

Wacław NAWROCKI
Zbigniew POPIOŁEK

Instytut Ogrzewnictwa, Wentylacji
i Ochrony Powietrza
Politechnika Śląska

OCENA WARUNKÓW CIEPLNYCH W POMIESZCZENIU ZA POMOCĄ PMV ORAZ ZMIERZONYCH PÓŁ PRĘDKOŚCI I TEMPERATURY

Streszczenie. Za pomocą modelowania fizykalnego przeanalizowano dla wybranego wariantu rozdziału powietrza warunki cieplne w strefie przebywania ludzi. Warunki te oceniono za pomocą pól temperatury i prędkości powietrza oraz na podstawie obliczonych wartości wskaźnika PMV (predicted mean vote). Wyniki pomiarów oraz obliczenia wykazały, że nawet przy dużym zakresie zmian prędkości i temperatury powietrza w pomieszczeniu wskaźnik PMV przyjmuje wartości, które można uznać za zadowalające.

1. WPROWADZENIE

Efekt działania ogrzewania powietrznego w obiektach przemysłowych polegający na uzyskaniu pożądaných warunków cieplnych w strefie przebywania ludzi zależy bardziej niż w przypadku innych sposobów ogrzewania od rozwiązania rozdziału powietrza i właściwości cieplnych samego obiektu.

Warunki cieplne w obrębie strefy przebywania ludzi kształtują strugi nawiewane poprzez generowanie w określonej przestrzeni procesu aerodynamicznego mieszania i przepływów wtórnych. Dla analizy procesu rozdziału powietrza z punktu widzenia kształtowanych warunków w strefie pracy można wykorzystać technikę fizykalnego modelowania [1].

2. CEL I METODA BADAŃ

Za pomocą modelowania fizykalnego w hali o wysokości 15 m i szerokości 18 m i przyjętego usytuowania otworów nawiewnych i wywiewnych analizowano kształtowanie się warunków w strefie przebywania ludzi w zależności od prędkości nawiewania powietrza. Badania prowadzono w modelu w skali 1:7,5. Otwory nawiewne rozmieszczone były na wysokości 3,5 m. Otwory te rozstawione co 6 m uzbrojone były w kierownice pionowe, przy czym kierownice skrajne rozwarte były pod kątem 90° .

Parametry początkowe strug nawiewnych dobierane były stosownie do strat ciepła hali przy założeniu temperatury w strefie przebywania ludzi 16°C . Temperaturę powietrza nawiewanego zmieniano w granicach 24 do 44°C przy zmianie prędkości nawiewania od 8,5 do 2,5 m/s. Odpowiadało to częstotliwości wymiany powietrza w zakresie 2 do 5 wymian na godzinę. Otwory wywiewne rozmieszczone były na wysokości 3,5 m w pobliżu otworów nawiewnych.

Ocenę otrzymanych wyników badań w odniesieniu do strefy przebywania ludzi (dla poziomu 1,5 m) prowadzono opierając się o wyznaczone [2]:

- P_{w_1} , % - prawdopodobieństwo występowania prędkości z przedziału $\bar{w}_1 \pm 0,1$ m/s, co charakteryzuje równomierność rozkładu prędkości,
- P_{w_2} , % - prawdopodobieństwo występowania prędkości z przedziału 0,15 do 0,35 m/s, co charakteryzuje strefę przebywania z uwagi na odczuwane warunki cieplne,
- $P_{\bar{t}}$, % - prawdopodobieństwo występowania temperatury z przedziału $\bar{t}_1 \pm 1$ K,
- \bar{w}_1 , \bar{t}_1 - średnie wartości prędkości i temperatury na poziomie 1,5 m.

Określono ponadto różnicę Δt pomiędzy średnimi temperaturami na poziomie 1,5 i 0,15 m ($\Delta t = \bar{t}_{1,5} - \bar{t}_{0,15}$).

Taka ocena wyników badań uzupełniona została oceną warunków cieplnych w strefie przebywania ludzi.

