

KSZTAŁTOWANIE SIĘ WARTOŚCI WYBRANYCH WSKAŹNIKÓW KOMFORTU CIEPLNEGO W REZULTACIE ZMIAN WIELKOŚCI PRZEGRÓD PRZEZROCZYSTYCH

Anna LIS*

* Politechnika Częstochowska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
ul. Akademicka 3, 42-200 Częstochowa, e-mail: annalis29@wp.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki analizy wybranych wskaźników komfortu cieplnego ludzi w pomieszczeniach. Rozpatrywanymi wskaźnikami są: temperatura ekwiwalentna, temperatura operatywna, temperatura komfortu, przewidywana średnia ocena komfortu cieplnego oraz przewidywany procent osób odczuwających brak komfortu. Pomiary analizowanych wskaźników dokonano przy użyciu miernika komfortu cieplnego firmy Brüel & Kjær. Wyznaczono parametry odnoszące się do przegród przezroczystych w grupie budynków edukacyjnych. Prześledzono zmiany wartości wskaźników komfortu cieplnego osób związane ze zmianami wartości parametrów dla przegród przezroczystych w grupie budynków edukacyjnych.

Słowa kluczowe: fizyka budowli, komfort cieplny ludzi w pomieszczeniach, przegrody przezroczyste.

1. WPROWADZENIE

Oszacowanie wartości wskaźników komfortu cieplnego osób w pomieszczeniach wykonano w grupie budynków edukacyjnych. Budynki zostały wzniesione w latach 1950-1992. Wszystkie budynki uwzględnione w analizie są obiektami wolnostojącymi, dwukondygnacyjnymi, w całości podpiwniczonymi, wykonanymi w technologii prefabrykowanej, głównie z cegły żerańskiej oraz w technologii tradycyjnej, głównie z cegły pełnej. Budynki te charakteryzują się południowo-północnym usytuowaniem w stosunku do stron świata.

Wyznaczono powierzchnię oraz kubaturę sal przeznaczonych do prowadzenia zajęć w poszczególnych budynkach edukacyjnych. Powierzchnia ogrzewana sal była równa powierzchni użytkowej ($P_{OG} = P_U$), a kubatura ogrzewana kubaturze pomieszczeń ($V_{OG} = V$).

Ponieważ pomiary stanu komfortu wykonywano wyłącznie w salach przeznaczonych do długotrwałego przebywania dzieci zgodnie z przeznaczeniem budynków, do analizy

włączono nie wszystkie przegrody przezroczyste w danym budynku, a wyłącznie te, które znajdowały się w salach lekcyjnych. W pierwszym rzędzie obliczono powierzchnię okien P_O , a następnie wyznaczono wskaźniki odnoszące się do przegród przezroczystych w budynkach:

- powierzchnia okien/powierzchni ścian (P_O/P_S),
- powierzchnia okien/powierzchni użytkowej (P_O/P_U),
- powierzchnia okien/kubatury (P_O/V).

W salach wyznaczono wartości podstawowych termicznych elementów mikroklimatu wnętrza: temperaturę powietrza, wilgotność względną powietrza i prędkość przepływu powietrza oraz średnią temperaturę promieniowania otoczenia. Oszacowano również izolacyjność cieplną odzieży noszonej przez osoby przebywające w pomieszczeniach (I_{cl} , clo) i poziom metabolizmu poszczególnych osób (M , met).

Ocenę komfortu cieplnego przeprowadzono na podstawie pomiarów wskaźników komfortu [1,2]: temperatury ekwiwalentnej (t_E , °C), operatywnej (t_O , °C) i komfortu (t_k , °C) oraz przewidywanej średniej oceny komfortu cieplnego (PMV) i przewidywanego procentu osób odczuwających brak komfortu (PPD, %).

