



POLITECHNIKA RZESZOWSKA
Wydział Budownictwa,
Inżynierii Środowiska
I Architektury



ZAKŁAD CIEPŁOWNICTWA
I KLIMATYZACJI

Temat ćwiczenia:

POMIAR PMV, PPD, DR, WBGT

Wykonał :....., Rzeszów.....
Imię i nazwisko oraz nr grupy i rok studiów data

Sprawdził :
mgr inż. Paweł Kut

Rok akademicki

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest określenie na podstawie pomiarów wartości wskaźników PMV, PPD, DR i WBGT oraz porównanie ich z wartościami optymalnymi dla komfortu cieplnego dla pomieszczenia, w którym pomiary były wykonywane.

2. Wyniki pomiaru

Pomiar podstawowych wielkości do określenia PMV

Należy ustalić aktywność osób M przebywających w pomieszczeniu zgodnie z poniższą tabelą nr 1.

Tabela 1. Przykładowe wartości metabolizmu w zależności od aktywności.

Aktywność	Rodzaj aktywności	Wartość M
Odpoczynek	Sen	0.7 met
	Odpoczynek na leżąco	0.8 met
	Odpoczynek na siedząco	1.0 met
	Odpoczynek na stojąco	1.2 met
Spacer	0.89 m/s	2.0 met
	1.79 m/s	3.8 met
Praca biurowa	Pisanie	1.1 met
Prowadzenie	Samochód	1.0 to 2.0 met
	Maszyna ciężka	3.2 met
Prace domowe	Gotowanie	1.6 to 2.0 met
	Zmywanie	1.6 met
	Sprzątanie	2.0 to 3.4 met
Taniec		2.4 to 4.4 met
Nauka		1.6 met
Sport i zabawy	Tenis	3.6 to 4.0 met
	Gimnastyka	4.0 met
	Koszykówka	5.0 to 7.6 met
	Wrestling	7.0 to 8.7 met

Wielkość pracy zewnętrznej wykonywanej przez człowieka $L=0$, co oznacza sprawność termiczną człowieka na poziomie $\eta=0$.

Opór cieplny odzieży noszonej przez osoby w pomieszczeniu należy ustalić jako wartość średnią na podstawie tabeli nr 2. Wartości izolacyjności odzieży należy sumować od poszczególnych części ubioru!

Tabela 2. Izolacyjność cieplna odzieży

Opis	Izolacyjność, I_{clo}
Bielizna	0,03
Podkoszulek	0,09
Koszulka	0,15
Koszula	0,25
Spodnie	0,25
Dres (lato)	0,15
Dres (zima)	0,25-0,40

Opis	Izolacyjność, I_{clo}
Sweter	0,20-0,35
Marynarka	0,35-0,40

Średnia wartość metabolizmu	M =	met
Średnia wartość sprawności termicznej	$\eta = 0$	
Średnia wartość pracy zewnętrznej	L = 0	
Średnia wartość izolacyjności odzieży

Suma $I_{cl} = \dots\dots\dots$ clo

Określenie ciśnienia cząstkowego pary wodnej w powietrzu należy wykonać metodą pośrednią w oparciu o wykres dla powietrza wilgotnego mierząc temperaturę termometru suchego T_s oraz wilgotność względną ϕ .

$T_s = \dots\dots\dots$ °C (wartość średnia)

$\phi = \dots\dots\dots$ % (wartość średnia)

Wartość p_w można również wyznaczyć w oparciu o prostą zależność:

$$p_w = 611 \cdot e^{(7,257 \cdot 10^{-2} \cdot T_s - 2,937 \cdot 10^{-4} \cdot T_s^2 + 9,81 \cdot 10^{-7} \cdot T_s^3 - 1,901 \cdot 10^{-9} \cdot T_s^4) \cdot \frac{\phi}{100}}$$

T_s należy podstawić w °C, a ϕ w %!

