

Anna Lis

TEMPERATURA EKWIWALENTNA I OPERATYWNA W OCENIE ŚRODOWISKA WNĘTRZ

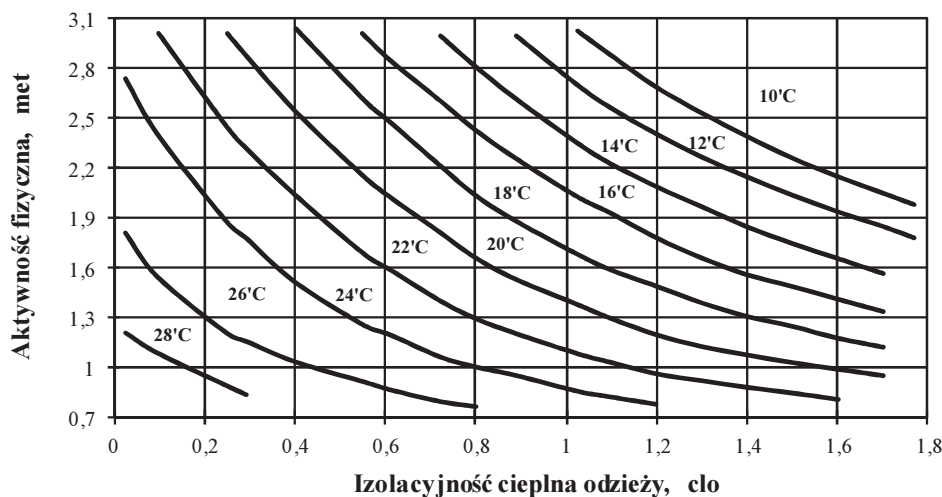
Wprowadzenie

Otoczenie, w jakim człowiek przebywa, powinno pozwalać na osiągnięcie stanu zadowolenia z warunków, które w nim panują oraz w pełni zaspokajać potrzeby fizyczne i psychiczne ludzi. Komfort cieplny człowieka to stan zadowolenia z warunków cieplnych otoczenia taki, w którym zachowana jest równowaga cieplna organizmu ludzkiego. Dąży się do ukształtowania takich optymalnych warunków wewnątrz pomieszczeń, żeby każdy człowiek był z nich zadowolony. Ze względu na istniejące różnice biologiczne między ludźmi nie jest możliwe skonstruowanie takiego wnętrza, które satysfakcjonowałoby wszystkie przebywające w nim osoby. Należy zmierzać jednak do uzyskania takich warunków komfortu cieplnego, które byłyby akceptowane przez jak największą liczbę osób. W praktyce stan obojętnego odczuwania doznań związanych z warunkami panującymi w pomieszczeniu identyfikowany jest z idealnym stanem komfortu.

Zapewnienie prawidłowych warunków komfortu cieplnego osobom przebywającym w budynkach jest podstawą kształtowania mikroklimatu wnętrza. Utrzymywanie odpowiednich parametrów środowiska wnętrza przekłada się m.in. na samopoczucie i zdrowie użytkowników pomieszczeń, a także w środowisku pracy na ograniczenie liczby wypadków czy chorób zawodowych, zmniejszenie liczby popełnianych błędów, poprawę wydajności pracy oraz jakości produktów i usług. Ponieważ wrażenie odczuć cieplnych jest subiektywne, dlatego też poczucie komfortu jest pojęciem względnym i trudnym do opisanego. W praktyce stan obojętnego odczuwania doznań związanych z warunkami panującymi w pomieszczeniu identyfikowany jest z idealnym stanem komfortu.

Fanger i inni na podstawie bilansu dla ciała człowieka opracowali równanie komfortu cieplnego, w którym ujęli liczbowo elementy termiczne mikroklimatu charakteryzujące środowisko oraz elementy charakteryzujące człowieka [1]. Właściwe ukształtowanie wartości tych elementów jest podstawowym warunkiem osiągnięcia przez osoby przebywające w danym środowisku stanu komfortu ciepl-

nego. Temperatura odczuwalna, odbierana bezpośrednio przez człowieka jako jeden z podstawowych elementów oceny środowiska, jest wypadkową działania temperatury powietrza oraz średniej temperatury promieniowania otoczenia. Optymalną temperaturę odczuwalną, odpowiadającą idealnemu stanowi komfortu w funkcji aktywności fizycznej człowieka i izolacyjności cieplnej jego odzieży, przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Temperatura optymalna w funkcji aktywności fizycznej człowieka i izolacyjności cieplnej jego odzieży [2]

W środowisku wewnątrz w budynkach na człowieka działa w rzeczywistości pożądana liczba różnorodnych czynników, co w znacznej mierze utrudnia precyzyjne ustalenie warunków komfortu. Oprócz szeroko pojętych elementów mikroklimatu wewnątrz na całość obrazu warunków panujących w pomieszczeniach i odczuwanie stanu komfortu cieplnego oddziałuje również szereg innych czynników związanych m.in. z postacią klimatu miejscowego czy charakterystyką materiałowo-konstrukcyjną oraz ciepłno-energetyczną samego budynku.

