

# Ocena lokalnego dyskomfortu cieplnego w pomieszczeniach biurowych



Fot. Tomasz Skopal/Bigstockphoto

W artykule przedstawiono informacje dotyczące lokalnego dyskomfortu cieplnego i metod jego oceny, zgodnie z PN-EN ISO 7730:2006. Choć zazwyczaj aspekt ten pomijany jest w badaniach środowiska pracy, należy o nim pamiętać, bowiem dyskomfort cieplny to bardzo poważny problem, który występuje zbyt często w biurowej przestrzeni pracy. Problem dyskomfortu cieplnego można stosunkowo łatwo rozwiązać.

## Assessment of local thermal discomfort in offices

This article presents information on local thermal discomfort and methods of evaluating it in accordance with EN ISO 7730:2006. While usually this aspect is neglected in studies of the working environment, it should be considered because thermal discomfort is a very serious problem that is too frequent in office workspace. The problem of thermal discomfort can be relatively easily solved.

## Wstęp

Oddziaływanie środowiska cieplnego na organizm człowieka oceniane jest przede wszystkim pod kątem nadmiernego wychłodzenia lub ogrzania całego ciała [1, 2]. Ze względu na fakt, że zjawiska te mogą prowadzić do zagrożenia zdrowia człowieka (hipo- lub hipertermia), są one szczególnie poważnie traktowane przez służbę bhp i pracodawców.

Wbrew pozorom lokalny dyskomfort cieplny występuje bardzo często, jednak nie jest on prosty do zdefiniowania. Pracownicy skarżą się, że „coś jest nie tak”, ale nie potrafią precyzyjnie nazwać i scharakteryzować swoich odczuć. W niniejszym artykule przedstawiono informacje dotyczące lokalnego dyskomfortu cieplnego i metod jego oceny, zgodnie z PN-EN ISO 7730:2006 [3]. Choć zazwyczaj aspekt ten jest pomijany w badaniach środowiska pracy, należy o nim pamiętać, tym bardziej że jest on stosunkowo prosty do wyeliminowania.

## Dyskomfort cieplny a przepisy prawne i normy

Wytyczne dotyczące maksymalnej dopuszczalnej ekspozycji człowieka na środowisko gorące lub zimne zostały zawarte w rozporządzeniu ministra pracy i polityki społecznej z 16 czerwca 2009 r. [4]. W środowisku umiarkowanym nie występuje

zagrożenie zdrowia pracowników, jednakże warunki środowiska w pomieszczeniach mogą być odbierane przez człowieka jako niekomfortowe i choć zapewnienie odczucia komfortu cieplnego wpływa na jakość i efektywność wykonywanej pracy [5], aspekt ten jest uwzględniony w regulacjach prawnych w bardzo ogólny sposób. Zapisy dotyczące środowiska umiarkowanego można znaleźć w rozporządzeniu ministra pracy i polityki społecznej z 1 grudnia 1998 r. [6], w którym zapisano m.in., że „wilgotność względna powietrza w pomieszczeniach przeznaczonych do pracy z monitorem ekranowym nie powinna być niższa niż 40%” oraz w rozporządzeniu ministra pracy i polityki społecznej z 26 września 1997 r. [7] wraz z obwieszczeniem ministra gospodarki, pracy i polityki społecznej z 28 sierpnia 2003 r. [8]. Podaje się w nim, że:

- w pomieszczeniach pracy, w których jest wykonywana lekka praca fizyczna, i w pomieszczeniach biurowych temperatura nie może być niższa niż 18 °C
- wymagania dotyczące parametrów powietrza w pomieszczeniach pracy określają odrębne przepisy i Polskie Normy
- klimatyzacja nie może powodować przeciągów, wziębienia lub przegrzania pomieszczeń pracy.

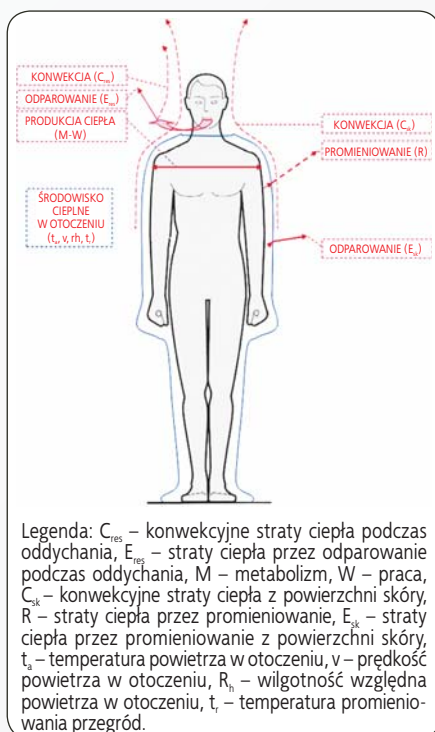
Przywołana w rozporządzeniach norma PN-B/03421:1978 [9] definiuje wartości powietrza w pomieszczeniach w zależności od określonej aktywności fizycznej człowieka. I tak, w odniesie-