$p_w = \dots\dots\dots$ Pa (na podstawie obliczeń)

Wyznaczenie prędkości ruchu powietrza w pomieszczeniu należy wykonać za pomocą katatermometru wg poniższego schematu:

Indeks kata oblicza się z zależności

$$A = Q/t \text{ [mcal/cm}^2 \cdot \text{sek]}$$

gdzie:

Q – stała katatermometru, mcal/cm²

t – czas odpadania słupka cieczy od 38 do 35 °C, s

Prędkość ruchu powietrza w pomieszczeniu oblicza się z zależności (dla $w < 1$ m/s)

$$w = \left[\frac{A - 0,2 * (\Delta T)}{0,4 * (\Delta T)} \right] \text{ [m / s]}$$

gdzie:

ΔT - średnia temperatura pomiędzy katatermometrem, a pomieszczeniem =36,5- T_s , K

Należy określić wartość prędkości w 4 różnych punktach pomieszczenia i ostatecznie przyjąć wartość średnią z 4 pomiarów!

Z pomiarów:

1 pomiar

$Q =$

mcal/cm²*sek

$t =$ s

$T_s =$ °C

$w_1 =$ m/s

2 pomiar

$Q =$

mcal/cm²*sek

$t =$ s

$T_s =$ °C

$w_2 =$ m/s

3 pomiar

$Q =$

mcal/cm²*sek

$t =$ s

$T_s =$ °C

$w_3 =$ m/s

4 pomiar

$Q =$

mcal/cm²*sek

$t =$ s

$T_s =$ °C

$w_4 =$ m/s

Stąd wartość średnia prędkości $w =$ m/s

Należy określić wartość odchylenia standardowego prędkości DS_w wg:

$$DS_w = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i - w)^2}{N} \right]^{0,5}, \text{ m/s}$$

gdzie:

N – ilość pomiarów, -

w_i – prędkość każdego pomiaru, m/s

w – prędkość średnia pomiaru, m/s

Stąd DS_w :

$$DS_w = \text{....., m/s}$$

Wartość stosunku powierzchni ciała okrytego odzieżą do pola powierzchni ciała odkrytego f_{cl} określa się wg zależności:

$$f_{cl} = \begin{cases} \text{jeżeli } I_{cl} < 0,5 \text{ clo} \rightarrow f_{cl} = 1,00 + 0,2 \cdot I_{cl} \\ \text{w przeciwnym wypadku } f_{cl} = 1,05 + 0,1 \cdot I_{cl} \end{cases}, -$$

Wartość I_{cl} należy wstawiać w clo! Stąd

$$f_{cl} = \dots\dots\dots, -$$

Dla wyznaczenia średniej temperatury ciała okrytego odzieżą T_{cl} należy korzystać z zależności:

$$T_{cl} = \frac{35,7 - T_{cl} - 0,028 \cdot M \cdot (1 - \eta) - I_{cl} \cdot \left[3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot ((T_{cl} + 273,14)^4 - (T_{mrt} + 273,14)^4) \right]}{+ f_{cl} \cdot \alpha_k \cdot (T_{cl} - T_s)} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Gdzie:

T_{mrt} – temperatura promieniowania, $^\circ\text{C}$

α_k - współczynnik przejmowania ciepła, $\text{W/m}^2\text{K}$

Wartości temperatur wstawiać należy w $^\circ\text{C}$!

Wartość I_{cl} należy wstawić do zależności w $\text{m}^2\text{C/W}$, zakładając: 1 clo = 0,155 $\text{m}^2\text{C/W}$

$$I_{cl} = \dots\dots\dots \text{ clo} = \dots\dots\dots \text{ m}^2\text{C/W}$$

Wartość M należy wstawić w W/m^2 (zakładając 1 met = 58,2 W/m^2)

Stąd:

$$M = \dots\dots\dots \text{ met} = \dots\dots\dots \text{ W/m}^2$$

Wartość α_k należy wyznaczyć w oparciu o zależność:

$$\alpha_k = \begin{cases} \text{jeżeli } 2,38 \cdot |T_{cl} - T_s|^{0,25} < 12,1 \cdot w^{0,5} \rightarrow \alpha_k = 2,38 \cdot |T_{cl} - T_s|^{0,25} \\ \text{w przeciwnym wypadku } \alpha_k = 12,1 \cdot w^{0,5} \end{cases} \text{ W/m}^2\text{K}$$

