



LABORATORIUM ERGONOMII I BEZPIECZEŃSTWA PRACY

ĆWICZENIE NR 6

Ocena komfortu cieplnego środowiska umiarkowanego na podstawie normy PN-EN ISO 7730:2006

Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z podstawowymi zagadnieniami związanymi z badaniem mikroklimatu na stanowiskach pracy i oceną komfortu cieplnego środowiska umiarkowanego wg normy PN-EN ISO 7730:2006.

Wyposażenie stanowiska:

Taśma miernicza, miernik prędkości przepływu powietrza i temperatury firmy TFA, miernik do pomiarów środowiskowych firmy Voltcraft z funkcją pomiaru wilgotności względnej, komputer z dostępem do aplikacji CBE Thermal Comfort Tool.

Literatura:

1. Bogdan A. Metody oceny środowiska umiarkowanego cieplnie zgodnie z zapisem normy PN-EN ISO 7730:2006, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 2010, nr 1(63), s. 93–100,
2. Jaworski J., Laboratorium ergonomii. Przewodnik do ćwiczeń, Olsztyn, 2008.
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 (oryg.),
4. PN-EN ISO 7726:2002 Ergonomia środowiska termicznego. Przyrządy do pomiaru wielkości fizycznych (oryg.).

Zagadnienia kontrolne:

Mikroklimat, podstawowe parametrów fizyczne mikroklimatu, zagrożenia wynikające z mikroklimatu zimnego i gorącego, komfort cieplny, czynniki wpływające na ocenę warunków mikroklimatycznych, wskaźniki określające komfort cieplny środowiska umiarkowanego.

Przebieg ćwiczenia:

1. Wykonać szkic pomieszczenia zaznaczając źródła ciepła, okna, drzwi, system wentylacyjny i klimatyzację (jeżeli jest), zlokalizować punkty pomiarowe.
2. Określić cechy indywidualne użytkownika badanego obszaru, porę roku i rodzaj pracy.
3. Dokonać pomiaru parametrów mikroklimatu środowiska: temperatury, wilgotności względnej, prędkości przepływu powietrza.
4. Uzyskane wartości parametrów mikroklimatu porównać z wartościami dopuszczalnymi.
5. Wyznaczyć wskaźniki komfortu PMV i PPD korzystając z aplikacji CBE Thermal Comfort Tool i otrzymane wartości porównać z normą.
6. Dokonać oceny środowiska termicznego wraz z ewentualnymi wskazówkami co do koniecznych modyfikacji, w celu zapewnienia komfortu termicznego.

TEORIA

Mikroklimat to zespół czynników atmosferycznych charakteryzujących określony wydzielony obszar środowiska. Tam gdzie np. wykonywana jest praca mówimy o mikroklimacie pomieszczeń. Warunki mikroklimatyczne otoczenia wpływają na dobre samopoczucie człowieka, wydajność pracy, liczbę popełnianych błędów oraz na zachowanie zdrowia. Z tego powodu korzystne jest utrzymywanie mikroklimatu zapewniającego optymalne funkcjonowanie organizmu ludzkiego – tab.1.

Tab. 1. Rekomendowane parametry mikroklimatu w pomieszczeniach, gdzie wykonywana jest praca [2]

Pora roku	Rodzaj pracy	Temperatura	Wilgotność względna	Prędkość ruchu powietrza
		°C	%	m/s
Zimna	lekka i średnia	16 - 22	40 - 70	< 0.2
	ciężka	14 - 16	40 - 70	< 0.3
Ciepła	lekka i średnia	18 - 24	40 - 70	< 0.3
	ciężka	16 - 19	40 - 70	< 0.5

Wyróżniamy trzy główne typy **mikroklimatu**: zimny, umiarkowany oraz gorący.

Mikroklimat zimny wiąże się z zagrożeniem ogólnego wychłodzenia organizmu, jak również znacznego ochłodzenia kończyn, a nawet do odmrożeń. Mikroklimat umiarkowany – to zagrożenie odczuwania dyskomfortu lokalnego, będącego bardzo często rezultatem przeciągów bądź też dużej amplitudy temperatur w danym pomieszczeniu. Mikroklimat gorący, to możliwość zagrożeń takich jak: hipertermia (przegrzanie organizmu), odwodnienie organizmu, oparzenia.