niu do pracy stacjonarnej biurowej temperatura powietrza w pomieszczeniach (zimną) wynosi: 20-22 °C, latem: 23-26 °C, wilgotność względna zimą (niezależnie od aktywności): 40-60%, latem: 40-55%, a prędkość ruchu powietrza zimą – maksymalnie 0,2 m/s, latem – 0,3 m/s. Środowisko cieplne w pomieszczeniach biurowych jest również tematem PN-EN ISO 7730:2006 [3].

Dopasowując parametry powietrza w pomieszczeniach zgodnie z zapisami pierwszej z wymienionych norm możemy próbować zapewnić komfort cieplny dla całego organizmu, jednakże tylko w normie ISO opisane są również aspekty dyskomfortu lokalnego, wynikającego z niejednorodnej wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem.

## Wymiana ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem

Pomiędzy człowiekiem a otoczeniem zachodzi nieustająca wymiana ciepła, zgodnie z zasadą, że obiekt o wyższej temperaturze oddaje ciepło w stronę obiektu o temperaturze niższej. Najczęściej to człowiek emituje ciepło, jako że stosunkowo rzadko w naszym otoczeniu znajdują się objekty o temperaturze niższej niż temperatura naszego ciała. Ciepło produkowane w organizmie człowieka w wyniku przemian metabolicznych przenika przez skórę i odzież, a następnie jest oddawane



Rys. Procesy fizyczne oddawania ciepła z organizmu człowieka [10]

Fig. Physical processes of the body's heat dissipation [10]

do otoczenia w postaci jawnej (konwekcja i promieniowanie z powierzchni skóry i odzieży, wydychanie ciepłego powietrza) i utajonej (odparowanie wilgoci z powierzchni skóry oraz z wilgotnego powietrza wydychanego), [10, 11].

Jeżeli warunki środowiska cieplnego w pomieszczeniu są jednorodne, ilość ciepła oddawanego z organizmu człowieka we wszystkich kierunkach jest jednakowa. Jeżeli natomiast w pomieszczeniu pracy występuje niejednorodność warunków cieplnych (np. temperatura powietrza przy oknie jest niższa niż w pozostałej części pomieszczenia), z organizmu człowieka w stronę chłodniejszej części pomieszczenia będzie oddawana większa ilość ciepła niż w pozostałych kierunkach, tak więc ta część ciała człowieka ulegnie wychłodzeniu. Taki stan odczuwany jest przez człowieka jako lokalny dyskomfort cieplny. W PN-EN ISO 7730:2006 opisano 4 najczęściej występujące powody lokalnego dyskomfortu cieplnego [3]: przeciąg, różnicę temperatury w pionie, ciepłą lub chłodną podłogę oraz asymetrię promieniowania w pomieszczeniu.

## Obliczanie wartości poszczególnych parametrów lokalnego dyskomfortu cieplnego

Najczęstszą przyczyną dyskomfortu lokalnego jest przeciąg, czyli miejscowy wzrost prędkości powietrza w pomieszczeniu. Inne przyczyny, to np. wysoka różnica temperatury powietrza pomiędzy nogami a głową użytkownika, zbyt ciepła lub zbyt zimna podłoga oraz asymetria temperatury promieniowania powierzchni w pomieszczeniu.

W ramce (str. 24) zamieszczono charakterystykę szczegółową poszczególnych rodzajów dyskomfortu

Tabela. Średnie parametry powietrza zmierzonego w pomieszczeniu biurowym – komfort cieplny ogólny

Table. Average air parameters measured in an office – general thermal comfort

Punkt pomiarowy	Temperatura, °C	Prędkość, m/s	Wilgotność względna, %	Średnia temperatura promieniowania, °C	PMV	PPD
1	21,2	0,20	43	21,0	-0,12	0,57
2	21,1	0,21	43	21,0	-0,15	5,47
3	21,1	0,21	43	21,0	-0,15	5,47
4	20,8	0,22	43	20,7	-0,23	6,14

tu lokalnego wymiennych przez normę PN-EN ISO 7730:2006 i przedstawiono sposoby ich samodzielnego obliczania. We wszystkich przypadkach ocena ta opiera się na wynikach pomiarów poszczególnych parametrów powietrza prowadzonych na stanowisku pracy lub temperatury przegród. Ze względu na możliwość okresowej zmiany parametrów powietrza w pomieszczeniu (np. podczas otwierania okien, drzwi lub włączania/wyłączania urządzeń klimatyzacji) badania tych parametrów powinny trwać kilka godzin, a najlepiej jest pozostawić mierniki na całą zmianę roboczą lub nawet na kilka dni.