Temperaturę do wzoru wstawiać należy w $^\circ\text{C}$!

$$\text{Stąd } \alpha_k = \dots\dots\dots \text{ W/m}^2\text{K}$$

Wartość temperatury promieniowania można wyznaczyć w oparciu o prawo Stefana – Boltzmana wg poniższej zależności:

$$T_{mrt} = \left[(T_g + 273,14)^4 + \frac{\alpha_k \cdot (T_g - T_s)}{\varepsilon \cdot \sigma} \right]^{1/4} - 273,14, \text{ } ^\circ\text{C}$$

Gdzie:

T_g – temperatura termometru poczernionego, $^\circ\text{C}$

ε – emisyjność, -

σ – stała Stefana-Boltzmana, $5,670373(21) \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

$$\text{Wartość zmierzona } T_g = \dots\dots\dots, \text{ } ^\circ\text{C}$$

Wartość emisyjności należy ustalić w oparciu o tabelę nr 2.

Tabela 2. Przykładowe wartości emisyjności materiałów.

material	$\varepsilon, -$
szkło	0,93
szkło matowe	0,96
szkło oszronione	0,96
gips	0,85
Cegła czerwona chropowata	0,90
glazura	0,92
marmur	0,03
tynk	0,91
blacha ocynk	0,20

Wartość emisyjności należy ustalić jako wartość średnią ważoną:

$$\varepsilon = \frac{\sum \varepsilon_i A_i}{\sum A_i}, -$$

A_i – powierzchnie jednostkowe pomieszczenia, m²

Rodzaj powierzchni	A_i, m^2	$\varepsilon_i, -$	$A_i \varepsilon_i$
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
SUMA	$\sum A_i$	$\sum \varepsilon_i \cdot A_i$	

Zatem wartość średnia współczynnika emisyjności promieniowania:

$$\varepsilon = \dots\dots\dots, -$$

Zatem wartość

$$T_{mrt} = \dots\dots\dots, ^\circ C \text{ (z obliczeń)}$$

Wartość temperatury powierzchni okrytej odzieżą T_{cl} określić należy w następujący sposób:

- Tabelarycznie przyjąć wielkość T_{cl} jako lewa strona równania na T_{cl}
- W następnej kolumnie określić wielkość α_k
- W następnej kolumnie określić wielkość prawej stronie równania na T_{cl}
- Odszukać pozycję, przy której prawa strona równania zmienia znak z „+” na „-”
- W pozycji tej znajduje się szukana wartość T_{cl}
- W pozycji tej znajduje się również wartość α_k

Przykład znajduje się w załączniku nr 3

Zatem

$$T_{cl} = \dots\dots\dots, \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\alpha_k = \dots\dots\dots, \text{ W/m}^2\text{K}$$

W tabeli nr 3 zestawiono wielkości potrzebne do określenia PMV .

Ostatecznie wartość przewidywanej oceny średniej mikroklimatu PMV liczyć należy wg zależności:

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0,036 \cdot M} + 0,028) \cdot [(M - L) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot \{5733 - 6,99 \cdot (M - L) - p_w\} - 0,42 \cdot \{(M - L) - 58,15\} - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_w) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - T_s) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \{(T_{cl} + 273,14)^4 - (T_{mrt} + 273,14)^4\} - f_{cl} \cdot \alpha_k \cdot (T_{cl} - T_s)]$$

Tabela 3. Zestawienie niezbędnych wielkości do określenia PMV .