Ocenę warunków mikroklimatycznych na stanowisku pracy przeprowadza się w oparciu o:

- pomiar podstawowych parametrów fizycznych: temperatury, wilgotności, prędkości ruchu powietrza, ciśnienia atmosferycznego;
- porównanie ich z wartościami normatywnymi,
- uwzględnienie wpływu innych czynników takich jak: promieniowanie termiczne, wielkość wysiłku fizycznego, pora roku: ciepła - powyżej 10°C, zimna - poniżej 10°C, rodzaj odzieży, sposób odżywiania.

Pomiary temperatury powinny być wykonywane w miejscu, gdzie najczęściej przebywa pracownik. Dla uproszczenia należy przyjąć, że w pomieszczeniach **temperatura promieniowania równa jest temperaturze powietrza**. W poszczególnych przestrzeniach w pomieszczeniu parametry środowiska cieplnego mogą się różnić, w zależności od usytuowania stanowiska pracy wobec okien i przegród wewnętrznych i zewnętrznych, lokalizacji nawiewników lub też innych elementów mających wpływ na środowisko cieplne (grzejniki, belki chłodzące itp.). W celu określenia gradientów (różnic) temperatur należy zbadać rozkład temperatury w pomieszczeniu i zlokalizować punkty pomiarowe wg tabeli 2.

Tab. 2. Lokalizacja punktów pomiarowych w pomieszczeniu pracy

Poziomy położenia czujników	Współczynniki wagowe stosowane do obliczeń wartości średnich				Orientacyjne wysokości pomiarów	
	Środowisko jednorodne		Środowisko niejednorodne		Pozycja siedząca	Pozycja stojąca
	Klasa C	Klasa S	Klasa C	Klasa S		
Głowa			1	1	1,1 m	1,7 m
Brzuch	1	1	1	2	0,6 m	1,1 m
Kostki			1	1	0,1 m	0,1 m

W zależności od tego czy na stanowisku pracy występuje środowisko zimne, gorące czy umiarkowane, wprowadzono w normie dwie klasy wymagań dotyczących aparatury pomiarowej – klasa C dotycząca środowiska umiarkowanego i badań związanych z komfortem cieplnym oraz klasa S – badania w środowisku gorącym lub zimnym – występowanie stresu cieplnego.

Komfortem cieplnym nazywamy taki stan warunków mikroklimatycznych, w których wymiana ciepła między organizmem ludzkim a otoczeniem zachodzi w optymalnych warunkach i odbywa się bez udziału świadomości człowieka. Bilans cieplny organizmu pozostaje w równowadze.

Komfort cieplny może być ogólny i miejscowy. Komfort cieplny ogólny dotyczy odczucia charakteryzowanego dla całego ciała.

W ocenie komfortu cieplnego należy uwzględnić poza czynnikami atmosferycznymi także czynniki związane z człowiekiem. Najważniejszymi parametrami są zgodnie z normą PN-EN ISO 7730: 2006 dwa czynniki:

- praca zewnętrzna zależna od aktywności fizycznej człowieka (tempo metabolizmu) – tab.3,
- izolacyjność cieplna odzieży – tab. 4.

W zależności od rodzaju środowiska cieplnego oddziałującego na organizm człowieka, należy obliczyć odpowiednie wskaźniki i porównać uzyskaną wartość z wartościami dopuszczalnymi.

W celu oceny **środowiska umiarkowanego** stosuje się dwa wskaźniki określające komfort cieplny ogólny, tj. dotyczący całego ciała: PMV i PPD, natomiast do wystąpienia ryzyka dyskomfortu miejscowego – wskaźniki PD i DR.