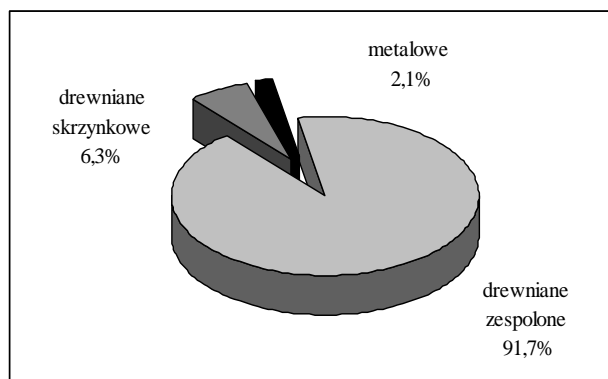
2. WYNIKI BADAŃ

W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w sezonie ogrzewczym, dlatego też w opracowaniu operowano powierzchnią ogrzewaną P_{OG} i kubaturą ogrzewaną V_{OG} sal przeznaczonych do długotrwałego przebywania dzieci.

2.1. Przegrody przezroczyste w budynkach

Przegrody przezroczyste w większości budynków stanowiły okna drewniane z szybami zespolonymi. Część

analizowanej struktury budynków edukacyjnych miało okna drewniane skrzynkowe oraz metalowe z szybami zespolonymi. Udział poszczególnych rodzajów okien w analizowanej strukturze budynków przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Udział poszczególnych rodzajów okien w analizowanej strukturze budynków.

Fig. 1. The participation of individual kind of windows in analysed structure of buildings.

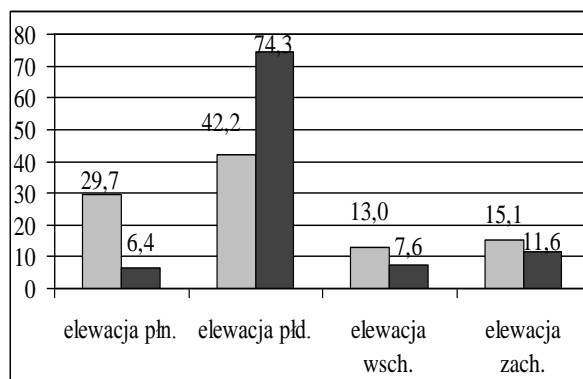
Charakterystyczną cechą rozpatrywanych budynków edukacyjnych była duża powierzchnia przegród przezroczystych, zwłaszcza w salach lekcyjnych. W tabeli 1 zamieszczono wartości wskaźników odnoszących się do wielkości przegród przezroczystych w salach lekcyjnych.

Tabela 1. Wybrane wskaźniki dla przegród przezroczystych.
Table 1. Indexes for transparent partitions.

Wskaźniki przegród przezroczystych	P_O	P_O/P_S	P_O/P_{OG}	P_O/V_{OG}
	m^2	-	-	m^{-1}
Średnia arytmetyczna	111,9	0,48	0,36	0,14
Wartość maksymalna	161,6	0,71	0,79	0,37
Odchylenie standardowe	35,2	0,09	0,12	0,05

Duże powierzchnie przegród przezroczystych przy znacznej wielkości ich pojedynczych skrzydeł otwieralnych sprzyjały niszczeniu stolarki okiennej, co miało negatywny wpływ nie tylko na jej własności termoizolacyjne i zwiększenie zużycia ciepła, ale i pogarszanie się warunków mikroklimatu oraz komfortu cieplnego osób w pomieszczeniach.

Rys. 2 przedstawia udział powierzchni okien na poszczególnych elewacjach w całkowitej ich powierzchni (1 - cały budynek, 2 – tylko elewacje, na których są okna sal przeznaczonych do przebywania dzieci).



Rys. 2. Udział powierzchni okien na poszczególnych elewacjach (półn., półd., wsch. oraz zach.) w całkowitej powierzchni okien.

Fig. 2. The participation of windows surface on individual façades (N, S, E and W) in total surface of windows.