## Warunki lokalnego komfortu cieplnego

W pomieszczeniach pracy należy dążyć do zachowania stanu komfortu cieplnego całego ciała, jak również poszczególnych jego części. W zależności od przeznaczenia norma ISO [3] wprowadza 3 kategorie pomieszczeń: A, B i C. Parametry powietrza w kategorii A powinny być szczególnie uważnie projektowane, gdyż są to pomieszczenia specjalnego przeznaczenia – użytkowane przez dzieci, osoby chore itp. Kategoria B są to standardowe pomieszczenia biurowe, przeznaczone dla osób zdrowych, natomiast kategoria C to pomieszczenia o obniżonych parametrach środowiska cieplnego. Z tej przyczyny, w zależności od przyjętej kategorii pomieszczeń, wartości wskaźniki dyskomfortu (DR i PD) powinny być zawarte w następujących granicach:

- DR: kat. A poniżej 10%, kat. B poniżej 20%, kat. C poniżej 30%
- PD spowodowane różnicą temperatury między głową a kostkami: kat. A poniżej 3%, kat. B poniżej 5%, kat. C poniżej 10%
- PD spowodowane ciepłą lub chłodniejszą podłogą: kat. A i B poniżej 10%, kat. C poniżej 15%
- PD spowodowane asymetrią promieniowania: kat. A i B poniżej 5%, kat. C poniżej 10%.

Aby odsetek osób niezadowolonych był jak najniższy, dobierając parametry powietrza występującego w pomieszczeniach można zastosować zależności przedstawione w załączniku A do PN-EN ISO 7730:2006 [3], uwzględniając przyjętą kategorię pomieszczenia, metabolizm pracowników oraz izolacyjność cieplną ich odzieży.

Dla przykładu: w pomieszczeniu zakładana jest wartość  $DR < 20\%$ , zatem przy prędkości powietrza równej  $0,2 \text{ m/s}$  i turbulencji wynoszącej  $20\%$ , temperatura powietrza wynosi  $21^\circ\text{C}$ . W przypadku różnicy temperatury powietrza pomiędzy głową a kostkami nóg pracowników powinna ona wynosić dla: kat. A poniżej  $2^\circ\text{C}$ , kat. B poniżej  $3^\circ\text{C}$  i kat. C poniżej  $4^\circ\text{C}$ , zaś temperatura podłogi w kat. A i B zawiera się w zakresie  $19\text{--}29^\circ\text{C}$ , a w kat. C

– między  $17\text{--}31^\circ\text{C}$ . Asymetria temperatury promieniowania powinna kształtować się następująco:

- cieplejszy sufit – kat. A i B poniżej  $5^\circ\text{C}$ , kat. C poniżej  $7^\circ\text{C}$
- chłodniejsza podłoga – kat. A i B poniżej  $10^\circ\text{C}$ , kat. C poniżej  $13^\circ\text{C}$
- chłodniejszy sufit – kat. A i B poniżej  $14^\circ\text{C}$ , kat. C poniżej  $18^\circ\text{C}$
- cieplejsza podłoga – kat. A i B poniżej  $23^\circ\text{C}$ , kat. C poniżej  $35^\circ\text{C}$ .

## Przykład oceny i poprawy komfortu cieplnego

Poniższy przykład oceny komfortu cieplnego w pomieszczeniu biurowym, wykorzystywanym przez jednego pracownika, oparty został o przeprowadzone przez pracowników CIOPIB pomiary komfortu cieplnego ogólnego i lokalnego, zrealizowane w okresie zimowym, w 4 punktach wokół pracownika (na różnych wysokościach). Badania trwały 8 godz., a izolacyjność cieplna odzieży pracownika wynosiła –  $0,9 \text{ clo}$ . Parametry powietrza określone w poszczególnych punktach pomiarowych oraz wartości wskaźników komfortu cieplnego ogólnego (PMV i PPD) przedstawiono w tabeli.

