

Komfort termiczny w

Zapewnienie pracownikom poczucia komfortu cieplnego poprzez regulację odpowiednich parametrów środowiska pracy przekłada się, m.in. na zmniejszenie liczby popełnianych błędów, ograniczenie liczby wypadków oraz chorób zawodowych, a także poprawę wydajności pracy oraz jakości produktów i usług. Dokument przygotowany przez Centrum Tematyczne *Research on Work and Health* Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy wykazał, że dyskomfort termiczny jest identyfikowany jako jeden z głównych fizycznych czynników ryzyka w środowisku pracy. W 2005 roku w warunkach mikroklimatu gorącego zatrudnionych było 17,4 tys., a zimnego – 18,3 tys. pracowników w Polsce.

W artykule przedstawiono możliwości analizy środowiska pracy pod względem komfortu termicznego, na podstawie norm: PN-78/B-03421, PN-ISO 7730:2006(U), prEN 15251. Zwrócono przede wszystkim uwagę na ich aspekt praktyczny, tzn. możliwość projektowania budynków i pomieszczeń spełniających wymagania komfortu cieplnego oraz ocenę komfortu termicznego pomieszczeń.

Thermal comfort in office areas in the aspect of standards

Ensuring employees' thermal comfort by means of regulating and controlling relevant environment parameters means, inter alia, a decrease in the number of mistakes, accidents, and an increase in productivity and quality of products and services. A document prepared by the Research on Work and Health Topic Centre of the European Occupational Safety and Health Administration has shown that thermal discomfort is a principal physical risk factors in the work environment. In 2005, 17 400 workers were employed in the hot environment, and 18 300 in the cold environment in Poland. Estimation of the thermal load of employees exposed to a hot or a cold environment has been discussed in previous papers published in "Bezpieczeństwo Pracy".

This paper presents the possibilities of analysing thermal comfort in the work environment according to standards PN-78/B-03421, PN-ISO 7730:2006(U) and prEN 15251. Practical aspects, i.e., the possibility of designing buildings according to the requirements of thermal comfort and estimation of thermal comfort in rooms are discussed, too.

mgr inż. ANNA CHOJNACKA
dr hab. n. med. IWONA SUDOŁ-SZOPIŃSKA

Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Wstęp

Temperatura otoczenia jest jednym z podstawowych czynników środowiska wpływających na odczucie komfortu. W sytuacji balansu cieplnego, a więc zrównoważenia ilości ciepła powstającego w organizmie (w czasie przemian metabolicznych) z ilością oddawaną do środowiska na drodze promieniowania, konwekcji i przewodzenia, człowiek znajduje się w stanie równowagi termicznej – odczuwa komfort termiczny [1, 2].

Zapewnienie pracownikom poczucia komfortu cieplnego przez regulację odpowiednich parametrów środowiska pracy przekłada się m.in. na poprawę koncentracji, zmniejszenie liczby popełnianych błędów, ograniczenie liczby wypadków oraz chorób zawodowych (np. układu oddechowego), tym samym zmniejszenie absencji zawodowej, a także poprawę wydajności pracy, jakości produktów i usług [3]. Kwestia komfortu termicznego w pomieszczeniach biurowych jest od wielu lat przedmiotem norm: PN-78/B-03421: *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi* [4] oraz PN-EN ISO 7730:2006(U): *Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczenie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego* [5]. Zagadnienie szeroko rozumianego komfortu użytkowników zostało także ujęte w projekcie normy prPN-prEN 15251: *Kryteria środowiska wewnętrznego, obejmujące warunki cieplne, jakość powietrza wewnętrznego, oświetlenie i hałas* [6].

Dokument przygotowany przez Centrum Tematyczne *Research on Work and Health* Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa

i Zdrowia w Pracy [7], wymienia dyskomfort termiczny jako jeden z podstawowych fizycznych czynników ryzyka w środowisku pracy. Dowodzi to, iż problem ten wymaga zarówno podjęcia go w planowanych badaniach naukowych, jak i działaniach służby bhp.

W niniejszym artykule przedstawiono zakres tych dokumentów, zwracając uwagę przede wszystkim na aspekt praktyczny, tj. możliwość projektowania i oceny pomieszczeń pod względem zapewnienia komfortu cieplnego.