Wskaźnik PMV (*predicted mean vote*) określa przewidywaną średnią ocenę dużej liczby osób przebywających w danym pomieszczeniu, zgodnie z przedstawioną poniżej skalą zmienności cieplnej:

Temperatura środowiska	Ocena komfortu cieplnego ogólnego
+3	gorąco
+2	ciepło
+1	umiarkowanie ciepło
0	neutralnie
-1	umiarkowanie chłodno
-2	chłodno
-3	zimno

Wskaźnik PMV jest odniesiony do nierówności między ciepłem oddawanym przez człowieka i odbieranym przez środowisko otaczające a optymalnym strumieniem przekazywanego do otoczenia strumienia ciepła, które zapewniałoby warunki komfortu przy danej aktywności. Zakłada się, iż wartość wskaźnika $PMV = 0$ opisuje idealny komfort cieplny organizmu, natomiast w granicach $-0,5 < PMV < +0,5$ określa się dopuszczalny komfort cieplny. Strefa umiarkowanego cieplnie środowiska rozciąga się w zakresie $-2,0 < PMV < +2,0$ – powyżej tej wartości występuje środowisko gorące, a poniżej środowisko zimne.

Wielkość wskaźnika PMV oblicza się na podstawie równania 1:

$$\left[0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028 \right] \cdot \left\{ \begin{aligned} & (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ & - 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ & - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

w którym:

M – tempo metabolizmu, w watach na metr kwadratowy,

W – efektywna praca mechaniczna, w watach na metr kwadratowy,

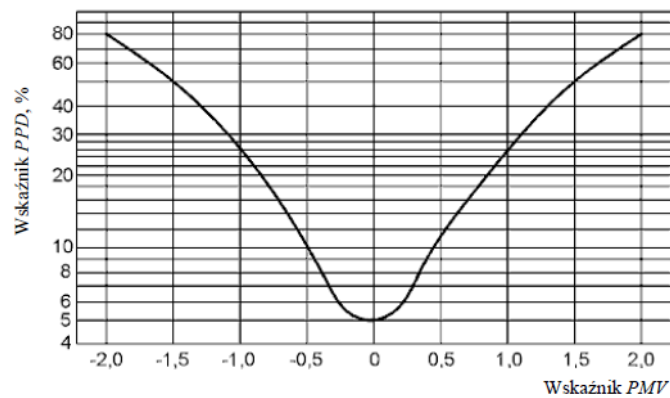
Id – izolacyjność cieplna odzieży, w metrach kwadratowych razy kelwin na wat,

f_d – współczynnik powierzchni odzieży,
 t_a – temperatura powietrza, w stopniach Celsjusza,
 t_r – średnia temperatura promieniowania, w stopniach Celsjusza,
 v_{ar} – prędkość powietrza, w metrach na sekundę,
 p_a – ciśnienie cząstkowe pary wodnej, w paskalach,
 h_c – współczynnik konwekcji ciepła, w watach na metr kwadratowy razy kelwin,
 t_{cl} – temperatura powierzchni odzieży, w stopniach Celsjusza.

Wskaźnik PPD (*predicted percentage of dissatisfied*), tj. przewidywany odsetek niezadowolonych z grupy ludzi znajdujących się w danym otoczeniu. Wskaźnikiem PPD określa się procentowy udział osób oceniających zdecydowanie negatywnie badane środowisko termiczne, przy czym środowisko uznaje się za komfortowe, gdy wskaźnik PPD ma wartość mniejszą niż 10%, co odpowiada wskaźnikowi PMV w granicach $\pm 0,5$.