Warunki cieplne panujące w pomieszczeniu były komfortowe pod względem ogólnego oddziaływania na organizm człowieka, jednak ponieważ użytkownik pomieszczenia, przebywając w nim narzekał na złe samopoczucie, a przeciągu nie było, sprawdzono również temperaturę powierzchni przegród oraz ich temperaturę promieniowania pod kątem odczucia dyskomfortu lokalnego. Pomiary te wykazały, że w pomieszczeniu występuje asymetria temperatury promieniowania oraz chłodniejsza podłoga ( $18^\circ\text{C}$ ), ponieważ znajdowało się ono nad nieogrzewaną piwnicą (temperatura promieniowania jest związana z temperaturą powierzchni przegrody i wynika z temperatury powietrza po obu stronach przegrody, zatem jeżeli przegroda rozdziela pomieszczenia o takiej samej temperaturze powietrza, np. ogrzewane – jej temperatura będzie równa temperaturze powietrza po obu stronach, jeżeli natomiast przegroda rozdziela pomieszczenia o różnej temperaturze powietrza, np. ogrzewane pomieszczenie i nieogrzewana piwnica, to temperatura przegrody będzie wypadkową tych dwóch wartości i na pewno będzie niższa od temperatury przegrody pomiędzy pomieszczeniami ogrzewanymi).

Jako rozwiązanie zastosowano wykładzinę wraz z warstwą izolacyjną, co wyeliminowało problem znacznie zimniejszej podłogi oraz zmniejszyło asymetrię temperatury promieniowania.



### Samodzielne obliczanie poszczególnych aspektów dyskomfortu cieplnego

#### Przeciąg

Dyskomfort wynikający z przeciągu, oznaczany jako DR (ang. *Draught Rate* – wskaźnik przeciągu), wyraża odsetek osób niezadowolonych z powodu przeciągu. Obliczenia tego wskaźnika opierają się na pomiarach temperatury, prędkości oraz turbulencji powietrza wg następującego wzoru [5]:

$$DR = (34 - t_{a,l})(\bar{v}_{a,l} - 0,05)^{0,62} (0,34 \cdot \bar{v}_{a,l} \cdot Tu + 3,14)$$

gdzie:

$t_{a,l}$  – lokalna temperatura powietrza (w st. Celsjusza) 20 do 26 °C

$\bar{v}_{a,l}$  – lokalna średnia prędkość powietrza (w m/s) < 0,5 m/s

$Tu$  – lokalna intensywność turbulencji (w proc.) 10 do 60% (jeśli nieznana, można przyjmować 40%)

W przypadku, jeżeli  $\bar{v}_{a,l}$  jest mniejsze niż 0,05 m/s, do wzoru wstawia się wartość 0,05 m/s. Jeżeli z obliczeń wyjdzie wartość DR powyżej 100%, przyjmuje się, iż wynik wynosi DR = 100%.

#### Różnica temperatury w pionie

Wysoka różnica temperatury powietrza na wysokości głowy i kostek u nóg może powodować dyskomfort cieplny, do opisu którego stosuje się wskaźnik PD (ang. *Percent of Dissatisfied* – odsetek niezadowolonych). Jego wartość określa się na podstawie pomiarów temperatury powietrza (prowadzonych na wysokości 1,1 m i 0,1 m nad podłogą), wg następującego wzoru [3]:

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(5,76 - 0,856 \cdot \Delta t_{a,v})}$$

gdzie:

$\Delta t_{a,v}$  – różnica temperatury powietrza na wysokości głowy i stóp (°C)

Równanie ma zastosowanie, jeżeli różnica temperatury jest mniejsza niż 8 °C. Do określenia wartości wskaźnika PD można zastosować również wykres zamieszczony w normie [3].

#### Ciepła i chłodna podłoga

Zjawisko to może występować w przypadku stosowania w pomieszczeniach klimatyzacji, w której nawiew powietrza realizowany jest na wysokości kostek u nóg, a także jeżeli pomieszczenie znajduje się nad nieogrzewaną przestrzenią (np. piwnicą). Odsetek osób niezadowolonych z temperatury podłogi (również określanej wskaźnikiem PD) można odczytać z wykresu zamieszczonego w PN-EN ISO 7730:2006 lub obliczyć samodzielnie [3]:

$$PD = 100 - 94 \cdot \exp(-1,387 + 0,118 \cdot t_f - 0,0025 \cdot t_f^2)$$

gdzie:

$t_f$  – temperatura podłogi (°C).

