

Anna Lis

## OSZACOWANIE WARTOŚCI TEMPERATURY KOMFORTU W GRUPIE BUDYNKÓW EDUKACYJNYCH

### Wprowadzenie

Zapewnienie prawidłowych warunków komfortu cieplnego osobom przebywającym w budynkach jest podstawą kształtowania mikroklimatu wewnątrz. Utrzymywanie odpowiednich parametrów środowiska wewnątrz 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. Człowiek, przebywając w danym środowisku, powinien znajdować się w stanie obojętnego odczuwania warunków cieplnych otoczenia. Stan ten wynika z równowagi pomiędzy ilością ciepła wytwarzaną w organizmie w wyniku przemian metabolicznych a stratą ciepła z organizmu do otaczającego środowiska. Wrażenie odczuć cieplnych jest jednak subiektywne, dlatego też poczucie komfortu jest pojęciem względnym i trudnym do opisania. Duża, rzeczywista liczba czynników wpływających na samopoczucie w znacznej mierze utrudnia ściśle ustalenie warunków komfortu.

Dotychczas zaproponowano kilka wskaźników pozwalających w pewien sposób określić środowisko cieplne człowieka. Fanger na podstawie bilansu dla ciała człowieka opracował równanie komfortu cieplnego, w którym ujął liczbowo elementy termiczne mikroklimatu charakteryzujące zarówno środowisko, jak i człowieka [1]. Równanie bilansu cieplnego ujmuje więc czynniki wpływające na zachowanie równowagi cieplnej pomiędzy człowiekiem a otoczeniem, czyli wydatek energetyczny związany z intensywnością wykonywanej pracy (metabolizm), opór cieplny noszonej odzieży oraz temperaturę powietrza, średnią temperaturę promieniowania otoczenia, wilgotność względną powietrza i prędkość jego przepływu, które mają wpływ na ilość ciepła wymienianą pomiędzy organizmem a otoczeniem w celu utrzymania wewnętrznej temperatury organizmu na relatywnie stałym poziomie wynoszącym  $37 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ .

Dla człowieka pozostającego w spoczynku, ubranego w standardowy zestaw odzieży, temperatura powietrza odbierana jako komfortowa wynosi zwykle  $23 \div 26^{\circ}\text{C}$

przy wilgotności względnej powietrza równej 50% i jednakowej temperaturze promieniowania oraz powietrza. W przypadku zwiększonego poziomu metabolizmu lub izolacyjności cieplnej odzieży, przebywania w pobliżu źródeł ciepła, jak również w sytuacjach stresowych ulega ona obniżeniu. Proponowane wielkości termicznych elementów mikroklimatu w zależności od aktywności fizycznej przedstawiono w tabeli 1 [2].

TABELA 1

### Wartości liczbowe parametrów powietrza wewnątrz pomieszczeń

Pora roku	Parametry powietrza	Jednostka	Aktywność fizyczna		
			Mała	Średnia	Duża
Sezon grzewczy	Temperatura	°C	20÷22	18÷20	15÷18
	Wilgotność względna	%	40÷60	40÷60	40÷60
	Prędkość maksymalna	m/s	0,2	0,2	0,2
Okres letni	Temperatura	°C	23÷26	20÷23	18÷21
	Wilgotność względna	%	40÷55	40÷60	40÷60
	Prędkość maksymalna	m/s	0,3	0,4	0,6

W warunkach komfortu cieplnego ilość ciepła wytwarzana w organizmie jest w całości oddawana do otoczenia. Zachwianie równowagi termicznej prowadzi do wielu niekorzystnych reakcji w organizmie człowieka.