Norma PN-78/B-03421

Pierwszą normą, w której uwzględniono parametry środowiska wewnętrznego, jakie powinny być zachowane w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi była norma PN-78/B-03421 [4]. W dokumencie tym zdefiniowano wymagane, do zapewnienia komfortu cieplnego, wartości temperatury powietrza, wilgotności względnej oraz prędkości powietrza, w zależności od intensywności pracy oraz od pory roku (lato/zima).

W odniesieniu do poszczególnych stopni aktywności fizycznej, za optymalne uznano warunki mikroklimatu pomieszczeń, określone przez następujące zakresy czynników środowiskowych [4]:

- przy małym tempie metabolizmu (np. szycie, pisanie na maszynie): temperatura powietrza zimą 20-22 °C, latem 23-26 °C, wilgotność względna latem 40-55%, maksymalna prędkość ruchu powietrza zimą 0,2 m/s, latem 0,3 m/s

- przy średnim tempie metabolizmu (np. wbijanie gwoździ, tynkowanie) temperatura powietrza zimą 18-20 °C, latem 20-23 °C, wilgotność względna latem 40-60%, maksymalna prędkość ruchu powietrza zimą 0,2 m/s, latem 0,4 m/s

W pomieszczeniach biurowych w aspekcie norm

• przy dużym tempie metabolizmu (np. praca siekierą, przenoszenie ciężkich przedmiotów) temperatura powietrza zimą 15-18 °C, latem 18-21 °C, wilgotność względna latem 40-60%, prędkość ruchu powietrza zimą maksymalnie 0,3 m/s, latem 0,6 m/s.

We wszystkich wymienionych wariantach wilgotność względna powietrza zimą powinna mieścić się w zakresie 40-60%.

Przez długi czas norma ta stanowiła dla projektantów podstawę selekcji urządzeń oraz rozwiązań w zakresie wentylacji i klimatyzacji, mimo że cechowały ją pewne ograniczenia. Po pierwsze, nie uwzględniała indywidualnych różnic w odczuwaniu i reagowaniu na warunki środowiska termicznego w danym pomieszczeniu, przez przebywające w nim osoby. Po drugie, uniemożliwiała określenie odsetka osób oceniających zaproponowane warunki jako pozytywne lub negatywne. Dopiero badania prowadzone przez P.O. Fanger [1] w Laboratorium Środowiska Wewnętrznego i Energii w Duńskim Uniwersytecie Technicznym, dały podstawę do uwzględnienia subiektywnych ocen użytkowników pomieszczeń, zarówno w odniesieniu do środowiska termicznego, jak i jakości powietrza w pomieszczeniach.

Norma PN-EN ISO 7730:2006(U)

Na podstawie wspomnianych prac Fangera [1], określony został wskaźnik **PMV** (*Predicted Mean Vote*), opisujący średnią przewidywaną ocenę dużej liczby osób przebywających w danym pomieszczeniu dotyczącą panujących w nim warunków termicznych. Wskaźnik ten wyraża różnicę pomiędzy rzeczywistą ilością ciepła oddawaną przez człowieka do otoczenia i odbieraną przez środowisko otaczające a optymalną ilością ciepła, która zostałaby oddana z organizmu do otoczenia w warunkach komfortu przy danej aktywności.

Wskaźnik PMV określa jedynie przewidywane wrażenia termiczne osób przebywających w pomieszczeniu. Uzupełniającym wskaźnikiem, określającym negatywne opinie, odnośnie do warunków środowiska cieplnego, jest **PPD** (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), tj. przewidywany odsetek niezadowolonych osób z grupy znajdującej się w danym pomieszczeniu. Określa on procentowy udział osób zdecydowanie nieusatisfakcjonowanych warunkami termicznymi panującymi w pomieszczeniu pracy. W przypadku, gdy PPD ma wartość niższą niż 10%, środowisko uznaje się za komfortowe, dla którego z kolei wskaźnik PMV zawiera się w granicach $-0,5 \leq PMV \leq +0,5$.

Metoda prowadzenia badań oraz oceny pomieszczeń pod względem komfortu termicznego była przedstawiona we wcześniejszych publikacjach autorów [8-10].