2.2. Komfort cieplny ludzi

W poszczególnych budynkach edukacyjnych wyznaczono średnie wartości temperatury ekwiwalentnej (t_E) oraz temperatury operatywnej (t_O), w każdej z poszczególnych sal lekcyjnych, natomiast wartości temperatury komfortu (t_k), przewidywanej średniej oceny komfortu cieplnego (PMV) oraz przewidywanego procentu osób odczuwających brak komfortu (PPD) wyznaczono osobno dla dzieci przebywających w salach oraz dla osób dorosłych (nauczycieli poszczególnych grup) uwzględniając ich aktywność fizyczną (metabolizm - M) oraz izolacyjność cieplną odzieży (I_{cl}). W tabeli 2 przedstawiono wyniki pomiarów wybranych wskaźników komfortu cieplnego dla osób dorosłych.

Tabela 2. Wybrane wskaźniki komfortu cieplnego (dorośli)
Table 2. The thermal comfort indexes (adults).

Wskaźniki komfortu (osoby dorosłe)	I_{cl}	M	t_k	PMV	PPD
	clo	met	$^{\circ}C$	-	%
Średnia arytmetyczna	0,79	1,41	22,5	-0,36	20,1
Odchylenie standardowe	0,08	0,02	0,6	0,71	14,6

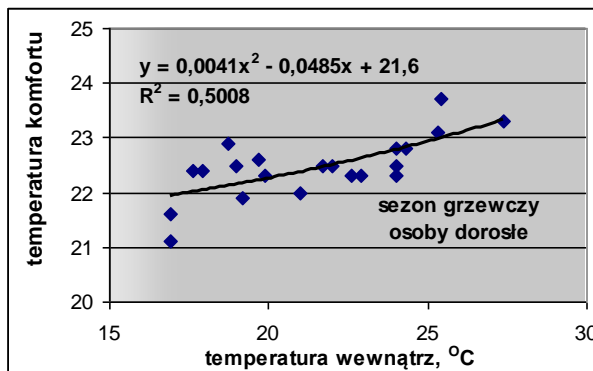
W tabeli 3 przedstawiono wyniki pomiarów analogicznych, jak powyżej wskaźników komfortu cieplnego dla dzieci przebywających w salach lekcyjnych.

Tabela 3. Wybrane wskaźniki komfortu cieplnego (dzieci).
Table 3. The thermal comfort indexes (children).

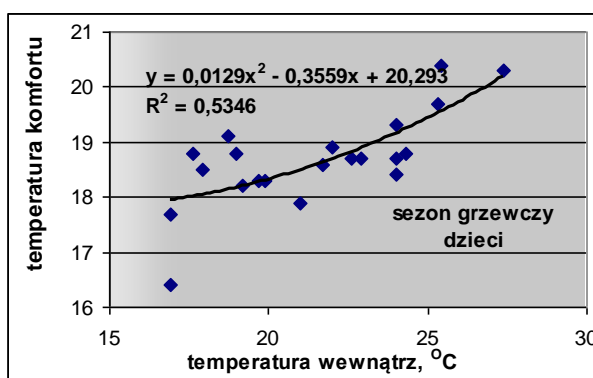
Wskaźniki komfortu (dzieci)	I_{cl}	M	t_k	PMV	PPD
	clo	met	$^{\circ}C$	-	%
Średnia arytmetyczna	0,78	2,15	18,7	0,49	24,7
Odchylenie standardowe	0,07	0,06	0,9	0,68	13,0

