

Dyskomfort lokalny na stanowisku pracy

*Edyta Dudkiewicz, Janusz Jeżowiecki
Politechnika Wrocławska*

1. Wstęp

Parametry zmienne, badane standardowo do oceny komfortu cieplnego środowiska wewnętrznego człowieka, to temperatura powietrza wewnętrznego, temperatura promieniowania (średnia temperatura przegród otaczających), wilgotność względna powietrza, prędkość powietrza, aktywność człowieka i izolacyjność cieplna jego odzieży. W przypadku występowania w pomieszczeniu parametrów odbiegających od uznawanych za komfortowe, ludzie mogą odczuwać dyskomfort cieplny, co m.in. powoduje obniżenie wydajności ich pracy.

Komfort cieplny człowieka oceniany jest najczęściej za pomocą wskaźników PMV i PPD, opracowanych przez Fanger [3] i dotyczących ciała całego człowieka. Wskaźnik PMV oznacza przewidywaną średnią ocenę komfortu cieplnego, zaś wskaźnik PPD przewidywany odsetek osób niezadowolonych.

Pomimo korzystnych wartości wskaźników komfortu cieplnego, człowiek może jednak odczuwać tzw. dyskomfort lokalny, który wywołany może być przez następujące czynniki [4]:

- przeciąg (rozumiany jako stan opisany w [3]),
- zmianę temperatury powietrza wraz z wysokością pomieszczenia,
- zbyt zimną lub ciepłą podłogę,
- asymetrię promieniowania, czyli występowanie w pomieszczeniu przegród o temperaturze różnej od temperatury powietrza.

Norma ISO 7730 [4] podaje sposób wyznaczania wskaźników komfortu oraz sposób obliczania odsetek osób niezadowolonych na podstawie warunków termicznych odczuwanych przez całe ciało i osób odczuwających dyskomfort lokalny.

2. Wskaźniki komfortu cieplnego

Utrzymanie właściwych warunków na stanowisku pracy ma szczególne znaczenie, gdyż jak wskazują wyniki różnych badań w wielu przypadkach warunki termiczne w pomieszczeniu znaczenie odbiegają od zalecanych, źle wpływając na efekty pracy ludzi. Przepisy i normy polskie skupiają się przede wszystkim na wartościach temperatur. Rozporządzenie [5] podaje temperatury wewnątrz pomieszczeń w zależności od ich przeznaczenia, natomiast rozporządzenie [6] określa wartości temperatur wewnętrznych w pomieszczeniach pracy. Według [6] temperatura w pomieszczeniach pracy ma być nie niższa od 14°C (287 K), chyba że względy technologiczne na to nie pozwalają, a w pomieszczeniach, w których jest wykonywana lekka praca fizyczna i w pomieszczeniach biurowych temperatura nie może być niższa od 18°C (291 K).

Dodatkowo w rozporządzeniu [5] podano, że pomieszczenia i stanowiska pracy powinny być zabezpieczone przed niekontrolowaną emisją ciepła na drodze promieniowania, przewodzenia i konwekcji oraz przed napływem chłodnego powietrza z zewnątrz, które wywoływać mogą dyskomfort cieplny.

Warunki komfortu cieplnego w zależności od kategorii pomieszczeń (A, B lub C) zostały podane w normie ISO 7730 [4]. Dla pomieszczeń kategorii A norma określa wysokie wymagania, dla kategorii B wymagania średnie, zaś dla pomieszczeń C – wymagania umiarkowane. Dla każdej kategorii pomieszczeń norma ustala ponadto dopuszczalny procent osób niezadowolonych z warunków termicznych odczuwanych przez całe ciało (PPD) i dopuszczalny procent osób odczuwających dyskomfort lokalny wywołany przez cztery czynniki: przeciąg (DR), pionową różnicę temperatur (PD), ciepłą lub zimną podłogę (PD), asymetrię temperatury promieniowania (PD).

Dopuszczalne wartości wskaźników komfortu i dyskomfortu cieplnego podano za normą [4] w tabeli 1.