W normie PN-EN ISO 7730:2006(U) [5] zostały przedstawione zalecenia odnośnie do wielkości parametrów powietrza,

po spełnieniu których zapewniony zostanie użytkownikom komfort, także lokalny. Na przykład, podczas lekkiej pracy biurowej powinny zostać spełnione warunki, które przedstawiono w tabeli 1.

Projekt normy prPN-prEN 15251

W ostatnich latach zwrócono uwagę na potrzebę ograniczenia ilości energii zużywanej w czasie eksploatacji budynków, m.in. w celu przygotowania powietrza wprowadzanego do pomieszczeń. Dlatego podjęto prace nad nowym dokumentem, który wskazywałby inwestorom i projektantom sposoby redukcji ilości wykorzystywanej energii. Ocena budynku pod kątem zużycia energii musi być jednak przeprowadzona w odniesieniu do warunków środowiska panującego wewnątrz budynku. Z tego powodu jednym z wymagań do uzyskania certyfikatu energetycznego budynku, wydawanego na podstawie tzw. dyrektywy energetycznej [11], jest określenie „klasy

Tabela 1

ZALECANE PARAMETRY POWIETRZA W POMIESZCZENIU BIUROWYM [5]

Recommended air parameters in an office room [5]

Wartość minimalna	Parametr	Wartość maksymalna
20 °C	temperatura operatywna	24 °C
0 K	gradient temperatury na poziomie głowy i kostek u nóg	3 K
19 °C	temperatura powierzchni podłogi	26 °C
0 m/s	prędkość powietrza	0,15 m/s
0 K	asymetria temperatury promieniowania z powierzchni pionowych	10 K
0 K	asymetria temperatury promieniowania z powierzchni poziomych	5 K

Tabela 2

ZALECANE WARTOŚCI WSKAŹNIKÓW KOMFORTU TERMICZNEGO DLA POSZCZEGÓLNYCH KLAS POMIESZCZEŃ [6]
Recommended values of indexes of thermal comfort for particular classes of rooms [6]

Kategoria pomieszczeń	Odczucie termiczne całego ciała		Lokalne odczucia termiczne			
	PMV	PPD %	wskaźnik przeciągu %	pionowa różnica temperatury powietrza %	wywołane przez cieplejszą lub chłodniejszą podłogę %	asymetria temperatury promieniowania %
A	-0,2 < PMV < +0,2	< 6	< 15	< 3	< 10	< 5
B	-0,5 < PMV < +0,5	< 10	< 20	< 5	< 10	< 5
C	-0,7 < PMV < +0,7	< 15	< 25	< 10	< 15	< 10

Tabela 3

PRZYKŁADY ZALECANYCH WARTOŚCI PROJEKTOWYCH TEMPERATUR W POMIESZCZENIACH [11]

Examples of recommended values of air temperature in rooms [11]

Rodzaj budynku / pomieszczenia	Kategoria pomieszczeń	Temperatura operatywna, °C	
		okres zimowy (izolacyjność odzieży ok. 1 clo)	okres letni (izolacyjność odzieży ok. 0,5 clo)
Budynki mieszkalne	A	21,0	25,5
	B	20,0	26,0
	C	18,0	27,0
Pomieszczenie konferencyjne	A	21,0	25,5
	B	20,0	26,0
	C	19,0	27,0

komfortu” budynku, co stanowi przedmiot normy prPN-prEN 15251 [6]. Dokument ten umożliwia projektantom i inwestorom przyjęcie szczegółowych założeń technicznych dla różnego rodzaju budynków w zależności od przyjętego poziomu wymagań. Pozwala także na określenie, do jakiej klasy wymagań może zostać zaliczony planowany lub istniejący już obiekt budowlany.

Norma składa się z 3 części opisujących:

- zalecane wartości projektowe:
 - temperatury (oddzielnie dla okresu letniego i zimowego), wilgotności względnej oraz prędkości powietrza
 - jakości powietrza wewnętrznego
 - oświetlenia i hałasu w pomieszczeniach

- wartości parametrów obliczeniowych, które należy przyjmować do obliczeń sezonowego zużycia energii w obiekcie; sposób

tych obliczeń może wynikać z analizy dobowej i godzinowej

- sposób obliczeń tzw. długoterminowych wskaźników oceny kategorii obiektu w zakresie klimatu wewnętrznego.

