrzymanie równowagi cieplnej ciała człowieka ze środowiskiem jest więc procesem dynamicznym, jest jednak również jednym z koniecznych warunków do zapewnienia komfortu cieplnego.

Komfort cieplny całego organizmu utożsamiany jest często ze stanem, w którym odczucia cieplne można opisać jako obojętne, tzn. ani za zimno, ani za ciepło. Istnieją jednak, sytuacje, w których człowiek, pomimo iż generalnie swoje odczucia cieplne może określić jako neutralne, będzie odczuwał dyskomfort ze względu na lokalne nadmierne schłodzenie lub ogrzanie pewnych części ciała. Najczęstszą przyczyną dyskomfortu cieplnego jest lokalne ochłodzenie ciała spowodowane nadmierną prędkością powietrza. Dyskomfort odczuwany będzie najdotkliwiej przez części ciała, najczęściej odsłonięte, które są bezpośrednio narażone na przepływy powietrza. Odczucie przeciągu zależy jednak nie tylko od prędkości powietrza, ale także od jego temperatury. Im niższa temperatura, tym niższe prędkości będą postrzegane jako niekomfortowe. Przepływy w pomieszczeniach mają zmienny charakter, tj. występują fluktuacje prędkości. Ustalono, że zakres wyższych wartości fluktuacji jest bardziej niekorzystny.

Do innych czynników powodujących lokalny dyskomfort należą także: zbyt duży pionowy gradient temperatury powietrza, niepożądana asymetria promieniowania wywołana np. dużą powierzchnią okien (zimną chłodne, latem są źródłem bezpośredniego promieniowania słonecznego) oraz nieodpowiednia temperatura podłogi.

3. Metody pomiaru parametrów cieplnych środowiska

Pomiary fizycznych parametrów środowiska budynków ograniczają się zazwyczaj do pomiarów temperatury powietrza, czasem również jego wilgotności, w jednym, przypadkowo wybranym punkcie pomieszczenia. Dla badanych niewielkich pomieszczeń popełniany błąd będzie nieznaczny, jednak w przypadku dużych pomieszczeń, takich jak coraz częściej spotykane otwarte biura, niejednorodność środowiska może być znacząca i konieczny będzie

wtedy bardziej przemyślany wybór jednej lub wielu lokalizacji punktów pomiarowych. Do bardziej szczegółowej identyfikacji panujących warunków konieczne jest przeprowadzenie badań obejmujących pomiary przestrzennego rozkładu prędkości powietrza i temperatur.

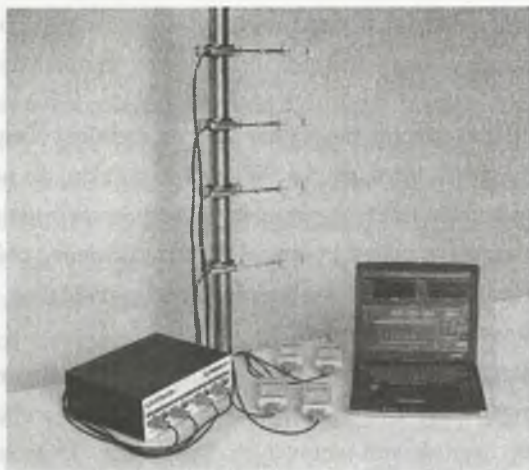
Podstawą właściwie wykonanej kompleksowej oceny warunków cieplnych są pomiary czterech podstawowych parametrów: temperatury powietrza, średniej temperatury promieniowania, wilgotności oraz prędkości powietrza.

Pomiary te powinny być wykonywane w strefie przebywania ludzi. Strefę tę najczęściej definiuje się jako przestrzeń zamkniętą od góry umowną płaszczyzną o wysokości 1,8 m i płaszczyznami oddalonymi 1 m od ścian zewnętrznych [2]. W praktyce zdarza się jednak, że konieczne jest wykonanie pomiarów w strefie bliższej niż 1 m od ściany, w przypadku gdy miejsce przebywania osoby, ewentualnie stanowisko pracy, zostało zlokalizowane bliżej. Najbardziej właściwe podejście prezentowane jest w normie PN-EN 15251, według której pomiary powinno się przeprowadzać w reprezentatywnych miejscach pomieszczenia, w których użytkownicy spędzają większość czasu. W tych miejscach pomiary powinny być wykonane na trzech wysokościach: karku, tułowia i stóp, przy czym wysokości należy dostosować do pozycji ciała człowieka, które zdefiniowane zostały przez PN-EN ISO 7730 i ASHRAE 55.