Dotychczas zaproponowano szereg wskaźników pozwalających określić środowisko cieplne człowieka i jego odczucia. Najbardziej rozpowszechnionym miernikiem komfortu cieplnego jest własna ocena środowiska przez poszczególne osoby przebywające w pomieszczeniach, uzależniona od zewnętrznych warunków fizycznych środowiska oraz wewnętrznych procesów fizjologicznych, a także od uwarunkowań psychologicznych. Obecnie przy ocenie własnej odczuć cieplnych przez osoby znajdujące się w danym środowisku stosuje się powszechnie dwie skale - według ASHRAE i Bedforda. Są to siedmiostopniowe skale komfortu cieplnego, gdzie stopnie 3, 4 i 5 stanowią tzw. strefę komfortu. Ocena 4 oznacza obojętne (komfortowe) odbieranie wrażeń cieplnych w danych warunkach środowiska. Siedmiostopniowa jest również przewidywana średnia ocena komfortu cieplnego PMV powiązana z równaniem komfortu Fanger'a [1] o skali od -3 do +3, gdzie 0 odzwierciedla komfortowe warunki środowiska.

1. Temperatura ekwiwalentna

Popularnym wskaźnikiem opisującym odczucia cieplne jest temperatura ekwiwalentna. Temperatura ekwiwalentna jest jednolitą temperaturą czarnej kabiny przy zerowej prędkości przepływu powietrza, w której człowiek wykazuje takie same straty ciepła jak w niejednorodnym środowisku termicznym. Do wyznaczenia tego wskaźnika należy określić temperaturę powietrza, średnią temperaturę promieniowania otoczenia oraz prędkość przepływu powietrza [1]. Wskaźnik ten można m.in. wyznaczyć ze wzoru:

$$t_{eq} = t_a + 1,5p \quad (1)$$

gdzie: t_a - temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$], p - ciśnienie pary wodnej [hPa].

2. Temperatura operatywna

Temperatura operatywna jest wskaźnikiem komfortu cieplnego używanym często w krajach skandynawskich. Określa się ją jako jednolitą temperaturę czarnej kabiny, w której człowiek przez promieniowanie i konwekcję wymienia taką samą ilość ciepła jak w niejednorodnym środowisku termicznym. Wskaźnik ten ujmuje łączne oddziaływanie na człowieka temperatury powietrza oraz średniej temperatury promieniowania otoczenia, nie uwzględnia natomiast wpływu innych zmiennych fizycznych. Temperaturę operatywną wyraża się równaniem [3]:

$$t_o = g t_r + (1 - g) t_a \quad (2)$$

gdzie: t_r - średnia temperatura promieniowania otoczenia [$^{\circ}\text{C}$], t_a - temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$], g - współczynnik udziału średniej temperatury promieniowania otoczenia w odczuwaniu ciepła.

Na podstawie badań prowadzonych przez Cenę [1] wyznaczono zależność pomiędzy temperaturą operatywną a izolacyjnością cieplną odzieży:

$$I_{cl} = -0,096 t_o + 2,38 \quad (3)$$

gdzie: t_o - temperatura operatywna [$^{\circ}\text{C}$], I_{cl} - izolacyjność cieplna odzieży [clo].

3. Wyniki pomiarów temperatury ekwiwalentnej i operatywnej w budynkach edukacyjnych

Oszacowanie wartości temperatury ekwiwalentnej w pomieszczeniach wykonano w grupie budynków edukacyjnych w sezonie grzewczym. Rozpatrywana grupa to budynki wolno stojące, dwukondygnacyjne, w całości podpiwniczone, wykonane przeważnie w technologii prefabrykowanej, głównie z cegły żerańskiej, ale też