Wskaźnik PMV, czyli przewidywana średnia ocena komfortu cieplnego oraz wskaźnik PPD, czyli przewidywana liczba osób niezadowolonych z istniejących warunków są powiązane z równaniem komfortu określonym przez Fangera. Wskaźnik PMV [1] jest funkcją aktywności fizycznej człowieka, izolacyjności cieplnej odzieży, temperatury, wilgotności i prędkości ruchu powietrza oraz średniej temperatury promieniowania otoczenia. Jest on przedstawiany w skali siedmiostopniowej od -3 do +3 (-3 - zimno, -2 - chłodno, -1 - lekko chłodno, 0 - neutralnie, +1- lekko ciepło, +2 - ciepło, +3 - gorąco). W rozpatrywanym sezonie grzewczym średnia ocena komfortu cieplnego PMV określona dla osób dorosłych (nauczycieli) wypadła nieco poniżej oceny neutralnej równej 0 i wyniosła -0,36. Dla dzieci ocena ta kształtowała się na poziomie +0,49. Generalnie ocena środowiska mieściła się w strefie komfortu. Dzieci charakteryzowały się wyższym poziomem metabolizmu niż osoby dorosłe, natomiast izolacyjność cieplna odzieży kształtowała się na podobnym poziomie dla obu grup.

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. Średnia temperatura komfortu wyznaczona dla osób dorosłych w analizowanej strukturze budynków kształtowała się na poziomie $22,5^{\circ}C$, a dla dzieci wyniosła około $19^{\circ}C$. Na rys. 3 przedstawiono temperaturę komfortu wyznaczoną dla osób dorosłych w funkcji średniej temperatury powietrza pomierzonej wewnątrz pomieszczeń lekcyjnych, a na rys.4 analogiczną zależność dla temperatury komfortu wyznaczonej dla dzieci.



Rys. 3. Temp. komfortu t_k (dorośli) w funkcji temp. powietrza.
Fig. 3. The influence of air temperature on t_k (adults).



Rys. 4. Temp. komfortu t_k (dzieci) w funkcji temp. powietrza.
Fig. 4. The influence of air temperature on t_k (children).

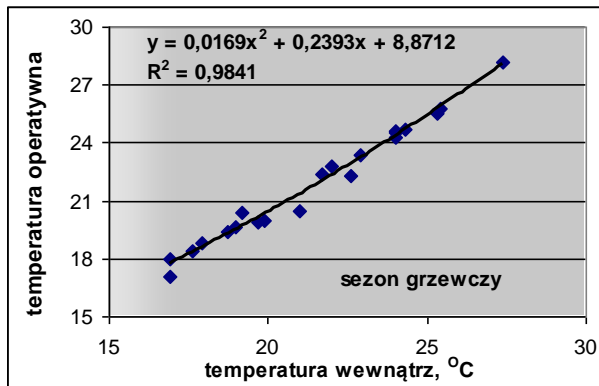
W tabeli 4 przedstawiono wartości temperatury operatywnej (t_o) oraz temperatury ekwiwalentnej (t_E),

Tabela 4. Wybrane wskaźniki komfortu cieplnego
Table 4. The thermal comfort indexes.

Wskaźniki komfortu	t_o	t_E
	$^{\circ}C$	
Średnia arytmetyczna	21,9	21,1
Odchylenie standardowe	3,0	3,3

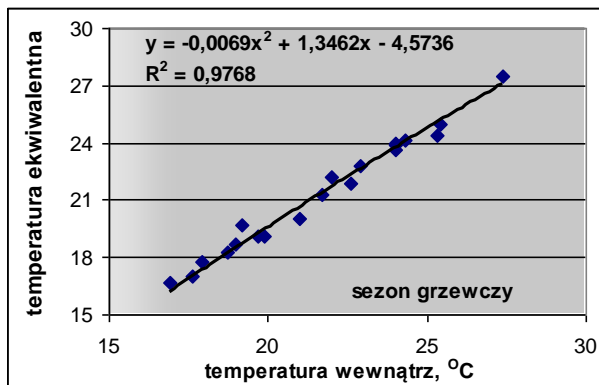
Temperatura operatywna jest określana jako jednolita temperatura czarnej kabiny, w której człowiek przez promieniowanie i konwekcję wymienia taką samą ilość

ciepła jak w dowolnym niejednorodnym środowisku termicznym. Wskaźnik ten ujmuje łączne oddziaływanie na człowieka temperatury powietrza wewnątrz pomieszczenia oraz średniej temperatury promieniowania otoczenia [1]. Średnia wartość temperatury operatywnej w analizowanych salach lekcyjnych kształtowała się na poziomie około 22°C. Na rys. 5 przedstawiono temperaturę operatywną w funkcji średniej temperatury powietrza wewnątrz sal.