## 1. Temperatura komfortu cieplnego

Temperatura komfortu cieplnego, opracowana przez Fangera, jest wskaźnikiem uwzględniającym temperaturę ciała człowieka, strumień ciepła oddawany przez ciało, współczynnik przenikania ciepła przez skórę oraz współczynnik przejmowania ciepła na powierzchni skóry, a także izolacyjność cieplną noszonej odzieży [1]:

$$t_k = t_c - q(1/U_c - 1/U_o - 1/h_z)$$

gdzie:  $t_k$  - temperatura komfortu [°C],  $t_c$  - temperatura ciała (= 37°C) [°C],  $q$  - strumień ciepła oddawany przez ciało [W/m<sup>2</sup>],  $U_c$  - współczynnik przenikania ciepła przez skórę [W/(m<sup>2</sup>K)],  $1/U_o$  - opór cieplny odzieży [m<sup>2</sup>K/W],  $h_z$  - współczynnik przejmowania ciepła na powierzchni skóry [W/(m<sup>2</sup>K)].

Skóra człowieka odgrywa ważną rolę w procesie wymiany ciepła. Badania prowadzone przez Weihe'a ujawniły związek korelacyjny między temperaturą skóry a odczuciami cieplnymi na poziomie  $0,7 < r < 0,9$ . Odczuwanie ciepła przez człowieka, znajdującego się w danym środowisku, przy różnej temperaturze skóry przedstawia tabela 2 [3].

TABELA 2

**Odczuwanie ciepła przez człowieka przy różnej temperaturze skóry**

Odczucia cieplne	Średnia ważona temperatura skóry [°C]
Bardzo zimno	< 28,0
Zimno	28,0÷28,9
Chłodno	29,0÷31,9
Komfortowo	32,0÷33,2
Ciepło	33,3÷34,3
Gorąco	34,4÷35,5
Bardzo gorąco	≥ 35,6

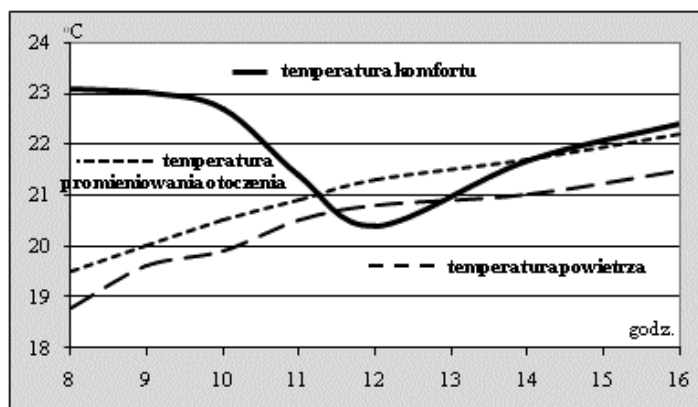
Oszacowanie wartości temperatury komfortu cieplnego w pomieszczeniach wykonano w grupie budynków edukacyjnych w sezonie grzewczym. Rozpatrywana grupa to budynki wolno stojące, dwukondygnacyjne, w całości podpiwniczone, wykonane przeważnie w technologii prefabrykowanej, głównie z cegły żerańskiej, ale też częściowo w technologii tradycyjnej, murowane z cegły pełnej. Budynki te charakteryzują się południowo-północnym usytuowaniem w stosunku do stron świata. W pomieszczeniach wyznaczono wartości podstawowych termicznych elementów mikroklimatu wewnątrz, izolacyjność cieplną odzieży ( $I_{cl}$ , clo) i poziom metabolizmu poszczególnych osób ( $M$ , met) przebywających w budynkach oraz wartość temperatury komfortu cieplnego. Wyniki zamieszczono w tabeli 3.