Wielkość	Jednostka	Wartość
M	W/m ²
L	W/m ²
p_w	Pa
T_s	°C
f_{cl}	-	
T_{cl}	°C	

Wielkość	Jednostka	Wartość
T_{mrt}	°C	
α_k	W/m ² K	

Stąd

$$PMV = \dots\dots\dots, -$$

Wartość wskaźnika PMV przyjmuje wartości:

- +3 gorąco
- +2 ciepło
- +1 dość ciepło
- 0 obojętnie
- -1 dość chłodno
- -2 chłodno
- -3 zimno

Zalecany zakres komfortu cieplnego powinien mieścić się w zakresie od +0,5 do -0,5. Wskaźnik przewidywanego odsetka osób niezadowolonych *PPD* określa się na podstawie *PMV* wg poniższej zależności:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)}, \%$$

Stąd

$$PPD = \dots\dots\dots, \%$$

Wartości *PMV* i *PPD* należy nanieść na załączony do sprawozdania wykres – załącznik nr 4.

Wartość przewidywanego odsetka osób niezadowolonych z przeciągu *DR* liczy się z zależności:

$$DR = (34 - T_s) \cdot (w - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot w \cdot T + 3,14), \%$$

gdzie:

T – intensywność turbulencji, %

Wartość *T_s* wstawiamy w °C!

Zależność na *DR* jest słuszna dla założeń:

$$T_s = 20 \text{ do } 26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$w \leq 0,5 \text{ m/s}$$

$$T = 6 \text{ do } 10 \%$$

Jeśli *DR* wychodzi większe od 100 % należy przyjąć *DR* = 100%!

Wielkość intensywności turbulencji przyjmuje wartości:

- przepływ powietrza o intensywności turbulencji $T < 5\%$ – przepływ laminarny,
- przepływ o intensywności $T = 5\%$ do 20% – przepływ niskoturbulentny,
- przepływ o intensywności $T > 20\%$ – przepływ turbulentny.

Wielkość T określa się z zależności:

$$T = \frac{SD_w}{w} \cdot 100, \%$$

gdzie:

SD_w – średnie standardowe odchylenie od średniej wartości prędkości przepływu powietrza, m/s (określona wyżej)

w – średnia prędkość powietrza, m/s (określona wyżej)

Stąd:

$$SD_w = \dots\dots\dots \text{ m/s}$$

$$w = \dots\dots\dots \text{ m/s}$$

Ostatecznie stopień turbulencji wynosi:

$$T = \dots\dots\dots \%$$

Stąd wielkość DR:

$$\mathbf{DR = \dots\dots\dots \%}$$

Temperatura odczuwalna określana jako DRT można wyznaczyć w oparciu o zależność:

$$DRT = \frac{T_{mrt} + 3,17 \cdot T_s \cdot w^{0,5}}{1 + 3,17 \cdot w^{0,5}}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperaturę wstawiamy w $^\circ\text{C}$, prędkość w m/s!

$$\text{Jeśli } w < 0,1 \text{ m/s to } DRT = \frac{T_{mrt} + T_s}{2}$$

Stąd:

$$DRT = \dots\dots\dots \text{ } ^\circ\text{C}$$

Wskaźnik WBGT – wiąże dwa pochodne parametry, mianowicie: temperaturę mierzoną termometrem wilgotnym T_w i temperaturę pocernionej kuli T_g , a w pewnych przypadkach temperaturę mierzoną termometrem suchym T_s .

Wielkość WBGT (ogólna ocena obciążenia cieplnego) określa zależność:

a) dla pomieszczeń w przypadku braku nasłonecznienia:

$$WBGT = 0,7 \cdot T_w + 0,3 \cdot T_g, \quad ^\circ\text{C}$$

b) na zewnątrz pomieszczeń w przypadku występowania nasłonecznienia:

$$WBGT = 0,7 \cdot T_w + 0,2 \cdot T_g + 0,1 \cdot T_s, \quad ^\circ\text{C}$$

Wartość T_w należy odczytać z wykresu ix dla zmierzonych wielkości T_s i ϕ . Stąd:

$T_w = \dots\dots\dots$ $^\circ\text{C}$

Panadto

$T_s = \dots\dots\dots$ $^\circ\text{C}$

$T_g = \dots\dots\dots$ $^\circ\text{C}$

$\phi = \dots\dots\dots$ %

Ostatecznie:

$WBGT = \dots\dots\dots$ $^\circ\text{C}$ wewnątrz pomieszczenia

Wartości te należy porównać z dopuszczalnymi wg Tabeli 3.