Tabela 1. Wskaźniki komfortu cieplnego według normy ISO 7730 [4]

Table 1. Index of thermal comfort according to ISO 7730 [4]

Kategoria pomieszczenia	Odczucia termiczne całego ciała		Dyskomfort lokalny			
	PPD [%]	PMV	DR [%]	PD [%]		
				Pionowa różnica temperatury powietrza	Ciepła, zimna podłoga	Asymetria temperatury promien.
A	<6	-0,2<PMV<0,2	<10	<3	<10	<5
B	<10	-0,5<PMV<0,5	<20	<5	<10	<5
C	<15	-0,7<PMV<0,7	<30	<10	<15	<10

3. Stanowiska pracy w halach wielkokubaturowych

W pomieszczeniach użyteczności publicznej i niskich halach wielkokubaturowych dąży się do maksymalnego wykorzystania powierzchni podłogi. W halach przemysłowych stanowiska pracy są często rozmieszczone w różnych oddalonych od siebie miejscach. Ogrzewanie całej hali, gdy technologia tego nie wymaga, jest więc nieekonomiczne. Do ogrzewania takich pomieszczeń stosowane są systemy, które mają przede wszystkim zapewnić komfort w strefie przebywania ludzi i jak najniższe koszty eksploatacyjne oraz posiadają walory estetyczne i praktyczne. Wśród wielu rozwiązań takiego ogrzewania jest system z sufitowymi promiennikami wodnymi. Jego dodatkową zaletą jest możliwość chłodzenia pomieszczenia w okresie letnim. System ten charakteryzuje się przekazywaniem ciepła do pomieszczenia w większym udziale przez promieniowanie, a mniejszym na drodze konwekcji.

4. Opis stanowiska badawczego

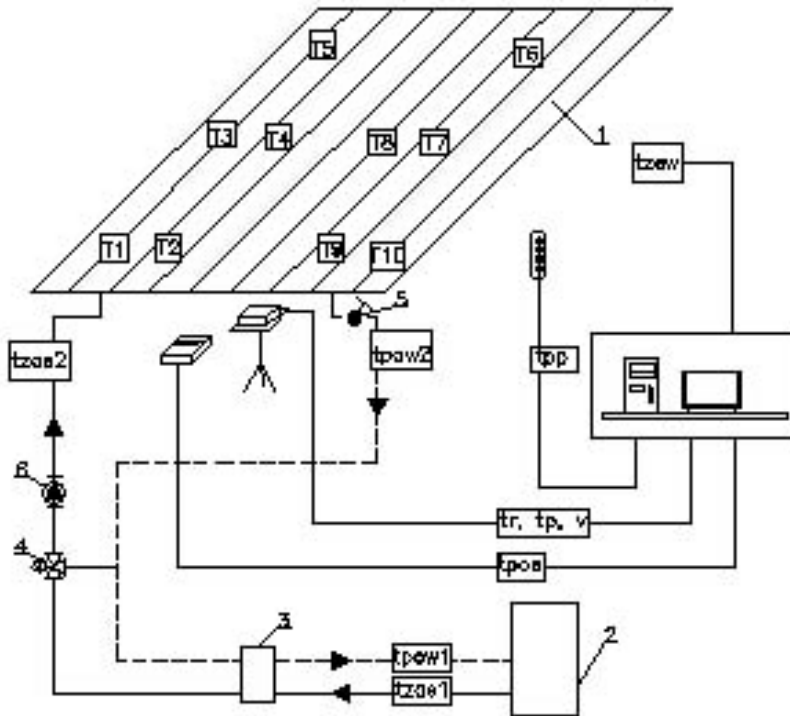
Zaprojektowano i wykonano stanowisko badawcze (rys. 1) do przeprowadzenia badań warunków termicznych na stanowisku pracy ogrzewanym promiennikiem wodnym zlokalizowanym w pomieszczeniu o dużej kubaturze. Głównym jego celem były badania utrzymywania równomiernego pola ciepłego na stanowisku pracy, tzn. temperatury promieniowania i asymetrii temperatury promieniowania.

Stanowisko pozwala na badanie różnych typów i konstrukcji promienników wodnych, o różnych konfiguracjach połączeń i przy różnych algorytmach sterowania ich działaniem. Promienniki montowane są na specjalnej konstrukcji, umożliwiającej zmianę wysokości położenia promiennika nad posadzką oraz kąta jego nachylenia względem posadzki. Źródłem ciepła dla promienników jest elektryczny kocioł grzewczy firmy Kospel o mocy 6 kW. Temperaturę wody wychodzącej z kotła (zasilającej) można regulować w zakresie od 40 do 85°C.