W przypadku długoterminowych pomiarów środowiska wewnętrznego EN 15251 dopuszcza wyłączny pomiar temperatury powietrza, bez rejestracji pozostałych parametrów, pod warunkiem, że temperatura promieniowania może zostać oszacowana. W tym przypadku pomiary temperatury powietrza należy wykonywać przez odpowiednio długi czas (np. 10 dni) w dwóch reprezentatywnych okresach roku: letnim i zimowym. Okresy te zdefiniowane są przez średnią temperaturę zewnętrzną: wyższą niż średnia z trzech najcieplejszych miesięcy dla okresu letniego oraz niższą niż średnia z trzech najchłodniejszych miesięcy dla okresu zimowego.

Bardzo istotną sprawą dotyczącą pomiarów jest właściwy dobór urządzeń, uwzględniający specyfikę mierzonego środowiska. Przykładem może być dobór odpowiedniego anemometru do pomiaru prędkości powietrza. Prędkość powietrza w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi jest zazwyczaj niska, niższa od 0,5 m/s, jednak fluktuacje tej prędkości mogą być znaczne. Rzadko też można jednoznacznie określić kierunek przepływającego powietrza, dlatego też właściwe będzie tutaj zastosowanie wielokierunkowych termoanemometrów. Przykładowe anemometry pokazano na rys. 1.

Wykonując pomiar jakiegokolwiek parametru fizycznego, należy mieć na uwadze możliwości używanych mierników, tj. ich dokładność oraz szybkość odpowiedzi. Nie można zapominać również o konieczności ich systematycznej kalibracji. Sposób wykonania pomiarów oraz zastosowane przyrządy pomiarowe powinny spełniać wymagania normy PN-EN ISO 7726. Zagadnienia dotyczące mierników i ich zastosowań zostały również szeroko przedstawione w literaturze [11, 14, 16].



Rys. 1. Zestaw wielokierunkowych termooanemometrów do pomiaru prędkości powietrza

Źródło: www.sensor-electronic.pl

Fig. 1. Omnidirectional thermal anemometers for velocity measurements

Source: www.sensor-electronic.pl

Wielość zastosowanych urządzeń pomiarowych powoduje problemy logistyczne szczególnie wtedy, gdy w tym samym czasie wykonuje się też inne pomiary, np. pomiary jakości powietrza. Dlatego wykonując kompleksowe pomiary środowiska, coraz częściej stosuje się mobilne wózki, na których zestawione są wszystkie urządzenia. Takie rozwiązanie daje możliwość zastosowania lokalnego zasilania z baterii zamontowanej na wózku, co eliminuje konieczność doprowadzenia zasilania indywidualnie do każdego z urządzeń. Przykład takiego mobilnego urządzenia przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Mobilny zestaw do pomiaru środowiska cieplnego pomieszczeń

Fig. 2. Mobile set for measurements of thermal environment parameters

4. Metody oceny środowiska cieplnego

Zmierzone parametry cieplne nie wystarczają do rzetelnej oceny środowiska pod kątem jego akceptowalności przez użytkownika. Wynika to z faktu, że nie wartość pojedynczego parametru, a dopiero kombinacja tych parametrów decydować będzie o odczuciach cieplnych ludzi. W celu uproszczenia opisu środowiska i umożliwienia obiektywnej oceny dążono do wyznaczenia jednej, umownej wielkości, która pozwalałaby w sposób jednoznaczny określić jakość środowiska cieplnego.

Wielkością najczęściej utożsamianą ze środowiskiem cieplnym, z którą spotykamy się na co dzień, jest temperatura. Dlatego też w celu całościowego opisu środowiska cieplnego często posługuje się wartościami umownych temperatur, które są definiowane w różny sposób.