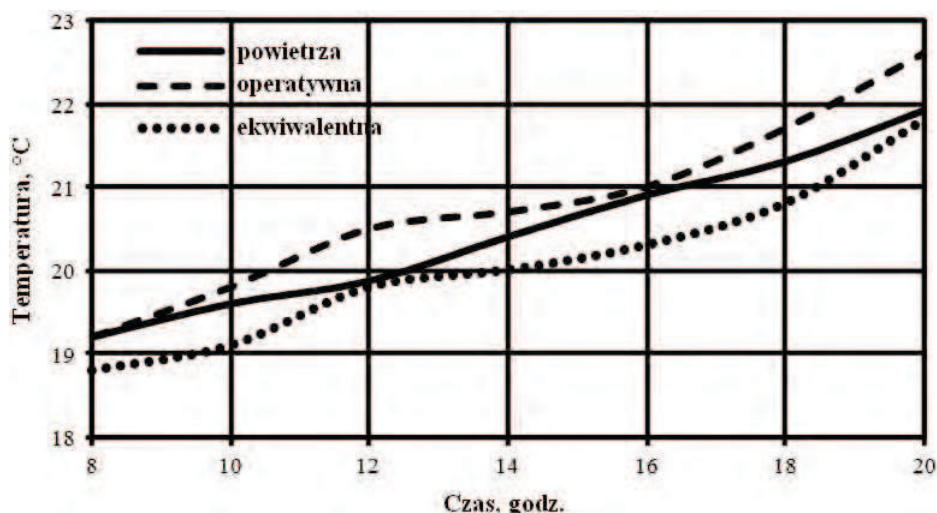
częściowo w technologii tradycyjnej, murowane z cegły pełnej. Budynki te charakteryzują się południowo-północnym usytuowaniem w stosunku do stron świata. W pomieszczeniach pomierzono wartości podstawowych termicznych elementów mikroklimatu wewnątrz temperaturę powietrza (t_a), średnią temperaturę promieniowania otoczenia (t_r), prędkość przepływu powietrza (v_a), wilgotność względną powietrza (φ_a) oraz wartość temperatury operatywnej (t_o) i ekwiwalentnej (t_{eq}). Wyniki przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Termiczne elementy mikroklimatu oraz temperatura ekwiwalentna i operatywna

Elementy mikroklimatu i wskaźniki komfortu	t_a [°C]	t_r [°C]	v_a [m/s]	φ_a [%]	t_o [°C]	t_{eq} [°C]
Średnia	20,4	20,5	0,10	45,3	20,6	20,0
Odchylenie standardowe	1,4	1,5	0,04	10,3	1,3	1,3

Średnia temperatura ekwiwalentna w analizowanej strukturze budynków kształtowała się na poziomie 19,9°C, a operatywna wyniosła około 20,9°C. Prześlędzono zmianę wartości temperatury ekwiwalentnej i operatywnej w ciągu dnia (rys. 2).

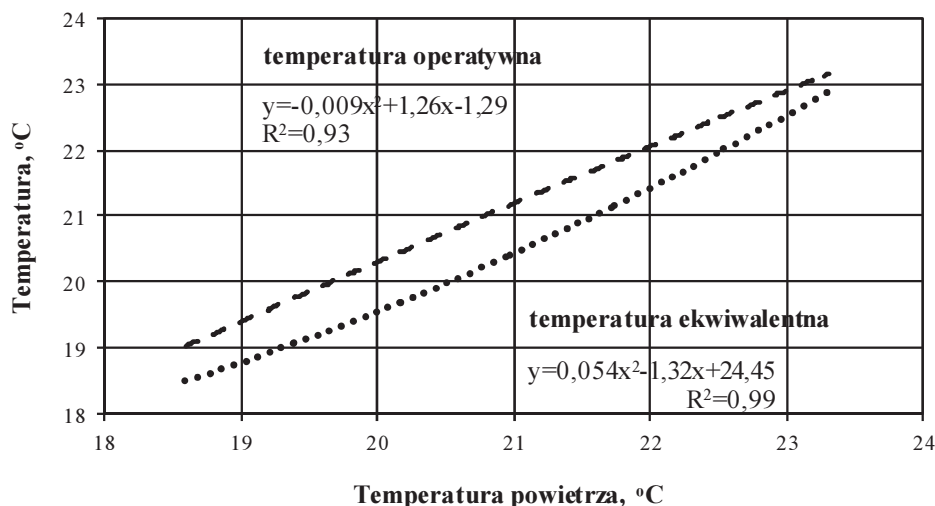


Rys. 2. Przebieg zmian wartości temperatury powietrza oraz temperatury operatywnej i ekwiwalentnej w ciągu dnia