Tabela 3. Wartości odniesienia wskaźnika obciążenia termicznego WBGT.

Klasa tempa metabolizmu	Tempo metabolizmu, M	Wartość odniesienia WBGT, $^\circ\text{C}$	
	Odniesione dojednostki powierzchni skóry, W/m^2	Osoba zaaklimat. w środowisku gorącym	Osoba niezaaklimat. w środowisku gorącym
0	$M \leq 65$	33	32
1	$65 < M \leq 130$	30	29
2	$130 < M \leq 200$	28	26
3	$200 < M \leq 260$	Nieodczuwalny ruch powietrza 25	Nieodczuwalny ruch powietrza 22
		Odczuwalny ruch powietrza 26	Odczuwalny ruch powietrza 23
4	$M > 260$	Nieodczuwalny ruch powietrza 23	Nieodczuwalny ruch powietrza 18

3. Wnioski końcowe

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. Literatura

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.*

PN-EN 27243:2005 *Środowiska gorące. Wyznaczanie obciążenia termicznego działającego na człowieka podczas pracy, oparte na wskaźniku WBGT.*

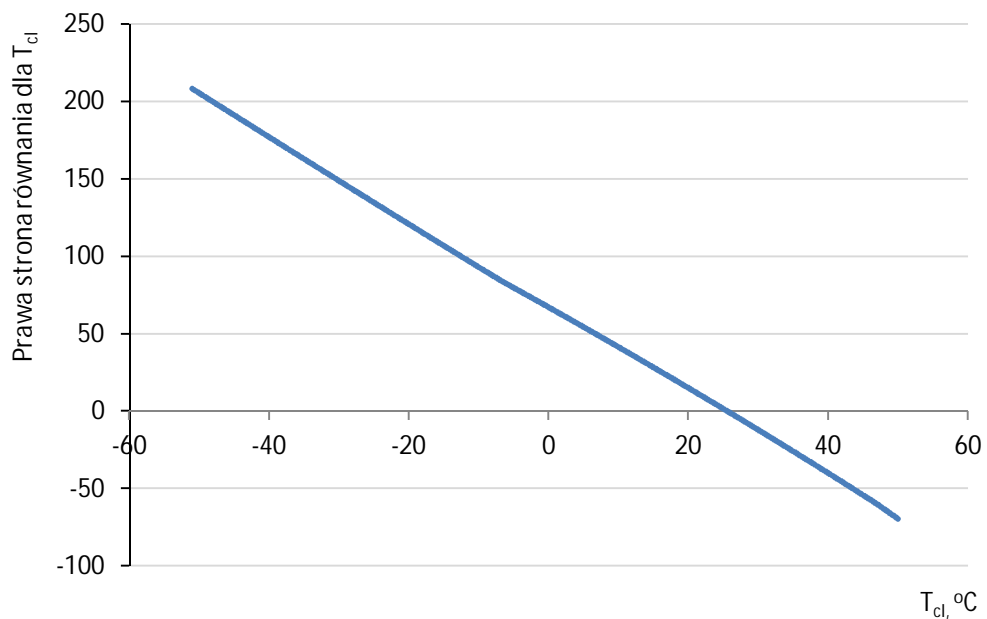
Załączniki

- 1. Podpisana przez prowadzącego karta z pomiarami
- 2. Wykres ix
- 3. Przykład tabelarycznego i graficznego wyznaczania T_{cl}