Rys. 5. Temp. operatywna t_o w funkcji temp. powietrza.
Fig. 5. The influence of air temperature on t_o .

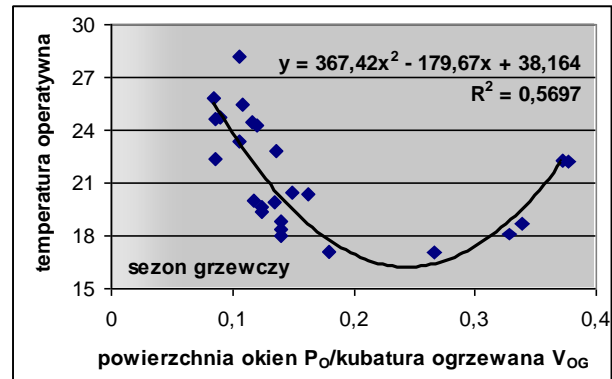
Temperatura ekwiwalentna jest określana jako jednolita temperatura czarnej kabiny przy zerowej prędkości przepływu powietrza, w której człowiek wykazuje takie same straty ciepła jak w dowolnym niejednorodnym środowisku termicznym. Do wyznaczenia tego wskaźnika należy określić temperaturę powietrza wewnątrz pomieszczeń, średnią temperaturę promieniowania otoczenia oraz prędkość przepływu powietrza [1]. Średnia wartość temperatury ekwiwalentnej w analizowanych salach kształtowała się na poziomie około 21°C. Na rys. 6 przedstawiono temperaturę ekwiwalentną w funkcji średniej temperatury powietrza wewnątrz sal.



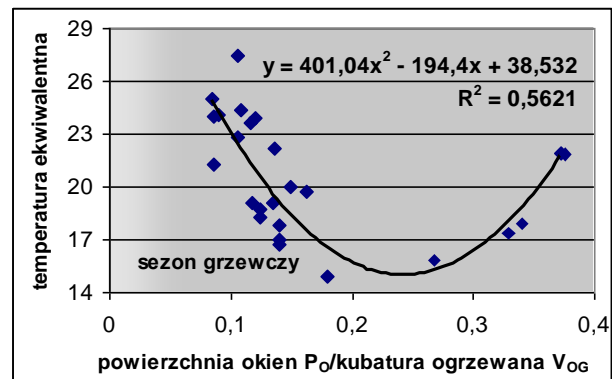
Rys. 6. Temp. ekwiwalentna t_e w funkcji temp. powietrza.
Fig. 6. The influence of air temperature on t_e .

3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

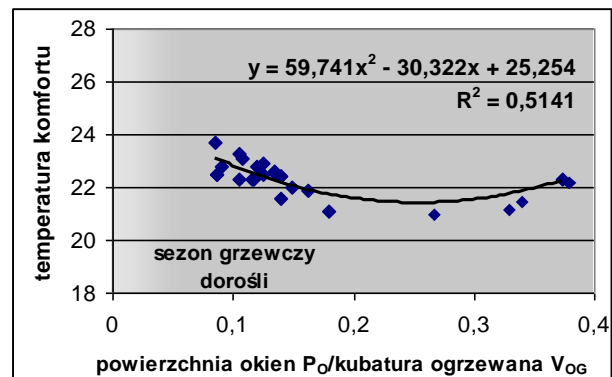
Prześlędzono wpływ przegród przezroczystych na kształtowanie się wartości wskaźników komfortu cieplnego. Rys. 7÷12 przedstawiają zmiany wskaźników komfortu w funkcji powierzchni okien/kubatury ogrzewanej.