Stanowisko badawcze wyposażone jest w nowoczesny układ automatycznej regulacji oparty na mikroprocesorowym regulatorze swobodnie programowalnym. Realizuje on monitoring i rejestrację parametrów pracy układu oraz swobodnie programowalne algorytmy sterowania. Układ pomiarowy stanowiska badawczego pozwala mierzyć i rejestrować następujące parametry robocze instalacji oraz parametry powietrza w hali:

- temperaturę powietrza wewnętrznego pod promiennikiem t_p , °C,
- temperaturę powietrza wewnętrznego w pozostałej części hali t_{pp} , °C,
- średnią temperaturę promieniowania otoczenia pod promiennikiem t_r , °C,
- temperaturę posadzki pod promiennikiem t_{pos} , °C,

- prędkość przepływu powietrza pod promiennikiem v , m/s,
- temperaturę powierzchni promiennika w dziesięciu miejscach t_1 - t_{10} , °C,
- temperaturę wody instalacyjnej zasilającej t_{zas1} , °C i powrotnej z promiennika t_{pow1} , °C,
- temperaturę wody instalacyjnej wychodzącej t_{zas2} , °C i powracającej do kotła t_{pow2} , °C.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego
Fig. 1. The measurement installation diagram

Przyrządy pomiarowe parametrów wewnątrz hali montowane są na stojaku pod promiennikiem na wybranej wysokości nad posadzką np. 1,3 m dla osoby siedzącej lub 1,7 m dla osoby stojącej (według [1]) albo 0,6 m dla osoby siedzącej i 1,1 m dla osoby stojącej (według [3]). Wysokości te są przyjmowane, według różnych źródeł literaturowych, za wysokość nad posadzką pomieszczenia głowy człowieka siedzącego lub stojącego na stanowisku pracy.

5. Opis wyników badań

Przeprowadzono badania z użyciem taśmy promieniującej firmy Zehnder typu ZBN 1310/8 [7] o długości 3 m zawieszanej na wysokości 3 m nad posadzką.

Średnia temperatura promieniowania na stanowisku pracy, tzn. pod taśmą promieniującą, kształtowała się podczas badań w zakresie $18,5 \div 21,6^\circ\text{C}$ i była niższa od temperatury powietrza otaczającego. Tylko w przypadku zasilania promiennika wodą o temperaturze 85°C , temperatura promieniowania była wyższa od temperatury powietrza. Temperatura w pozostałej części hali, poza strefą ogrzewania promiennikiem wodnym, była zbliżona do temperatury powietrza pod promiennikiem. Temperatura posadzki pod promiennikiem była natomiast bliska temperaturze powietrza. Prędkość przepływu powietrza pod promiennikiem we wszystkich seriach pomiarowych była stosunkowo niska i przy tym mało zróżnicowana, wahała się bowiem w zakresie $0,1 \div 0,2$ m/s. Prędkość ta nie wywierała wpływu na wartość mierzonych temperatur promieniowania.

6. Teoretyczna wartość temperatury promieniowania

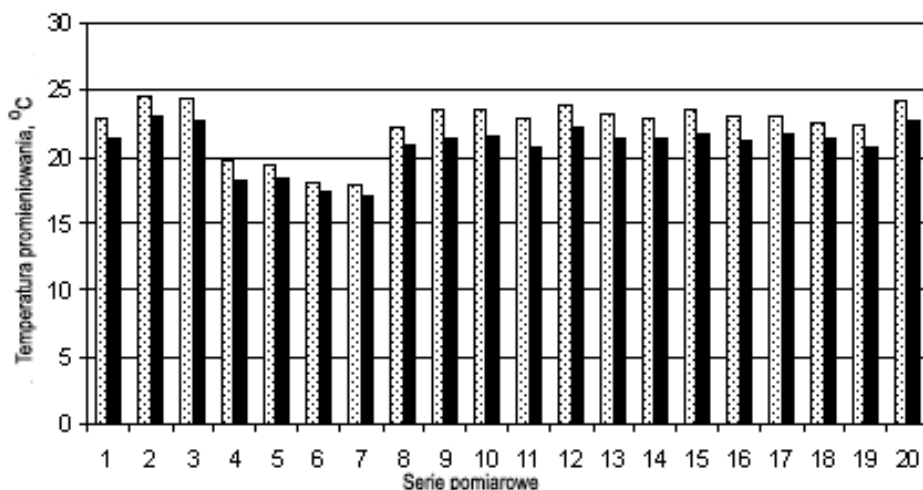
Z literatury [1] znany jest następujący wzór na temperaturę promieniowania t_r [$^\circ\text{C}$] w dowolnym punkcie X w pomieszczeniu ogrzewanym przez promieniowanie:

$$t_r = \left[\varphi_{X,rcp}^0 (t_{rcp} + 273)^4 + (1 - \varphi_{X,rcp}^0) (t_p + 273)^4 \right]^{0,25} - 273 \quad (1)$$

w którym $\varphi_{X,rcp}^0$ jest współczynnikiem kątowym promieniowania między powierzchnią promiennika a elementem kuli, t_{rcp} – temperaturą powierzchni promiennika, zaś t_p – temperaturą powietrza w pomieszczeniu. Wzór (1) wynika z założenia, że temperatury wszystkich powierzchni otaczających pomieszczenie są równe temperaturze powietrza wewnętrznego t_p . Sytuacja taka również występowała w hali podczas pomiarów.

Wykorzystano więc wzór (1) i obliczono teoretyczne wartości temperatury promieniowania dla dwudziestu serii pomiarowych, które następnie porównano z wartościami zmierzonymi. Interpretację graficzną analizy przedstawiono na rys. 2. Kolumny zakropkowane przedstawiają wartości temperatur promieniowania obliczone ze wzoru (1), zaś kolumny zaczerpnięte podają wartości temperatur promieniowania wyznaczone podczas badań. Z wykresu wynika, że we wszystkich przypadkach wartość obliczona ze wzoru (1) była wyższa niż otrzymana doświadczalnie. Spowodował to fakt, iż temperatura powietrza podczas wszystkich serii badań była wyższa od temperatury promieniowania

wyznaczonej za pomocą termometru kulistego. Średnie odchylenie między wartościami otrzymanymi doświadczalnie i obliczonymi według zależności (1) wyniosło 7%, zaś maksymalne prawie 11,5%.



Rys. 2. Porównanie doświadczalnych (kolumny zakropkowane) i teoretycznych (kolumny zaczerńnione) wartości temperatury promieniowania t_r .

Fig. 2. Comparison of the experimental (measured) t_r and theoretical (calculated) values of the radiant temperature t_r .

7. Asymetria temperatury promieniowania

Podczas badań zaobserwowano, że taśmy promieniujące powodują nieznaczny wzrost temperatury promieniowania pod urządzeniem. Nie oznaczało to jednak równomiernego pola ciepłego. Wyznaczono więc asymetrię temperatury promieniowania pod promiennikiem dla osoby siedzącej, dla której wysokość głowy wynosi 1,3 m nad posadzką. Następnie obliczono wskaźnik PD określający procent osób niezadowolonych, wynikający z asymetrii temperatury promieniowania w przypadku ciepłego stropu ze wzoru:

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

w którym Δt_{pr} jest asymetrią promieniowania.

Wyniki tych obliczeń zestawiono w tabeli 2. Przyjmując, zgodnie z [4], że wskaźnik PD powinien być niższy od 10%, to dla taśmy promieniującej, zawieszanej na wysokości 3 m nad stanowiskiem pracy, temperatura zasilania nie powinna przekraczać 60°C, czyli średnia temperatura powierzchni promiennika powinna być niższa niż 45°C. W celu utrzymania wskaźnika PD poniżej 10%, przy wyższych temperaturach zasilania, promiennik powinien być zamontowany wyżej nad posadzką. Z przekształcenia wzoru (2) wynika, że wskaźnik PD będzie przyjmował wartość poniżej 10% w przypadku, gdy asymetria temperatury promieniowania Δt_{pr} będzie mniejsza niż 6,6°C. Obliczono więc minimalną wysokość zawieszenia promiennika wodnego, dla temperatury zasilania 60°C, 70°C i 85°C, tak by asymetria promieniowania była mniejsza niż 6,6°C. Wyniki zestawiono w tabeli 3.