Załącznik nr 3

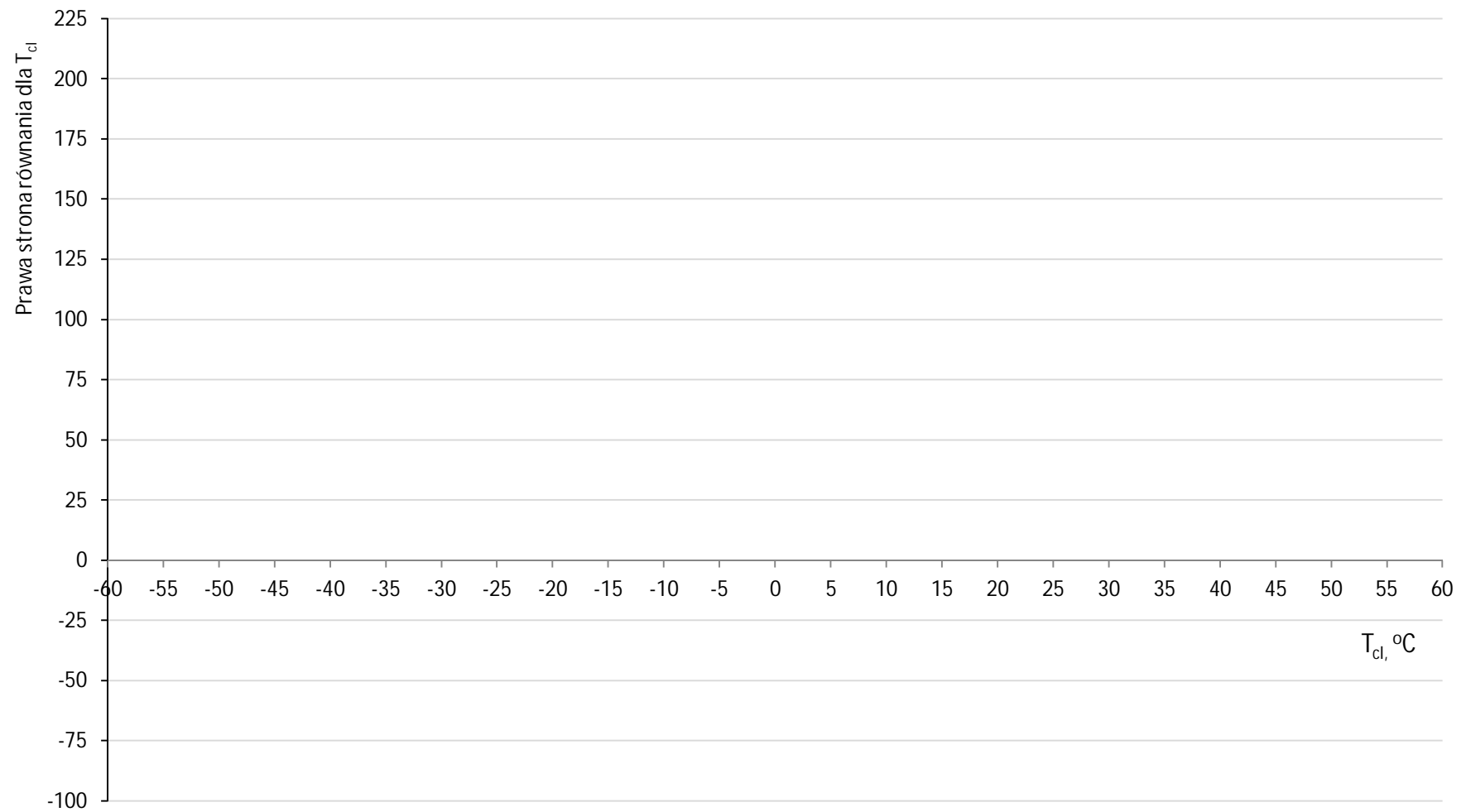
Tabela X. Analityczne ustalanie wartości T_{cl} - **PRZYKŁAD**

T_{cl} , °C	Lewa strona równania na T_{cl}	α_k , W/m ² K
25,1	1,370209163	5,411285
25,2	1,098924427	5,411285
25,3	0,827564371	5,411285
25,4	0,556128945	5,411285
25,5	0,284618097	5,411285
25,6	0,013031777	5,411285
25,7	-0,258630066	5,411285
25,8	-0,530367481	5,411285
25,9	-0,80218052	5,411285
26	-1,074069234	5,411285
26,1	-1,346033672	5,411285
26,2	-1,618073886	5,411285