TABELA 3

**Temperatura komfortu**

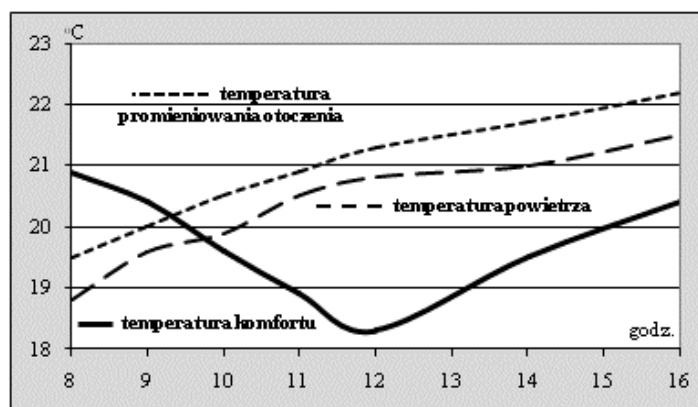
Wskaźniki komfortu	Osoby dorosłe			Dzieci		
	$I_{cl}$	$M$	$t_k$	$I_{cl}$	$M$	$t_k$
	clo	met	°C	clo	met	°C
Średnia arytmetyczna	0,82	1,6	21,7	0,81	2,27	17,9
Odchylenie standardowe	0,06	0,34	1,4	0,06	0,51	1,8

Średnia temperatura komfortu wyznaczona dla osób dorosłych w analizowanej strukturze budynków kształtowała się na poziomie 21,7°C, a dla dzieci wyniosła około 18°C. Prześledzono zmianę wartości temperatury komfortu w ciągu dnia. Na rysunku 1 przedstawiono przebieg zmian wartości temperatury powietrza  $t_a$  oraz przebieg zmian wartości temperatury komfortu  $t_k$  osób dorosłych w ciągu dnia.



Rys. 1. Przebieg zmian wartości temperatury powietrza oraz temperatury komfortu cieplnego dla osób dorosłych

Na rysunku 2 zaprezentowano przebieg zmian wartości temperatury powietrza  $t_a$  oraz przebieg zmian wartości temperatury komfortu  $t_k$  dzieci w ciągu dnia.



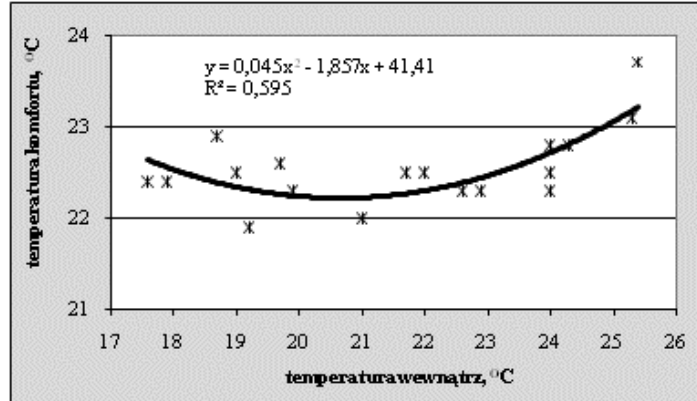
Rys. 2. Przebieg zmian wartości temperatury powietrza oraz temperatury komfortu cieplnego dla dzieci

Obniżenie wartości temperatury komfortu w godzinach południowych w głównej mierze powodował wzrost aktywności fizycznej osób przebywających w pomieszczeniach.

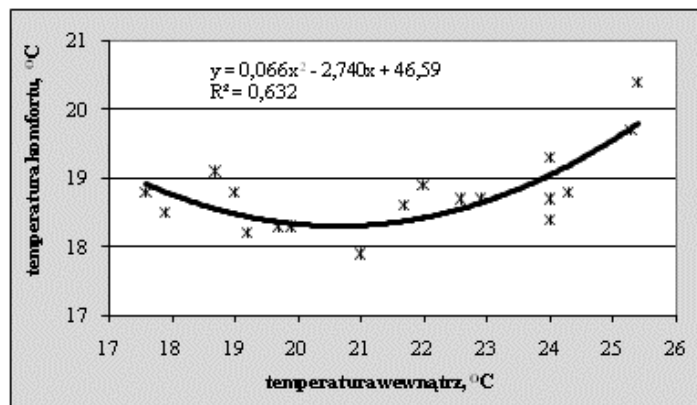
### 3. Wpływ warunków otoczenia na wartość temperatury komfortu

Prześledzono wpływ warunków panujących w pomieszczeniach na wartość temperatury komfortu. Na rysunku 3 przedstawiono temperaturę komfortu wyzna-

czoną dla osób dorosłych w funkcji średniej temperatury powietrza pomierzonej wewnątrz pomieszczeń lekcyjnych, a na rysunku 4 analogiczną zależność dla temperatury komfortu wyznaczonej dla dzieci.