Jednym z częściej stosowanych wskaźników jest temperatura operatywna (inaczej: temperatura operacyjna), czyli równomierna temperatura powierzchni promieniującej ciała czarnego, w którym użytkownik wymieniałby tę samą ilość ciepła drogą promieniowania i konwekcji co w rzeczywistej niejednorodnej przestrzeni [18]. Wskaźnik ten wiąże temperaturę powietrza i średnią temperaturę promieniowania, ale nie uwzględnia wpływu innych zmiennych fizycznych (takich jak prędkość powietrza i wilgotność) oraz czynników związanych z fizjologią człowieka. W przypadku niewielkich prędkości powietrza w pomieszczeniu ($<0,2$ m/s) temperaturę operatywną można obliczyć jako średnią dwóch zmierzonych temperatur, gdy prędkości są wyższe, należy uwzględnić odpowiednie współczynniki. Temperaturę operatywną można także zmierzyć bezpośrednio za pomocą miernika temperatury operatywnej. Norma PN-EN ISO 7730 podaje przykładowe zakresy temperatur operatywnych w zależności od aktywności fizycznej człowieka i izolacyjności odzieży oraz przy wilgotności względnej 50%, w których ludzie odczuwać będą komfort.

Wskaźnikiem, który oprócz temperatury powietrza i temperatury promieniowania otaczających przegród uwzględnia również chłodzący wpływ poruszającego się powietrza, jest temperatura równoważna (t_{eq}). W przypadku gdy prędkość powietrza jest mała (poniżej 0,1 m/s), t_{eq} jest równa temperaturze operatywnej. Temperaturę równoważną wyznacza się za pomocą takiego samego miernika, jak do pomiaru temperatury operatywnej, z tą jednak różnicą, że powierzchnia czujnika jest ogrzewana. Inną metodą wyznaczania temperatury równoważnej, bardziej dokładną, jest metoda wykorzystująca manekiny cieplne, których powierzchnia ogrzewana jest do temperatury ciała człowieka odczuwającego w danych warunkach komfort cieplny [22]. Użycie manekinów jest kosztowne i skomplikowane, dlatego wskaźnik ten nie znajduje zastosowania do oceny środowisk cieplnych w budynkach i ma w dużej mierze znaczenie teoretyczne. Metodę tę wykorzystuje się jednak w warunkach laboratoryjnych, badając np. wpływ lokalnych systemów chłodzenia i ogrzewania [13].

Wskaźnikiem o szerszym zastosowaniu jest temperatura efektywna (ET^*), która zdefiniowana jest jako temperatura powierzchni promieniującej ciała doskonale czarnego, wypełnionego powietrzem o wilgotności względnej 50%, w którym człowiek wymieniałby przez powierzchnię skóry taką samą ilość ciepła, jaką wymienia w rzeczywistej niejednorodnej przestrzeni. Środowiska o różnych temperaturach powietrza i temperaturach promieniowania oraz o różnych wilgotnościach, ale takich samych wartościach temperatury efektywnej ET^* i takich samych prędkościach powietrza, będą wywoływały takie same odczucia cieplne osób w nich przebywających [3].

Oceniając środowisko cieplne w budynkach, można się posłużyć wskaźnikiem PMV (z ang. Predicted Mean Vote), który wyraża przewidywaną średnią ocenę środowiska w 7-stopniowej skali ocen. Gradację odczuć cieplnych odpowiadających skali PMV zawiera skala ASHRAE (rys. 3). Poszczególnym odczuciom cieplnym przypisano wartości liczbowe od -3 do +3. Model PMV bazuje na empirycznym równaniu iteracyjnym, które wiąże odczucia ludzi z czterema podstawowymi parametrami cieplnymi: temperaturą powietrza, średnią temperaturą promieniowania, prędkością i wilgotnością powietrza oraz z dwoma czynnikami związanymi z człowiekiem: jego metabolizmem oraz ubiorem. Pomiedzy odczuciami cieplnymi a odsetkiem ludzi niezadowolonych istnieje ścisły związek, który został opisany modelem PPD (z ang. Predicted Percentage of Dissatisfied), wyrażającym przewidywany odsetek niezadowolonych z tego środowiska. Metoda oceny środowiska za pomocą tych modeli znalazła miejsce w normach amerykańskiej ASHRAE 55 oraz międzynarodowej PN-EN ISO 7730.