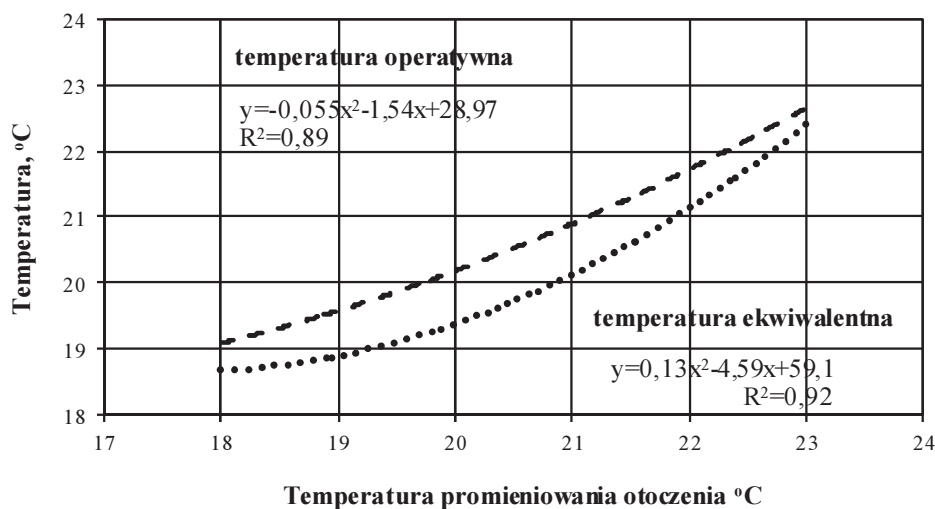
4. Wpływ elementów mikroklimatu na wartość temperatury ekwiwalentnej i operatywnej

W ramach oceny wpływu warunków środowiska na kształtowanie się wartości wskaźników komfortu cieplnego prześlędzono zmiany wartości temperatury ekwiwalentnej i operatywnej w rezultacie zmian wartości podstawowych termicznych

elementów mikroklimatu w pomieszczeniach budynków edukacyjnych. Na rysunku 3 przedstawiono wpływ temperatury powietrza na kształtowanie się wartości analizowanych wskaźników komfortu cieplnego, a na rysunku 4 - analogiczną zależność dla średniej temperatury promieniowania otoczenia.



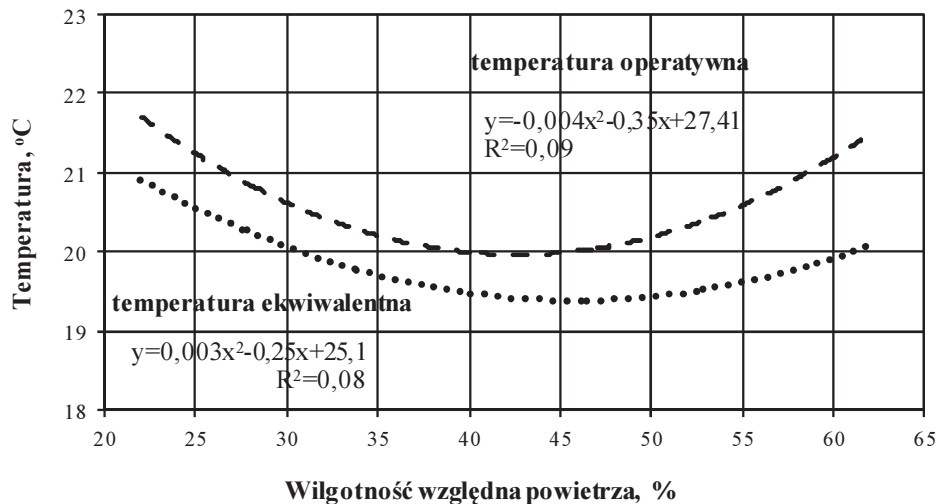
Rys. 3. Wpływ temperatury powietrza na kształtowanie się wartości temperatury ekwiwalentnej i operatywnej



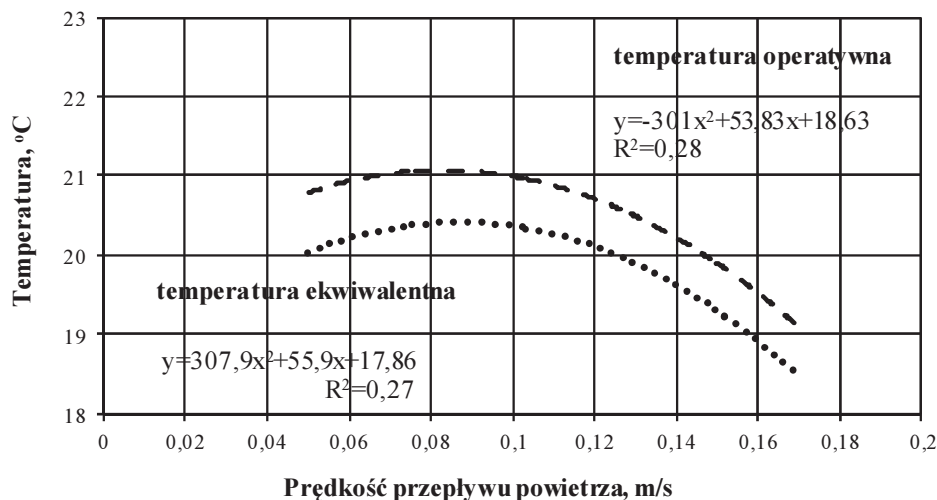
Rys. 4. Wpływ temperatury promieniowania otoczenia na kształtowanie się wartości temperatury ekwiwalentnej i operatywnej