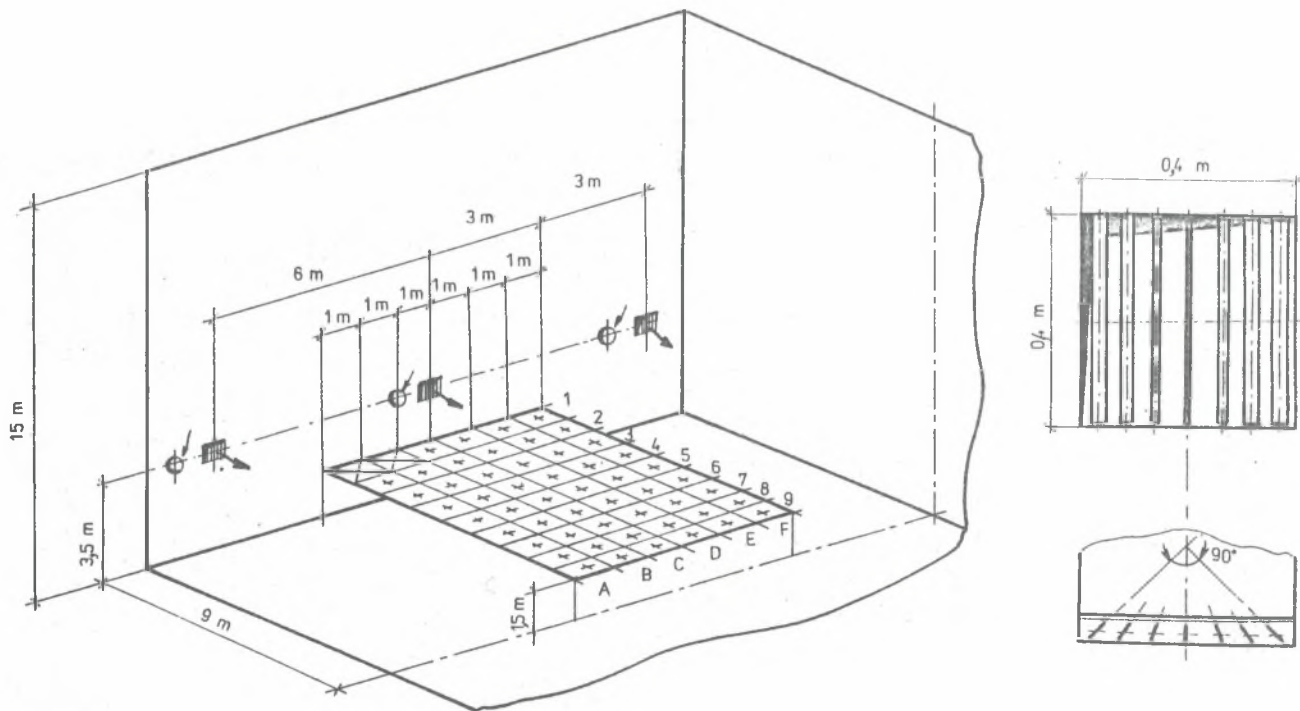
Warunki w tej strefie oceniano zgodnie z [3, 4] wskaźnikami PMV i PPD, przy czym wskaźnik PMV obliczono na podstawie uzyskanych wyników pomiarów zakładając dodatkowo; wytwarzanie energii metabolicznej w ilości 116 W/m^2 , co odpowiada 2,0 met, oporność cieplną odzieży $0,16 \text{ m}^2 \text{ K/W}$, co odpowiada 1,0 clo oraz średnią temperaturę promieniowania $13,7^{\circ}\text{C}$ i wilgotność względną powietrza 50%. Tak więc przyjęto, że w analizowanym obiekcie nie występują urządzenia będące źródłem promieniowania i wilgoci.

Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych oraz otworów nawiewnych i wywiewnych przedstawiono na rys. 1. Pomiary w strefie przebywania ludzi prowadzono w 54 punktach pomiarowych w przestrzeni przyjętej jako umownie obsługiwanej przez jeden nawiewnik.

3. WYNIKI BADAŃ

W tabelicy 1 przedstawiono zakres zmian parametrów strug nawiewanych w trakcie badań, wyznaczając dodatkowo wartości liczb Ar. Obliczone liczby Ar wskazują, że nawiewane strugi były słabo nieizotermiczne.

W tabelicy 2 zestawiono uzyskane dane charakteryzujące rozkład prędkości i temperatury powietrza w strefie przebywania ludzi oraz obliczone wartości wskaźnika PMV i PPD.



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych, otworów nawiewnych i wywiewnych oraz kierownic w nawiewniku
 Fig. 1. Position of measurement points, supply and outlet openings and directing vanes in the ventilator

Tablica 1

Zakres parametrów strug nawiewanych

Prędkość nawiewania u_0 , m/s	Temperatura powietrza nawiewanego t_0 , °C	Temperatura w strefie przebywania ludzi t_1 , °C	Liczba wymian z , 1/h	Ar
2,5	44	16	1,5	0,053
3,5	36	16	2,0	0,019
5,0	30	16	3,0	0,007
7,0	26	16	4,0	0,003
8,5	24	16	5,0	0,001