Tabela 2. Asymetria temperatury promieniowania i wskaźnik PD w przypadku ogrzewania taśmą promieniującą zamontowaną na wysokości 3 m

Table 2. Radiant temperature asymmetry and index PD in the case of heating by radiant ceiling panel on the height 3 m

Temperatura zasilania °C	Asymetria temperatury promieniowania Δt_{pr} °C	PD wg wzoru (2) %
40	3,7	4,5
50	5,7	8,1
60	7,2	11,5
70	8,8	15,8
85	11,7	25,3

Tabela 3. Minimalna wysokość zawieszenie promiennika wodnego dla PD<10%

Table 3. The minimal montage height of ceiling panel for PD<10%

Temperatura zasilania °C	Asymetria temperatury promieniowania Δt_{pr} °C	PD wg wzoru (2) %	Minimalna wysokość zawieszenia promiennika m
60	6,2	9,2	3,2
70	6,2	9,2	3,5
85	6,4	9,5	3,9

8. Podsumowanie

Przeprowadzono badania ogrzewania przez promieniowanie stanowiska pracy w hali wielkokubaturowej z wykorzystaniem taśmy promieniującej, którą zamontowano na wysokości 3 m nad posadzką.

Taśmy promieniujące powodują nieznaczny pod nimi wzrost temperatury promieniowania. Właściwe jest więc zastosowanie w ich przypadku do obliczeń temperatury promieniowania wzoru wynikającego z założenia, że temperatury wszystkich powierzchni otaczających pomieszczenie są równe temperaturze powietrza wewnętrznego. Otrzymane z obliczeń wartości nieznacznie odbiegają od zmierzonych.

Zgodnie z normą ISO 7730 wskaźnik PD określający procent osób niezadowolonych, wynikający z asymetrii temperatury promieniowania w przypadku ciepłego stropu powinien być mniejszy niż 10%. Z przeprowadzonych badań wynika, że promiennik wodny, ogrzewający stanowisko pracy, może być zawieszony w hali na wysokości 3 m nad posadzką, dla temperatur zasilania czynnika grzejnego nie przekraczających 50°C, czyli średnia temperatura powierzchni promiennika powinna być niższa od 45°C. Dla wyższych temperatur czynnika grzejnego promiennik wodny należy zamontować wyżej nad stanowiskiem, zgodnie z tabelą 3.

Literatura

1. **Glück B.:** *Bewertungsmaßstab zur optimalen Anordnung von Heiz- und Kühlflächen im Raum.* Gesundheits-Ingenieur, H. 2, 65-71, 1991.
2. **Glück B.:** *Strahlungsheizung – Theorie und Praxis.* VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1981.
3. **Fanger P.O.:** *Komfort cieplny.* Arkady, Warszawa, 1974.
4. PN-EN ISO 7730:2006. Ergonomia. Środowisko termicznie umiarkowane. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego.
5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. Nr 75, poz. 690.
6. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, Dz.U. Nr 129, poz. 844.
7. **Zehnder ZBN:** *Sufitowe promienniki ciepła zasilane wodą.* Zehnder Polska, 2007.

Local Discomfort on the Work Station

Abstract

Maintenance of proper conditions at the work station is of a particular importance as it is proved by results of several different researches saying that in many cases indoor thermal conditions set outside of the recommended range, have an influence on the results of human's work.

The paper discusses the human thermal comfort conditions, indoors, with particular focus on the work stations in the large volume halls. The human thermal comfort is usually evaluated by the means of PMV and PPD index. Both of them refer to the entire human body. PMV index describes the predicted mean evaluation of the thermal comfort and PPD index expresses the predicted percentage of dissatisfied persons.

Despite favorable values of the thermal comfort indexes, human may however, feel so-called local discomfort, which may be caused by: draft, vertical temperature gradient inside a room, too cold or too warm floor, radiant temperature asymmetry caused by walls with temperature different then temperature of the air.

The paper presents the procedure of the comfort indexes determination and also the calculation procedure for the percentage of dissatisfied people, based on the technical conditions sensed by the entire body and persons feeling the local discomfort.

The paper includes also the description of the research post designed for the research of thermal conditions at the work station heated with the radiant ceiling panel installed in the high volume room. The research results have been presented with the calculation of radiant temperature and radiant temperature asymmetry. The local discomfort index has been determined as a value derived from the radiant temperature asymmetry. The research results were the basis for the formulation of the rules for the radiant ceiling panel installation over the work station in order to maintain the evenly distributed thermal field.