Temperatura powietrza oraz średnia temperatura promieniowania otoczenia miały istotny wpływ na ocenę warunków środowiska. Zanotowano wysokie współczynniki determinacji w przedziale 0,89÷0,99.

Rozpatrzono również wpływ zmian wilgotności względnej powietrza (rys. 5) i prędkości przepływu powietrza (rys. 6) na kształtowanie się wartości temperatury ekwiwalentnej i operatywnej.



Rys. 5. Wpływ wilgotności względnej powietrza na kształtowanie się wartości temperatury ekwiwalentnej i operatywnej



Rys. 6. Wpływ prędkości przepływu powietrza na kształtowanie się wartości temperatury ekwiwalentnej i operatywnej

Wilgotność względna powietrza, a w szczególności prędkość jego przepływu nie miały istotnego wpływu na kształtowanie się wartości analizowanych wskaźników komfortu cieplnego.

Podsumowanie

Właściwe ukształtowanie wartości poszczególnych elementów mikroklimatu wewnątrz jest podstawowym warunkiem osiągnięcia przez osoby przebywające w danym środowisku stanu komfortu cieplnego oraz ogólnego dobrego samopoczucia i zdrowia. Każdy człowiek ma subiektywne wrażenie odczuć ciepłych, jednak posiada znaczne zdolności adaptacyjne w stosunku do warunków otoczenia, w jakich przebywa. Elementy mikroklimatu w budynkach edukacyjnych częściowo

przebiegają podobnie jak w budynkach o innym przeznaczeniu, co wynika z faktu, że ich wartość jest kształtowana przez osoby dorosłe, zgodnie z ich biowymaganiami. Warunki mikroklimatu wewnątrz mają istotny wpływ na wartość wskaźników komfortu cieplnego.

Na kształtowanie się wartości temperatury ekwiwalentnej i operatywnej w największym stopniu miała wpływ temperatura powietrza oraz średnia temperatura promieniowania otoczenia. Poszczególne osoby przebywające w pomieszczeniach były mniej wrażliwe na zmiany temperatury przy zwiększonym poziomie aktywności fizycznej. Wilgotność względna powietrza, a w szczególności prędkość jego przepływu nie miały istotnego wpływu na kształtowanie się wartości analizowanych wskaźników komfortu cieplnego.

Literatura

- [1] Fanger P.O., Popiołek Z., Wargocki P., Środowisko wewnętrzne. Wpływ na zdrowie, komfort i wydajność pracy, Politechnika Śląska, Gliwice 2003.
- [2] Pomiary ciepłne, red. T. Fodemski, WNT, Warszawa 2000.
- [3] Budownictwo ogólne. Fizyka budowli, red. P. Klemm, Tom drugi, Arkady, Warszawa 2012.

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki analizy temperatury ekwiwalentnej i operatywnej, które są wskaźnikami komfortu cieplnego ludzi w pomieszczeniach. Analizę przeprowadzono w grupie budynków edukacyjnych. Pomiarów wskaźników dokonano przy użyciu miernika komfortu cieplnego. Pomierzono podstawowe termiczne elementy mikroklimatu wewnątrz. Prześledzono zmiany wartości temperatury ekwiwalentnej i operatywnej związane ze zmianami wartości elementów mikroklimatu.

Słowa kluczowe: temperatura ekwiwalentna, temperatura operatywna, komfort cieplny, budynki edukacyjne

Equivalent and operative temperature in the assessment of interior environment

Abstract

The paper presents the results of the research of equivalent and operative temperature which are the indicators of human thermal comfort in rooms. The analysis was made in educational buildings. Measurements of these indicators were made using the thermal comfort meter. Basic thermal parameters of microclimate were measured. There were investigated changes in the equivalent and operative temperature associated with changes of microclimate parameters.

Keywords: equivalent temperature, operative temperature, thermal comfort, educational buildings