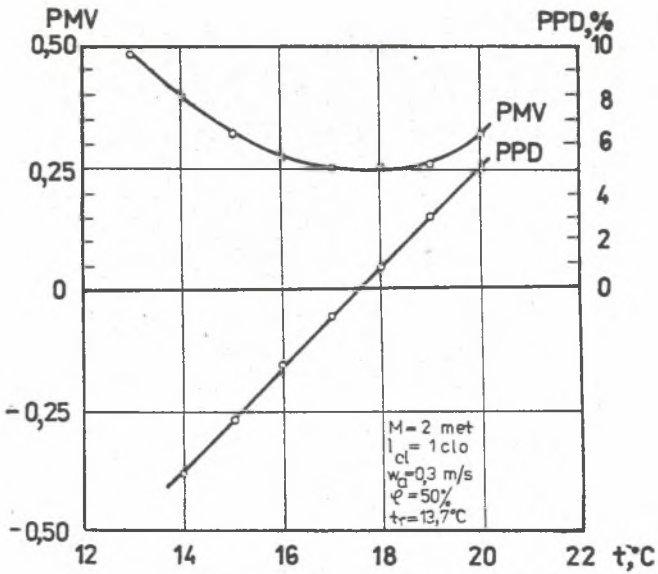
Tablica 2

Wyniki analizy rozkładu prędkości i temperatury oraz warunków cieplnych w strefie przebywania ludzi

Poz		Prędkość nawiewania u_0 , m/s				
		2,5	3,5	5,0	7,0	8,5
P_{w_1}	%	58,5	82,0	73,0	69,0	49,0
P_{w_2}	%	26,0	70,0	81,0	69,0	51,0
P_{t_1}	%	81,0	82,0	96,0	83,0	86,5
Δt	K	3,7	1,9	0,4	1,4	0,8
t_1	°C	17,5	17,3	15,4	15,7	15,6
\bar{w}_1	m/s	0,11	0,18	0,20	0,22	0,31
PMV		0,16	0,07	0,10	-0,14	-0,17
PPD	%	5,58	5,22	5,23	5,54	5,77

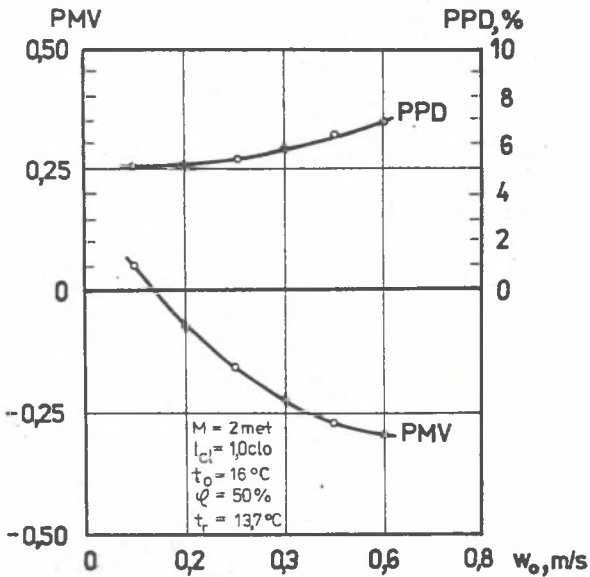
Dane te wskazują na zróżnicowanie prawdopodobieństwa występowania prędkości w przyjętym przedziale 0,15 do 0,35 m/s od 26% do 81% przy znikomym zróżnicowaniu prawdopodobieństwa występowania temperatury od 96% do 81%. Można więc przyjąć, że pożądany rozkład temperatury i prędkości w strefie przebywania ludzi dla analizowanego systemu rozdzielu powietrza wystąpi przy prędkości nawiewania 5,0 m/s.

Analizując wyniki badań z punktu widzenia warunków cieplnych wyznaczony wskaźnik PMV mieści się w przedziale wartości $-0,5 < PMV < +0,5$, a więc wskaźnik PPD jest niższy od 10%. Tak więc dla całego przyjętego w badaniach przedziału zmian prędkości nawiewania warunki cieplne w strefie przebywania ludzi są zadowalające w świetle obowiązującej normy [4].



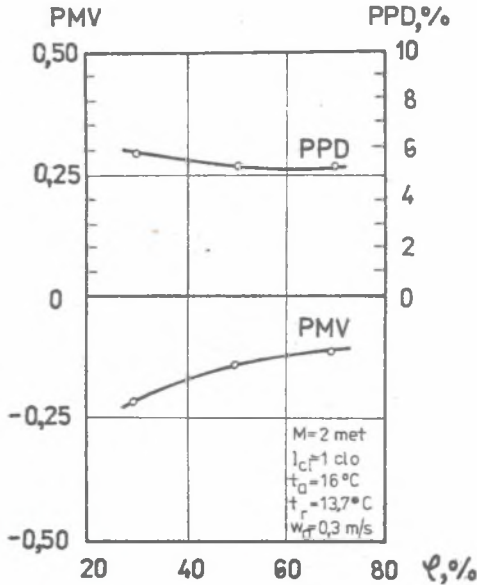
Rys. 2. Wpływ temperatury powietrza na warunki komfortu cieplnego wyrażone wskaźnikami PMV i PPD