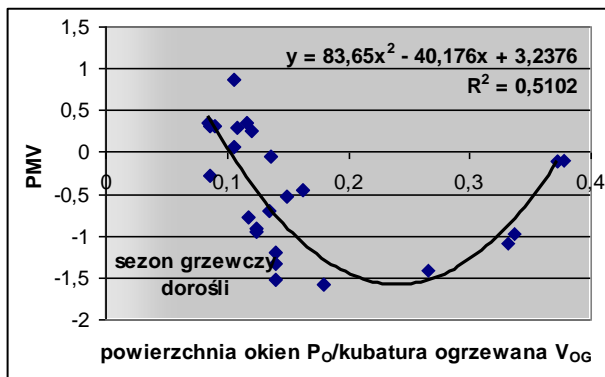
Rys. 7. Temperatura operatywna t_o w funkcji P_o/V_{OG} .
Fig. 7. Operative temperature t_o in the function P_o/V_{OG} .



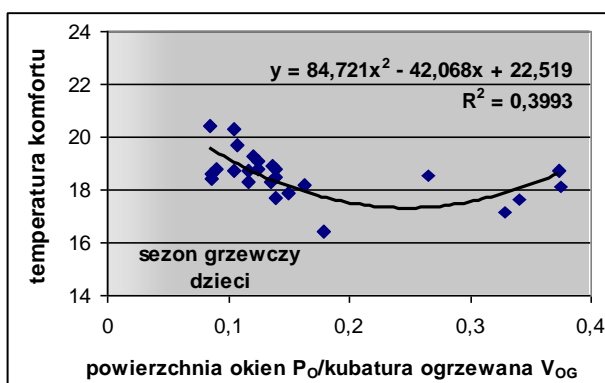
Rys. 8. Temperatura ekwiwalentna t_e w funkcji P_o/V_{OG} .
Fig. 8. Equivalent temperature t_e in the function P_o/V_{OG} .



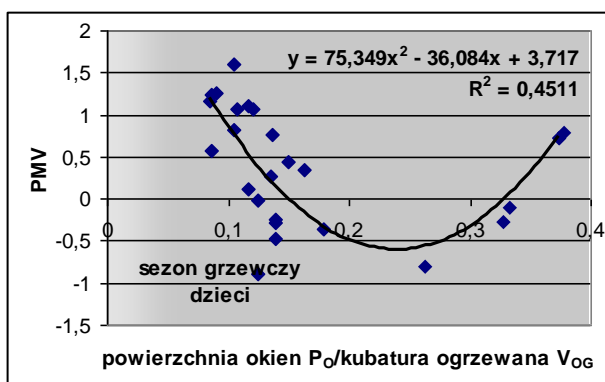
Rys. 9. Temperatura komfortu (dorośli) t_k w funkcji P_o/V_{OG} .
Fig. 9. Comfort temperature (adults) t_k in the function P_o/V_{OG} .



Rys. 10. PMV (dorośli) w funkcji P_O/V_{OG} .
Fig. 10. PMV (adults) in the function P_O/V_{OG} .



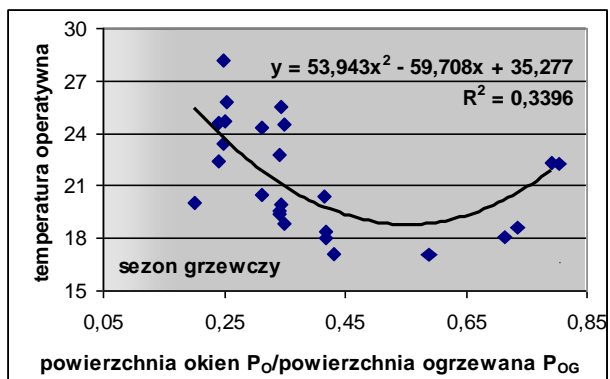
Rys. 11. Temperatura komfortu (dzieci) t_k w funkcji P_O/V_{OG} .
Fig. 11. Comfort temperature (children) t_k in the function P_O/V_{OG} .