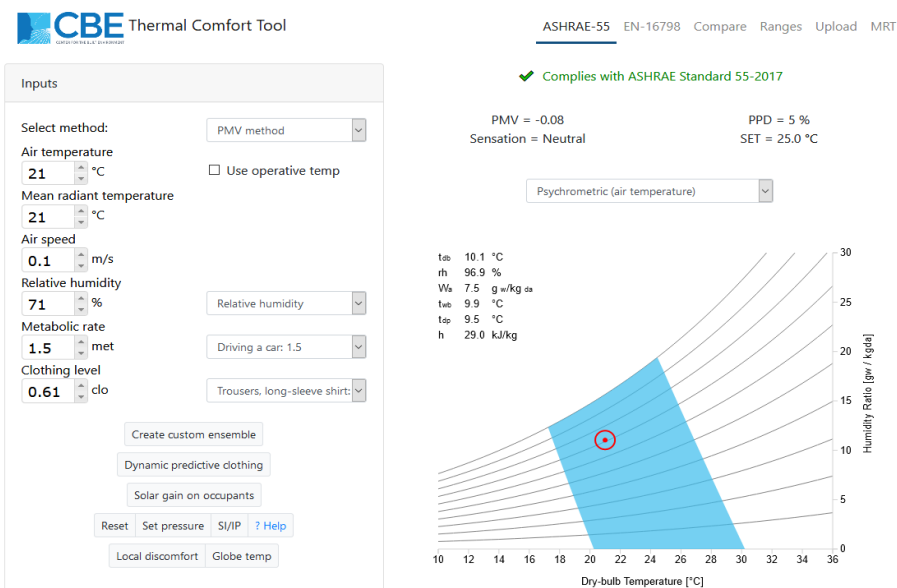
Określenie wartości wskaźnika PMV umożliwia obliczenie wskaźnika PPD oraz korelacji między wartościami PMV a PPD za pomocą równania 2 zawartego w normie PN-ISO 7730:2006.

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (2)$$



Rys.1. Zależność między wskaźnikami PPD i PMV

Wartości wskaźników PPD i PMV można uzyskać korzystając z aplikacji CBE Thermal Comfort Tool – rys. 2.



Rys. 2. Aplikacja Thermal Comfort Tool (zrzut ekranu); źródło: comfort.cbe.berkeley.edu

Tab. 3. Orientacyjny poziom metabolizmu i praca zewnętrzna przy różnych aktywnościach

Rodzaj aktywności	Poziom metabolizmu [met]	Ciepło wydzielane [kcal/h]
odpoczynek w pozycji leżącej	0,8	70
odpoczynek w pozycji siedzącej	1,0	90
relaks w pozycji stojącej lub aktywność w pozycji siedzącej (np. praca biurowa)	1,2	110
aktywność w pozycji stojącej (np. zakupy, przemysł lekki)	1,6	145
średnio intensywna aktywność (np. prace domowe)	2,0	180
intensywna aktywność (np. przemysł metalowy)	3,0	270
bardzo intensywna aktywność (np. roboty budowlane)	4,0 – 6,0	360 – 540

Tab. 4. Orientacyjna izolacyjność cieplna odzieży

Rodzaj odzieży	Izolacyjność cieplna [clo]
skąpy kostium kąpielowy dwuczęściowy	0,01
szorty i koszulka sportowa	0,1
krótkie spodnie, rozpięta koszula z krótkim rękawem, cienka bielizna	0,2
długie cienkie spodnie, rozpięta koszula z krótkim rękawem, cienka bielizna	0,5
kostium damski lub lekki garnitur męski	0,8
typowy garnitur męski	1,0
garnitur z kamizelką, ciepła bielizna z długimi rękawami i nogawkami	1,5
ocieplany kombinezon roboczy do prac zimowych	2,2
ubranie polarne	3-4

Obliczone wartości wskaźników należy porównać z wartościami dopuszczalnymi przedstawionymi w normach – tab. 5.

Tab. 5. Dopuszczalne wartości komfortu/dyskomfortu ogólnego i miejscowego wg PN-EN ISO 7730: 2006

Kategoria	Stan cieplny organizmu jako całości		Dyskomfort lokalny			
	PPD %	PMV	DR %	PD % powodowany		
				różnica temperatury powietrza w pionie	ciepłą lub chłodną podłogą	asymetrią promieniowania
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

W przypadku dyskomfortu miejscowego – obliczone wartości chwilowe należy wstawić do odpowiedniego wzoru i przeanalizować czy w ciągu całego dnia wystąpił dyskomfort miejscowy. Dopuszczalne wartości dyskomfortu ogólnego podzielono na kategorie

- kategoria A są to pomieszczenia o szczególnie wysokich wymaganiach odnośnie środowiska termicznego (np. szpitale, przedszkola),
- kategoria B – pomieszczenia biurowe,
- kategoria C – pomieszczenia biurowe o obniżonym standardzie.