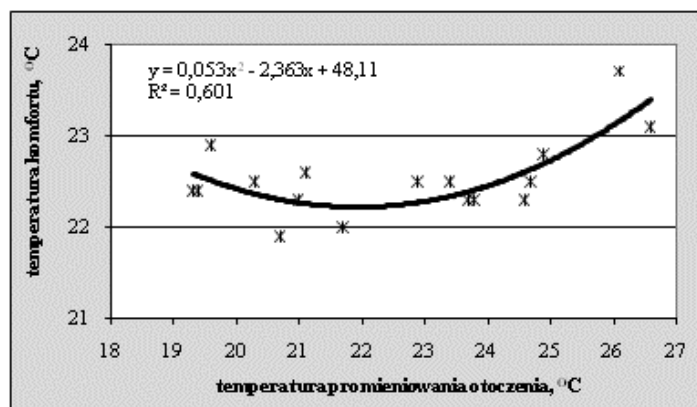


Rys. 3. Temperatura komfortu wyznaczone dla osób dorosłych w funkcji temperatury powietrza w pomieszczeniach

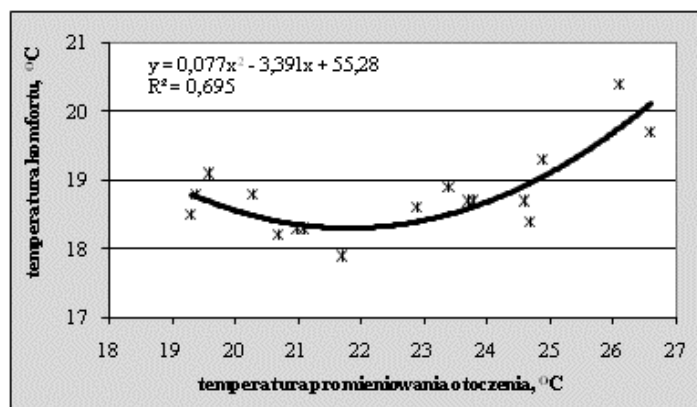


Rys. 4. Temperatura komfortu wyznaczone dla dzieci w funkcji temperatury powietrza w pomieszczeniach

Średnia temperatura promieniowania otoczenia jest skorelowana z temperaturą powietrza, a ich wpływ na wrażenia cieplne jest łączny. Temperatura odczuwalna, odbierana przez człowieka, jest wypadkową działania tych dwóch elementów [4]. Na rysunku 5 przedstawiono temperaturę komfortu wyznaczoną dla osób dorosłych w funkcji średniej temperatury promieniowania otoczenia pomierzonej wewnątrz pomieszczeń lekcyjnych, a na rysunku 6 - analogiczną zależność dla temperatury komfortu wyznaczonej dla dzieci.



Rys. 5. Temperatura komfortu wyznaczona dla osób dorosłych w funkcji temperatury powietrza w pomieszczeniach



Rys. 6. Temperatura komfortu wyznaczona dla dzieci w funkcji temperatury powietrza w pomieszczeniach

Pokażny wpływ na wartość temperatury promieniowania otoczenia ma powierzchnia przeszklenia elewacji, znaczna zwykle w budynkach użyteczności publicznej, a szczególnie w budynkach edukacyjnych. Wielkość przeszklenia, a także poziom jego szczelności wpływają bezpośrednio na kształtowanie się temperatury powietrza w pomieszczeniach oraz stateczność cieplną we wnętrzach. Wybrane wskaźniki dla przegród przezroczystych w rozpatrywanej grupie budynków zamieszczono w tabeli 4. Wyznaczono powierzchnię okien ( $P_{OK}$ ), powierzchnię przeszklenia (powierzchnia okien do powierzchni ścian  $P_{OK}/P_{SC}$ ) oraz powierzchnię okien do powierzchni ogrzewanej ( $P_{OK}/P_{OGRZ}$ ).