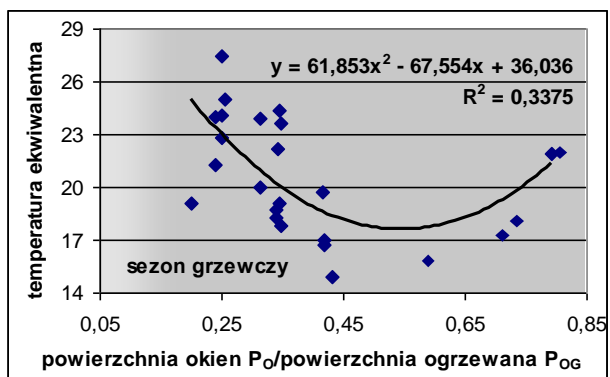
Rys. 12. PMV (dzieci) w funkcji P_O/V_{OG} .
Fig. 12. PMV (children) in the function P_O/V_{OG} .

Stosując do analizy zmian wskaźników komfortu w zależności od wielkości przegród przezroczystych wskaźnik powierzchnia okien/kubatury ogrzewanej uzyskano dla kolejnych zależności współczynnik regresji w przedziale 0,5÷0,6. Jedynie w przypadku wskaźników określonych bezpośrednio dla dzieci współczynnik

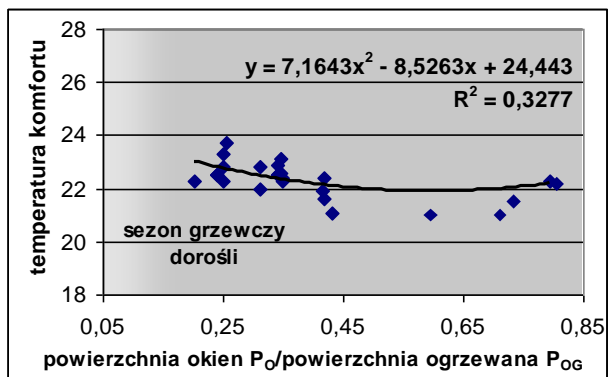
regresji zawierał się w przedziale 0,4÷0,5. W przypadku zastosowania wskaźnika powierzchnia okien/powierzchni ogrzewanej otrzymano współczynnik regresji odpowiednio w przedziale 0,3÷0,4 i 0,2÷0,3. Rys. 13÷18 przedstawiają zmiany wskaźników komfortu w funkcji powierzchni okien/powierzchni ogrzewanej.



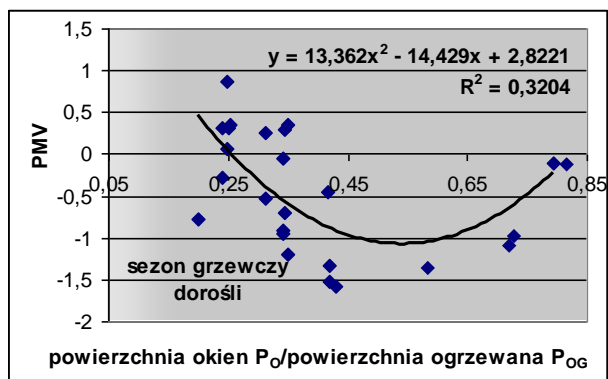
Rys. 13. Temperatura operatywna t_O w funkcji P_O/P_{OG} .
Fig. 13. Operative temperature t_O in the function P_O/P_{OG} .



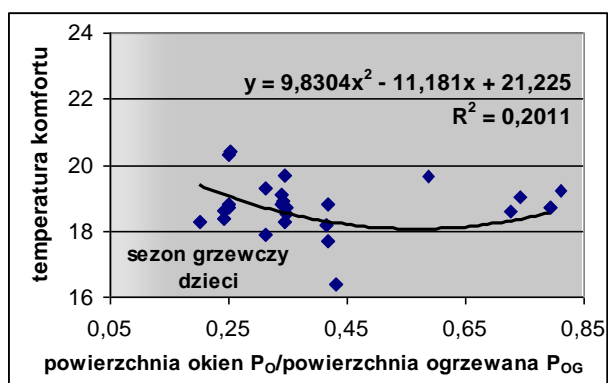
Rys. 14. Temperatura ekwiwalentna t_E w funkcji P_O/P_{OG} .
Fig. 14. Equivalent temperature t_E in the function P_O/P_{OG} .