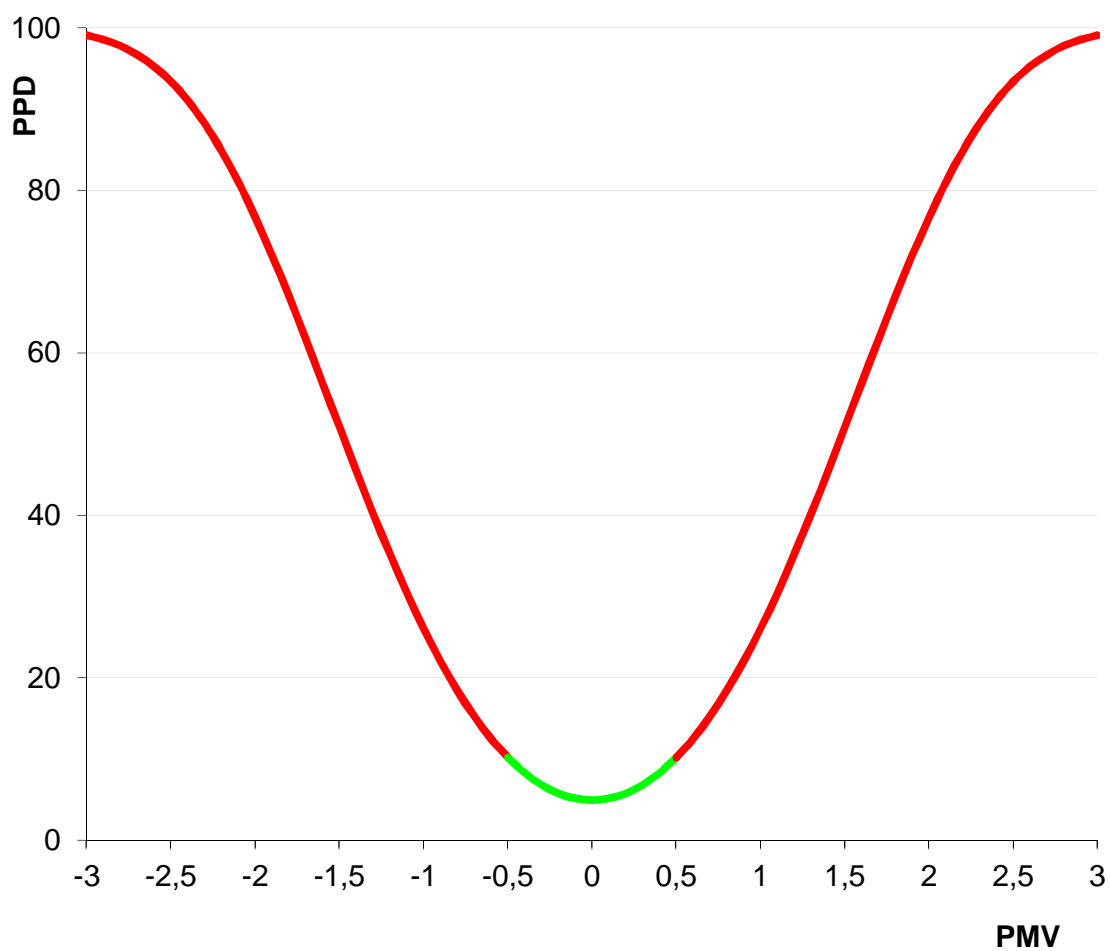
Rysunek X. Graficzne ustalanie wartości temperatury powierzchni pokrytej odzieżą T_{cl} .
- **PRZYKŁAD**

Tabelę i wykres należy ustalić indywidualnie!



Rysunek X. Graficzne ustalanie wartości temperatury powierzchni okrytej odzieżą T_{cl} . (nanieść wartości obliczeń!)

Załącznik nr 4



Rysunek Y. Wzajemna zależność pomiędzy PPD i PMV z naniesionymi wartościami z pomiarów.