Model PMV jest modelem statycznym, tj. zakłada on stałość warunków cieplnych panujących w pomieszczeniu lub tylko nieznaczne ich wahania oraz stałość aktywności człowieka. Wykazano, że PMV prawidłowo przewiduje odczucie cieplne bezpośrednio po skokowym wzroście temperatury, natomiast po skokowym obniżeniu temperatury dopiero po 20 min od zmiany [5]. Podstawą modeli PMV i PPD są wyniki badań przeprowadzonych z ludźmi w komorach klimatycznych w ściśle określonych, kontrolowanych warunkach.

Badania przeprowadzone w budynkach w cieplejszym klimacie pokazały jednak, że model PMV mało dokładnie przewiduje odczucia ludzi w budynkach z wentylacją naturalną, tzn. bez wentylacji mechanicznej. W przypadku tych pomieszczeń okazało się, że przewidywane wartości średnich ocen oraz odsetek ludzi niezadowolonych mogą być zawyżone, a ludzie odczuwają komfort w szerszym zakresie parametrów cieplnych [9]. Dla pomieszczeń klimatyzowanych zgodność ta była zadowalająca. Model PMV zdefiniowany został dla ściśle kontrolowanych warunków, które przypominają sytuację pomieszczeń klimatyzowanych. Dla poprawienia jakości przewidywań odczuć cieplnych również w budynkach z wentylacją naturalną zaproponowano wprowadzenie wskaźnika korygującego, uwzględniającego różne oczekiwania ludzi. Ludzie pracujący w budynkach z wentylacją naturalną wiedzą, że klimat panujący wewnątrz tych pomieszczeń może ulegać znacznym wahaniom oraz że powinni być aktywni w kształtowaniu tego środowiska przez np. otwarcie

okna, użycie zasłon czy też innych dostępnych środków. Na podstawie badań prowadzonych w ramach projektu badawczego ASHRAE RP-884 został zaproponowany model adaptacyjny. Model opisano równaniem regresji liniowej, które zawiera zależność pomiędzy operatywną temperaturą wewnętrzną i miesięczną przeciętną temperaturą zewnętrzną, będącą jedyną zmienną [6]. Model ten został zamieszczony w normie ASHRAE 55, wskazując zakresy operatywnych temperatur wewnętrznych, które zadowolą 80 i 90% użytkowników przy różnych zewnętrznych temperaturach powietrza. Wykorzystano go również w normie PN-EN ISO 15251.

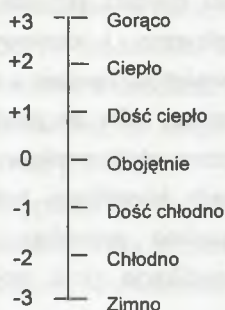
Odrębnym problemem jest wyznaczenie dyskomfortu lokalnego spowodowanego nadmiernym schłodzeniem tylko części ciała. W tym celu skonstruowany został model ryzyka przeciągu DR (z ang. Draught Rate), za pomocą którego bazując na pomiarze średniej prędkości powietrza, fluktuacji prędkości oraz temperatury powietrza, można przewidzieć odsetek osób mogących w danych warunkach odczuwać przeciąg [18].

Oceniając środowisko cieplne należy mieć na uwadze, że wszystkie opracowane modele, wykorzystujące wyniki przeprowadzonych pomiarów, opierają się na statystycznych analizach odczuć cieplnych dużej grupy ludzi, co w praktyce oznacza, że niemożliwe jest przewidzenie odczuć konkretnej osoby, a jedynie odczucia najbardziej prawdopodobne.

5. Badania kwestionariuszowe

Odczucie komfortu cieplnego jest sprawą indywidualną, uzależnioną od zewnętrznych warunków fizycznych, ale również wewnętrznych procesów fizjologicznych i uwarunkowań psychologicznych.