Niższa izolacyjność cieplna okien w stosunku do pozostałej części obudowy jest przyczyną utrzymywania się znacznie niższej temperatury na wewnętrznej powierzchni okien w stosunku do temperatur na powierzchni przegród nieprzezroczystych. Człowiek wypromiowuje więc więcej ciepła w kierunku przegród prze-

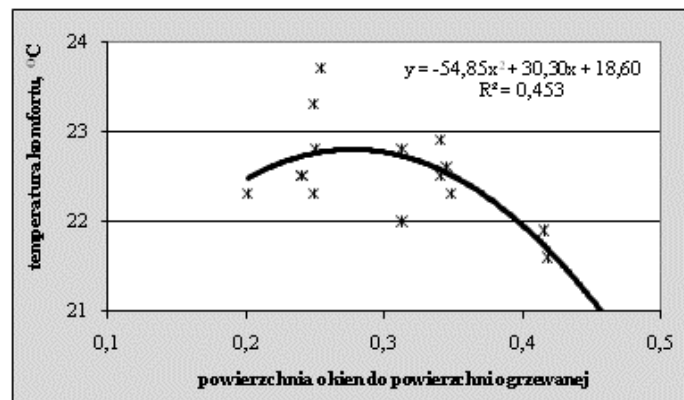
zroczystych, co jest przyczyną nierównomiernego ochładzania ciała [5]. Nieszczelność okien dodatkowo potęguje ten efekt, wywołując uczucie dyskomfortu nie tylko w pobliżu okien, ale i z dala od nich, zwłaszcza w czasie wietrznej pogody.

TABELA 4

Wybrane wskaźniki dla przegród przezroczystych

Wskaźniki przegród przezroczystych	$P_{OK}$	$P_{OK}/P_{SC}$	$P_{OK}/P_{OGRZ}$
	m <sup>2</sup>	–	–
Średnia arytmetyczna	117,4	0,47	0,35
Odchylenie standardowe	35,1	0,08	0,09

Stosując do analizy zmian temperatury komfortu wyznaczonej dla osób dorosłych w zależności od zmian wielkości przegród przezroczystych wskaźnik powierzchni okien do powierzchni ogrzewanej, uzyskano współczynnik determinacji na poziomie 0,45. W przypadku temperatury komfortu określonej dla dzieci współczynnik determinacji wyniósł 0,51. Rysunek 7 przedstawia zmiany temperatury komfortu osób dorosłych w funkcji powierzchni okien do powierzchni ogrzewanej.

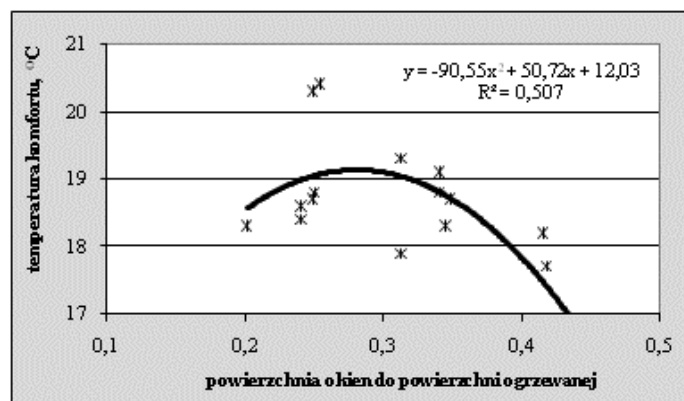


Rys. 7. Temperatura komfortu wyznaczona dla osób dorosłych w funkcji powierzchni okien do powierzchni ogrzewanej