W odniesieniu do komfortu termicznego pomieszczeń, w dokumencie określono trzy kategorie środowiska (klasy pomieszczeń):

kategoria A – pomieszczenia o wymaganiach wysokich

kategoria B – pomieszczenia o wymaganiach średnich

kategoria C – pomieszczenia o wymaganiach umiarkowanych.

Przy określaniu komfortu termicznego, prPN-prEN 15251 odwołuje się do omówionych wskaźników komfortu zawartych w normie PN-EN ISO 7730:2006(U) [5]. Kryteria cieplne, będące podstawą klasyfikowania pomieszczeń, przedstawiane

są zarówno w postaci określonych wielkości fizycznych, jak i wielkości wskaźników PMV i PPD (tab. 2.).

Przyjmując ten podział oraz dodatkowe informacje nt. izolacyjności termicznej odzieży użytkowników pomieszczeń i rodzaju wykonywanej przez nich pracy (wielkości wydatku energetycznego), określono zakresy temperatury powietrza wewnętrznego dla poszczególnych klas pomieszczeń. Przykładowe wartości przedstawiono w tabeli 3.

Osobny punkt w normie prPN-prEN 15251 poświęcono wilgotności względnej w pomieszczeniach. Jak wykazały prowadzone badania [2], zużycie energii przez systemy klimatyzacji, w których wilgotność jest parametrem kontrolowanym, jest znacznie większe, niż w przypadku braku regulowania tej wielkości. Istnieją oczywiście budynki o szczególnych wymaganiach odnośnie do wilgotności powietrza (np. muzea, obiekty historyczne, kościoły), w których jej regulacja jest traktowana priorytetowo. Abstrahując od tych nielicznych przykładów, rezygnacja z regulacji tego parametru stanowi istotny element ograniczania zużycia energii w budynkach.

W odróżnieniu od wilgotności, zalecenia odnośnie do maksymalnej prędkości powietrza w pomieszczeniach zostały przedstawione w normie w sposób restrykcyjny, w porównaniu do obowiązujących dotychczas zaleceń. Przykładowe wartości zamieszczono w tabeli 4.

Przeprowadzenie oceny komfortu termicznego pomieszczeń skutkuje zdefiniowaniem klasy całego budynku. Jej określenie w zakresie komfortu (stanowiącej załącznik do certyfikatu energetycznego budynku) dokonywane jest za pomocą kryteriów oceny poszczególnych elementów składowych komfortu, tzn.:

- komfortu termicznego dla okresu zimowego
- komfortu termicznego dla okresu letniego
- jakości powietrza wewnętrznego i skuteczności wentylacji
- jakości oświetlenia
- poziomowi hałasu
- prędkości powietrza oraz wskaźnika przeciągu w pomieszczeniach.

Na podstawie oceny tych czynników określana jest kategoria całego budynku,

która dla środowiska termicznego, jest przyznawana wg poniższych zasad:

Kategoria A – środowisko termiczne w budynku spełnia wymagania kat. A, w przypadku gdy w co najmniej 95% używanych pomieszczeń temperatura spełnia wymagania klasy A przez więcej niż 97% czasu użytkowania w ciągu roku; prędkość powietrza oraz hałas w co najmniej 95% używanych pomieszczeń nie przekracza wartości dopuszczalnych dla klasy A

Kategoria B i C – w sposób analogiczny

Kategoria D – otrzymuje budynek, który nie spełnia warunków kategorii A, B i C.

Przyznanie kategorii A, B, C lub D może nastąpić na podstawie danych projektowych, pomiarów mikroklimatu, obliczeń bądź symulacji komputerowych. W każdym przypadku analizowane są reprezentatywne pomieszczenia w ocenianym budynku, dla których określone są kategorie komfortu i odniesienie wyników do wartości przedstawionych w projekcie normy [6].

Jeżeli ocena kategorii budynku w zakresie przedstawionych 6 elementów komfortu jest dokonywana przez symulacje komputerowe i obliczenia modelowe, należy w nich uwzględnić zmienność poszczególnych parametrów w czasie, w interwale godzinnym. Norma podaje w tym względzie kilka metod w celu określenia „średniosezonowej” wartości obliczonego elementu komfortu, na podstawie którego jest określana kategoria obiektu.