Najbardziej wiarygodnym sposobem weryfikacji jakości środowiska cieplnego oraz identyfikacji ewentualnych problemów z nim związanych jest bezpośredni dialog z osobami przebywającymi w tym środowisku. Nierzadko też stosowane są sondaże ankietowe, w których szczególnej analizie poddaje się poszczególne aspekty dyskomfortu. Przykłady ankiet można znaleźć w literaturze fachowej [4, 15]. Szczególne miejsce w takich ankietach ma pytanie dotyczące odczuć cieplnych. Standardowo odczucia cieplne oceniane są za pomocą 7-punktowej ciągłej skali odczuć cieplnych, jak pokazano na rys. 3. Osoba ankietowana dokonuje oceny przez zaznaczenie kreską na skali własnych odczuć cieplnych. Skala ta nazywana jest skalą ASHRAE. W niektórych badaniach stosowana jest podobna, również 7-stopniowa skala Bedforda, jednak jest ona używana znacznie rzadziej.



Rys. 3. 7-stopniowa skala odczuć cieplnych ASHRAE

Fig. 3. ASHRAE 7-point thermal sensation scale

W ankietach dotyczących odczuć cieplnych należy uwzględnić także rodzaj czynności wykonywanej przed wypełnieniem kwestionariusza w czasie godziny poprzedzającej test, noszony ubiór czy też stan samopoczucia.

6. Kategoryzacja budynków

Na podstawie pomiarów parametrów środowiska oraz wykonanej analizy wyników badane pomieszczenia można sklasyfikować według jakości panującego w nich środowiska cieplnego, którego wykładnikiem jest przewidywany odsetek osób niezadowolonych. Ze względu na różny stopień wymagań w stosunku do środowiska cieplnego zdefiniowano trzy kategorie A, B i C [20, 18]. Kategoria A przyporządkowana została pomieszczeniom o najsurowszych wymaganiach i najwyższej jakości, kategoria B pomieszczeniom o średnich wymaganiach, zaś kategoria C pomieszczeniom o wymaganiach umiarkowanych. Minimalne kryteria dla danej kategorii przedstawiane zostały w tabeli 1.

Tabela 1

Kryteria kwalifikujące środowisko wewnętrzne do kategorii A, B lub C, wyrażone przez odsetek ludzi niezadowolonych z wymienionych czynników środowiska

Kategoria	Komfort cieplny całego ciała		Lokalny dyskomfort cieplny			
	PPD (%)	PMV	Odsetek niezadowolonych (%) spowodowany przez:			
			przeciąg DR	pionowy gradient temperatury	temperaturę podłogi	asymetrię promieniowania
A	<6	-0,2<PMV<+0,2	< 15	<3	< 10	<5
B	<10	-0,5<PMV<+0,5	<20	<5	< 10	<5
C	<15	-0,7<PMV<+0,7	<25	< 10	< 15	< 10

Podobna klasyfikacja została również przyjęta przez PN-EN 15521. Jako podstawę podziału uznano jednak przestrzenny i czasowy rozkład zmierzonych parametrów, a w szczególności temperatury powietrza. Zgodnie z tą klasyfikacją dla każdej z kategorii A, B i C wyznaczono zakres temperatur, które nie powinny być przekroczone na większej niż 5% powierzchni zajmowanej przez użytkowników przez więcej niż 3% czasu w roku. W normie podano również zasady klasyfikacji budynku pod kątem innych niż cieplne aspekty środowiska oraz podano procedury ogólnej oceny jakości środowiska wewnętrznego. Powyższa klasyfikacja jest podstawą do certyfikacji środowiska wewnętrznego.

7. Podsumowanie

Ocena jakości środowiska cieplnego pomieszczeń pod kątem warunków komfortu użytkowników jest procesem złożonym, obejmującym kilka etapów. Podstawą właściwej analizy środowiska są prawidłowo przeprowadzone pomiary wykonane z zastosowaniem właściwej metody oraz za pomocą odpowiednio dobranych mierników. Dopiero poprawnie wykonane pomiary są podstawą do analizy jakości środowiska. Również na tym etapie należy właściwie wybrać metodę analityczną. W celu bezpośredniej oceny środowiska można dodatkowo zastosować badania ankietowe, odpowiednio dobierając pytania.