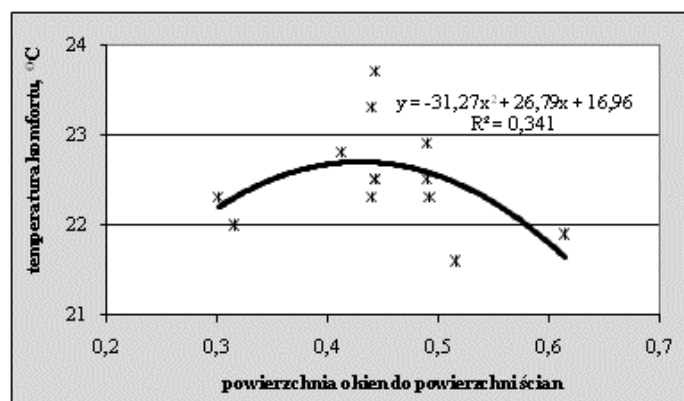
Rysunek 8 przedstawia zmiany temperatury komfortu dzieci w funkcji powierzchni okien do powierzchni ogrzewanej.

Stosując do analizy zmian temperatury komfortu cieplnego wskaźnik powierzchni okien do powierzchni ścian, uzyskano niższe wartości współczynnika determinacji. W przypadku temperatury komfortu wyznaczonej dla osób dorosłych przebywających w pomieszczeniach rozpatrywanych budynków współczynnik determinacji wyniósł 0,34, natomiast w przypadku temperatury komfortu określonej dla dzieci współczynnik determinacji wyniósł 0,4.

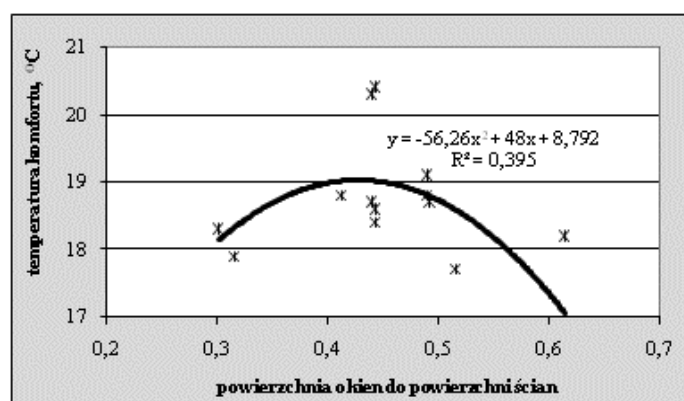
Rysunek 9 przedstawia zmiany temperatury komfortu osób dorosłych w funkcji powierzchni okien do powierzchni ścian.



Rys. 8. Temperatura komfortu wyznaczona dla dzieci w funkcji powierzchni okien do powierzchni ogrzewanej



Rys. 9. Temperatura komfortu wyznaczona dla osób dorosłych w funkcji powierzchni okien do powierzchni ścian



Rys. 10. Temperatura komfortu wyznaczona dla dzieci w funkcji powierzchni okien do powierzchni ścian



Rysunek 10 przedstawia zmiany temperatury komfortu dzieci w funkcji powierzchni okien do powierzchni ścian.

### Podsumowanie

Każdy człowiek ma subiektywne wrażenie odczuć ciepłych. Komfort termiczny człowieka jest istotnym elementem pozytywnego odbioru otaczającego środowiska, a także ma niebagatelny wpływ na jego zdrowie czy samopoczucie. Człowiek posiada znaczne zdolności adaptacyjne w stosunku do warunków otoczenia, w jakich przebywa. Ze względu na czas ekspozycji organizmu na warunki sztucznie wytworzonego środowiska wewnątrz w zamkniętych pomieszczeniach niezbędne jest dobieranie takich wartości parametrów powietrza wewnętrznego, aby przebywanie w pomieszczeniach nie prowadziło do zaburzeń w prawidłowym funkcjonowaniu organizmu człowieka.