#### Asymetria temperatury promieniowania

Asymetria promieniowania pojawia się, jeżeli w pomieszczeniach występują ściany zewnętrzne i okna oraz jeżeli pomieszczenie znajduje się na poziomie znajdującym się nad lub pod nieogrzewaną kondygnacją (np. nad piwnicą lub pod nieogrzewanym poddaszem). Temperatura przegrody jest wypadkową temperatury powietrza znajdującego się po obu jej stronach. Jeżeli przegrodą jest ściana zewnętrzna, to oddziela ona środowisko wewnętrzne od środowiska zewnętrznego, gdzie temperatura powietrza jest znacznie wyższa (latem) lub niższa (zimą) od temperatury środowiska wewnętrznego. Występujące w pomieszczeniach przegrody wewnętrzne oddzielają natomiast przestrzenie o jednakowej lub zbliżonej temperaturze powietrza. W pomieszczeniu, w którym znajdują się przegrody zewnętrzne i wewnętrzne dochodzi do asymetrii promieniowania. Odsetek niezadowolonych z powodu asymetrii promieniowania (wskaźnik PD) określa się w zależności od rodzaju powierzchni o temperaturze wyższej lub niższej od temperatury pozostałych przegród [3]:

- cieplejszy sufit

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(2,84 - 0,174 \cdot \Delta t_{pr})} - 5,5$$

$\Delta t_{pr}$  – asymetria temperatury promieniowania (°C)

$\Delta t_{pr} < 23$  °C

- chłodniejsza ściana

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(6,61 - 0,345 \cdot \Delta t_{pr})}$$

$\Delta t_{pr} < 15$  °C

- chłodniejszy sufit

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(9,93 - 0,50 \cdot \Delta t_{pr})}$$

$\Delta t_{pr} < 15$  °C

- cieplejsza ściana

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(3,72 - 0,052 \cdot \Delta t_{pr})} - 3,5$$

$\Delta t_{pr} < 35$  °C

W tym przypadku, zamiast korzystać ze wzorów, wartość wskaźnika PD można określić na podstawie wykresów zawartych w PN-EN ISO 7730:2006 [3].

### Podsumowanie

Dyskomfort cieplny to bardzo poważny problem, występujący zdecydowanie zbyt często w biurowej przestrzeni pracy, zwłaszcza wtedy, gdy wprowadzane są w niej zmiany w rozmieszczeniu stanowisk pracy w stosunku do warunków oryginalnie zaprojektowanych. Bardzo częstą sytuacją jest taka modyfikacja przestrzeni pracy, podczas której nie są brane pod uwagę czynniki wpływające na komfort cieplny pracowników, co może powodować np. odczucie przeciągu, jeżeli biurko ustawione jest zbyt blisko nawiewnika lub jeżeli nie uwzględnia się przy montażu klimatyzacji zamocowania urządzenia na odpowiedniej wysokości. Parametry powietrza nawiewanego zmieniają się również w sytuacji, w której w pomieszczeniu pracy przebywa więcej osób niż założono w projekcie, co niestety w praktyce nie jest sytuacją rzadką.

Na podstawie przedstawionych w artykule informacji możliwe jest – poza zapoznaniem się z wymaganiem określonymi w przepisach i normach, dotyczącymi dyskomfortu cieplnego – samodzielne określenie lokalnego dyskomfortu cieplnego, przy wykorzystaniu zasad podanych w ramce.

### PIŚMIENNICTWO

- [1] A. Bogdan *Ocena środowiska zimnego zgodnie z zapisami normy PN-EN ISO 11079, „Bezpieczeństwo Pracy”* 3 (450)2009
- [2] I. Sudół-Szopińska, A. Sobolewski, A. Chojnacka *Ocena obciążenia termicznego pracowników za pomocą wskaźnika WBGT – aspekty praktyczne, „Bezpieczeństwo Pracy”,* 10 (421)2006
- [3] 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*
- [4] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy z dn. 16 czerwca 2009 r. (DzU 2009 nr 105, poz. 873)
- [5] D. P. Wyon, P. Wargocki *Indoor Air Quality Effects on Office Work, part of: Creating the Productive Workplace,* pp. 193-205, 2006, Taylor Francis, London
- [6] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dn. 1 grudnia 1998 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy na stanowiskach wyposażonych w monitory ekranowe (DzU 1998 nr 148, poz. 973)
- [7] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dn. 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (DzU 1997, nr 129 poz. 844)
- [8] Obwieszczenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dn. 28 sierpnia 2003 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (DzU 2003 nr 169, poz. 1650)
- [9] PN-B/03421:1978 *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi*
- [10] A. Bogdan *Ciepłe oddziaływanie człowieka na zmiany mikroklimatu pomieszczenia,* CIOP-PIB, Warszawa, 2010
- [11] ASHRAE (2009) *HVAC Fundamentals Handbook,* 2009

*Publikacja opracowana na podstawie wyników w ramach I etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowanego w latach 2008-2010 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*