Zagadnienia przedstawione w artykule nie wyczerpują tematyki oceny jakości środowiska cieplnego. Bardziej szczegółowe informacje znajdują się w załączonej literaturze.

Bibliografia

1. ASHRAE RP-884. Developing Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference.
2. ASHRAE 55:2004. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
3. ASHRAE Handbook Fundamentals. Chapter 8: Thermal comfort. Atlanta 2005.
4. Bauman F.S., Carter T.G., Baughman A., Arens E.A.: Field study of the impact of a desktop task/ambient conditioning system in office buildings.
5. de Dear R.J., Ring J.W., Fanger P.O.: Thermal sensations resulting from sudden ambient temperature changes. *Indoor Air*, Vol. 3/1993, p. 181-192.
6. de Dear R.J., Brager G.S.: Developing an adaptive model of thermal comfort and performance. *ASHRAE Transactions*, Vol.104/1998, p. 145.

7. Fanger P.O.: *Komfort cieplny*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1974.
8. Fanger P.O., Popiołek Z., Wargocki P.: *Środowisko wewnętrzne. Wpływ na zdrowie, komfort i wydajność pracy*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
9. Humphreys M.A., Nicol J.F.: Understanding the adaptive approach of thermal comfort. *ASHRAE Transactions*, Vol. 104/1988, p. 991-1004.
10. Jaakkola J.J.K., Heinonen O.P., Seppänen O.: Sick building syndrome, sensation of dryness and thermal comfort in relation to room temperature in an office building: Need for individual control of temperature. *Environment International*, Vol. 15/1989, p.163-168.
11. Kabza Z., Kostyrko K., Zator S., Łobzowski A., Szkolnikowski W.: *Regulacja mikroklimatu pomieszczenia*. Agenda Wydawnicza Pomiary Automatyka Kontrola, Warszawa 2005.
12. Kabza Z., Kostyrko K.: *Metrologia mikroklimatu pomieszczenia i środowiskowych wielkości fizycznych. Cz. I i II*. Wydawnictwo Politechniki Opolskiej, Opole 2003.
13. Kaczmarczyk J., Melikov A.: *Metody testowania osobistej wentylacji*, [w:] Popiołek Z. (red.): *Energooszczędne kształtowanie środowiska wewnętrznego*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
14. Kostyrko K., Łobzowski A.: *Klimat: Pomiary Regulacja*. Agenda Wydawnicza Pomiary Automatyka Kontrola, Warszawa 2002.
15. Melikov A., Halkjaer L., Arakelian R.S., Fanger P.O.: Spot cooling. Part 1: Human responses to cooling with air jets. *ASHRAE Transactions*, Vol. 100/1994, p. 476-499.
16. Melikov A., Popiołek Z., Finkelstein W., Sefker T., Care I.: Requirements and guidelines for low-velocity measurements. *ASHRAE Transactions*, 1998, p. 1529-1539.
17. PN-EN ISO 7726: 2002. *Ergonomia środowiska termicznego – Przyrządy do pomiaru wielkości fizycznych*.
18. PN-EN ISO 7730: 2006. *Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego*.
19. PN-EN 15251: 2007. *Kryteria środowiska wewnętrznego, obejmujące warunki cieplne, jakość powietrza wewnętrznego, oświetlenie i hałas*.
20. Raport CEN, CR 1752: 1998. *Ventilation for buildings – Design criteria for the indoor environment*.
21. Seppänen O., Fisk W., Faulkner D.: Control of temperature for health and productivity in offices. *ASHRAE Transactions*, Vol. 111/2005, p. 680-686.
22. Tanabe S., Arens E.A., Bauman F.S., Zhang H., Madsen T.L.: Evaluating thermal environments by using a thermal manikin with controlled skin surface temperature. *ASHRAE Transactions*, Vol. 1/1994, p. 39-48.

23. Wyon D.: Discomfort due to vertical thermal gradients Indoor Air, Vol. 6/1996, p. 48-54.
24. Wyon D. (1993) Healthy buildings and their impact on productivity. Proceedings of Indoor Air, Vol. 6/1993, p. 3-13.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Krystyna Kostyrko