Wartości oraz przebieg elementów mikroklimatu w budynkach edukacyjnych, zarówno w szkołach, jak i przedszkolach, częściowo kształtują się podobnie jak w budynkach o innym przeznaczeniu. Wynika to z faktu, że stan mikrośrodowiska wewnątrz w tych budynkach jest formowany przez osoby dorosłe, zgodnie z lepiej poznanymi ich biowymaganiami. Analogie występują głównie w zakresie elementów termicznych mikroklimatu oraz izolacyjności cieplnej odzieży. Jednak już poziom aktywności fizycznej dzieci, zwłaszcza przedszkolnych, jest inny i zmienny w ciągu dnia, w przeciwieństwie także do warunków szkolnych w starszych klasach, gdzie dzieci podczas zajęć mają raczej ograniczony i stały poziom aktywności fizycznej. Miało to istotne znaczenie dla kształtowania się wartości i przebiegu temperatury komfortu cieplnego.

Charakterystyczna dla budynków oświatowych duża powierzchnia przegród przezroczystych oraz specyficzne zorientowanie, zwłaszcza przedszkoli, względem stron świata wywierają pewien wpływ na odczucia cieplne osób przebywających w pomieszczeniach, szczególnie widoczny w określonych porach roku. W okresie zimowym wpływają na obniżenie temperatury, zwłaszcza odczuwalnej, a w letnim stają się przyczyną wzmożonego przegrzewania pomieszczeń, co warunkuje wartość temperatury komfortu. Spośród zastosowanych do analizy wskaźników odnoszących się do przegród przezroczystych wskaźnikiem stosunkowo dobrze odzwierciedlającym wpływ wielkości przegród przezroczystych na kształtowanie się wartości temperatury komfortu jest wyznaczona powierzchnia okien do powierzchni ogrzewanej.

### Literatura

- [1] Fanger P.O., Komfort cieplny, Arkady, Warszawa 1974.
- [2] PN-B-03421:1978P Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi.
- [3] Fanger P.O., Popiołek Z., Wargocki P., Środowisko wewnętrzne. Wpływ na zdrowie, komfort i wydajność pracy, Politechnika Śląska, Gliwice 2003.

- [4] Budownictwo ogólne. Fizyka budowli, red. P. Klemm, Tom drugi, Arkady, Warszawa 2010.
- [5] Nicol J.F., Humphreys M.A., Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings, *Energy and Buildings* 2002, 34, 6, 563-572.
- [6] Yao R., Li B., Liu J., A theoretical adaptive model of thermal comfort - Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV) 2009, 44, 10, 2089-2096.

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono wyniki analizy temperatury komfortu dokonanej w grupie budynków edukacyjnych, będącej jednym ze wskaźników komfortu cieplnego ludzi w pomieszczeniach. Pomiarów wskaźnika dokonano przy użyciu miernika komfortu cieplnego. Pomierzono podstawowe termiczne i osobowe parametry mikroklimatu wewnątrz, wyznaczono również parametry odnoszące się do przegród przezroczystych w rozpatrywanej grupie budynków. Prześledzono zmiany wartości temperatury komfortu cieplnego związane ze zmianami wartości parametrów mikroklimatu i wybranych parametrów wyznaczonych dla przegród przezroczystych.

### **Assessment of the value of comfort temperature in the group of educational buildings**

#### **Abstract**

The paper presents the results of the research of thermal comfort temperature inside the rooms in educational buildings, which is one of the indicators of human thermal comfort. Measurements of this indicator were made using the thermal comfort meter. There were measured basic thermal and personal microclimate parameters and also were determined the parameters related to the transparent partitions in the present group of buildings. There were investigated changes in the thermal comfort temperature associated with changes of microclimate parameters and selected parameters set for transparent partitions.