Fig. 2. The effect of air temperature on thermal comfort conditions expressed by means of PMV and PPD indices



Rys. 3. Wpływ prędkości powietrza na warunki komfortu cieplnego wyrażone wskaźnikami PMV i PPD

Fig. 3. The effect of air velocity on thermal comfort conditions expressed by means of PMV and PPD indices



Rys. 4. Wpływ wilgotności względnej powietrza na warunki komfortu cieplnego wyrażone wskaźnikiem PMV i PPD

Fig. 4. The effect of relative humidity of air on thermal comfort conditions expressed by means of PMV i PPD indices

Dla oceny wpływu zmian temperatury i prędkości powietrza oraz wilgotności względnej na wartość wskaźnika PMV przy pozostałych wielkościach przyjętych jak w pkt 2 przeprowadzono obliczenia, których wyniki zilustrowano na rys. 2, 3 i 4. Otrzymane zależności potwierdziły możliwość dopuszczenia do stosunkowo znacznych zmian prędkości powietrza (od 0,2 do 0,8 m/s) przy stałej temperaturze powietrza, bez konsekwencji przekroczenia zalecanych wartości PMV. Podobnie przedstawione na rys. 3 zmiany temperatury powietrza w granicach 4°C przy prędkości powietrza 0,3 m/s nie powodują zmian wartości wskaźnika PMV wychodzących poza przedział uznany za właściwy.

Przedstawiony na rys. 4 wpływ zmiany wilgotności względnej powietrza na wartość wskaźnika PMV jest znikomy.

4. PODSUMOWANIE

Dla określonego sposobu rozdzielania powietrza można wyznaczyć optymalną wartość parametrów strugi nawiewanej z uwagi na pożądany rozkład temperatury i prędkości w strefie przebywania ludzi. W analizowanym przypadku za optymalną można uznać prędkość nawiewania wynoszącą 5,0 m/s.

Ocena warunków w strefie przebywania ludzi obiektu przemysłowego z punktu widzenia komfortu cieplnego wykazała, że warunki te są spełnione w stosunkowo szerokim zakresie zmian temperatury i prędkości. Stąd też istotnym elementem w ocenie warunków cieplnych w tego typu obiektach jest właściwa ocena poziomu aktywności człowieka i trafne określenie izolacyjności cieplnej odzieży.

Dla rozpatrywanego sposobu rozdziału powietrza wyznaczone drogą obliczeń warunki komfortu cieplnego są spełnione w całym przedziale analizowanych zmian prędkości nawiewania.

LITERATURA

- [1] Mierzwiński S., Majerski S.: Modelowanie procesów wentylacji. Nowa technika w inżynierii sanitarnej, zeszyt 2, Arkady, Warszawa 1972.
- [2] Mierzwiński S., Nawrocki W.: Air flow and energy management in warm air heating of industrial halls. International Congress on Building Energy Management. Lozanna 1987.
- [3] Fanger P.O.: Komfort cieplny. Arkady, Warszawa 1974.
- [4] PN-85/N-08013. Środowisko termiczne umiarkowane. Określanie wskaźników PMV, PPD i wymagań dotyczących komfortu termicznego.

ОЦЕНКА ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ В ПОМЕЩЕНИИ С ПОМОЩЬЮ ПОКАЗАТЕЛЯ PMV И ИЗМЕРЕННЫХ ПОЛЕЙ СКОРОСТЕЙ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ

Резюме

С помощью физического моделирования для избранного варианта распределения воздуха был проведен анализ температурных условий в зоне пребывания людей. Условия эти оценивались с помощью полей температуры и скоростей воздуха, а также опираясь на рассчитанные значения показателя PMV. Результаты измерений и расчеты доказали, что даже в больших пределах изменений скорости и температуры воздуха в помещении показатель PMV принимает значения, которые можно считать удовлетворительными.

EVALUATION OF THERMAL CONDITIONS IN A ROOM BY MEANS OF PMV INDEX AND MEASURED VELOCITY AND TEMPERATURE FIELDS

Summary

Thermal conditions in the occupied zone were analyzed by means of physical modelling for one selected air distribution. The conditions were

evaluated by means of air temperature and velocity fields and with the use of calculated values of PMV (Predicted Mean Vote) index. The measurement and calculation results have proved that even at wide ranges of air temperature and velocity changes in the room PMV index values may be considered satisfactory.