Na zakończenie przeprowadza się określenie klasy całego obiektu w odniesieniu do klimatu wewnętrznego na podstawie

poszczególnych kategorii przyznanych w ramach 6 wymienionych kryteriów:

Klasa A – wszystkie kryteria zostają zawarte w ramach kat. A

Klasa B – 4 lub więcej kryteriów zawartych w kat. A oraz 2 lub mniej kryteriów zawartych w kat. B

Klasa C – 2 lub więcej kryteriów zawartych w kat. A oraz 4 lub mniej kryteriów zawartych w kat. B

Klasa D – wszystkie kryteria zostają zawarte w ramach kat. B

Klasa E – 4 lub więcej kryteriów zawartych w kat. B oraz 2 lub mniej kryteriów zawartych w kat. C

Klasa F – 2 lub więcej kryteriów zawartych w kat. B oraz 4 lub mniej kryteriów zawartych w kat. C

Klasa G – wszystkie kryteria zostają zawarte w ramach kat. C

Klasa H – 4 lub więcej kryteriów zawartych w kat. C oraz 2 lub mniej kryteriów zawartych poza kat. D

Klasa I – 2 lub więcej kryteriów zawartych w kat. C oraz 4 lub mniej kryteriów zawartych poza kat. D

Klasa G – wszystkie kryteria zawarte poza kat. C.

Podsumowanie

Normy dotyczące mikroklimatu bardzo dokładnie określają zarówno parametry powietrza w pomieszczeniach, jakie powinny być spełnione w celu zapewnienia poczucia komfortu, jak i metody wyznaczania wskaźników mikroklimatu umiarkowanego, pozwalające na określenie wrażeń cieplnych odczuwanych przez osoby w nich przeby-

wające. Umożliwiają także projektantom i inwestorom przyjęcie szczegółowych założeń technicznych odnoszących się do różnego rodzaju budynków i klas pomieszczeń, m.in. pod względem komfortu termicznego, z uwzględnieniem informacji o izolacyjności termicznej odzieży użytkownikom pomieszczeń i rodzaju wykonywanej przez nich pracy.

PIŚMIENNICTWO

- [1] P.O. Fanger *Komfort cieplny*. Wyd. Arkady, Warszawa 1974
- [2] ASHRAE HVAC Systems & Equipment Handbook 2000, SI Edition
- [3] W. M. Kroner, J. A. Stark-Martin *Environmentally responsive workstations and office-worker productivity*, ASHRAE Trans., 100(2)1994
- [4] PN-78/B-03421 *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi*
- [5] PN-EN ISO 7730:2006(U): *Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego*
- [6] prPN-prEN 15251: *Kryteria środowiska wewnętrznego, obejmujące warunki cieplne, jakość powietrza wewnętrznego, oświetlenie i hałas*
- [7] *Prognoza ekspertów nt. fizycznych czynników ryzyka dot. BHP (Expert forecast on emerging risks related to OSH)*, Europejska Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy w Bilbao, Luxemburg 2005
- [8] I. Sudoł-Szopińska, A. Sobolewski, A. Chojnacka *Ocena obciążenia termicznego pracowników za pomocą wskaźnika WBGT – aspekty praktyczne*. „Bezpieczeństwo Pracy” 10(421) 2006, 16-20
- [9] I. Sudoł-Szopińska, A. Chojnacka *Praktyczne aspekty oceny narażenia pracowników zatrudnionych w warunkach mikroklimatu zimnego za pomocą wskaźników WCI i IREQ*. „Bezpieczeństwo Pracy” 2(425)2007, 16-19
- [10] I. Sudoł-Szopińska, A. Chojnacka *Określanie warunków komfortu termicznego w pomieszczeniach za pomocą wskaźników PMV i PPD*. „Bezpieczeństwo Pracy” 5(428)2007, 19-23
- [11] Directive 2002/91/EC of European Parliament and the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of the Buildings

Tabela 4

PRZYKŁADY ZALECANYCH WARTOŚCI PRĘDKOŚCI POWIETRZA W POMIESZCZENIACH [6]

Examples of recommended values of air velocity in rooms [6]

Rodzaj budynku/pomieszczenia	Kategoria pomieszczeń	Maksymalna prędkość powietrza, m/s	
		okres zimowy	okres letni
Biuro	A	0,15	0,18
	B	0,18	0,22
	C	0,21	0,25
Sklep	A	0,13	0,16
	B	0,15	0,20
	C	0,18	0,23

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