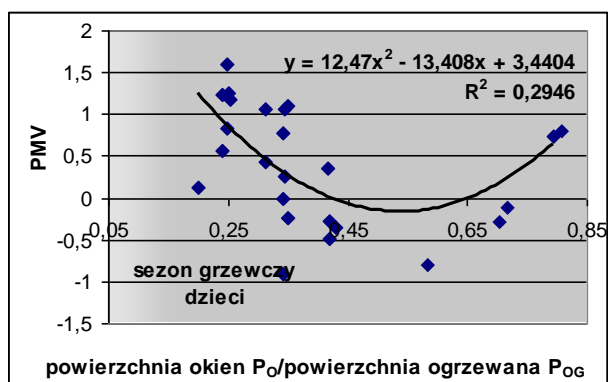
Rys. 15. Temperatura komfortu (dorośli) t_k w funkcji P_O/P_{OG} .
Fig. 15. Comfort temperature (adults) t_k in the function P_O/P_{OG} .



Rys. 16. PMV (dorośli) w funkcji P_O/P_{OG} .
Fig. 16. PMV (adults) in the function P_O/P_{OG} .



Rys. 17. Temperatura komfortu (dzieci) t_k w funkcji P_O/P_{OG} .
Fig. 17. Comfort temperature (children) t_k in the function P_O/P_{OG} .



Rys. 18. PMV (dzieci) w funkcji P_O/P_{OG} .
Fig. 18. PMV (children) in the function P_O/P_{OG} .

Stosując do analizy zmian wskaźników komfortu wskaźnik powierzchnia okien/powierzchni ścian nie uzyskano istotnych wartości współczynnika determinacji. Jego wartość dla wszystkich rozpatrywanych wskaźników komfortu w funkcji wielkości przeszklenia elewacji wyniosła poniżej 0,1.

4. PODSUMOWANIE

Przełrody przezroczyste wywierają pewien wpływ na odczucia cieplne ludzi w pomieszczeniach, w sezonie grzewczym szczególnie ze względu na utrzymującą się niższą wartość temperatury na ich powierzchni w stosunku do powierzchni przegród nieprzezroczystych. W związku z tym człowiek wypromieniowuje więcej ciepła w kierunku zimnych okien, co jest przyczyną nierównomiernego ochładzania jego ciała i odczucia dyskomfortu. Wielkość przeszklenia a także jego szczelność oraz parametry termoizolacyjne wpływają na kształtowanie się temperatury powietrza oraz stateczność ciepłą we wnętrzach.

Charakterystyczną cechą budynków edukacyjnych była znaczna powierzchnia przegród przezroczystych. Duże powierzchnie tych przegród przy znacznej wielkości ich pojedynczych skrzydeł otwieralnych sprzyjały niszczeniu stolarki okiennej, co miało negatywny wpływ na jej właściwości termoizolacyjne i zwiększenie zużycia pogarszanie się warunków mikroklimatu oraz komfortu cieplnego osób w pomieszczeniach.

W okresie zimowym duże okna wpływały na obniżenie temperatury, zwłaszcza odczuwalnej. Zwiększenie różnicy temperatur w strefie przyokiennej wzmagало ruch konwekcyjny, co było przyczyną lokalnych przeciągów. Badania prowadzone w szkołach wykazały, że dzieci przebywające w salach o znacznym przeszkleniu przeziębają się i chorują dwa razy częściej niż przebywające w salach z oknami o umiarkowanej wielkości. Z pośród zastosowanych do analizy wskaźników odnoszących się do przegród przezroczystych najlepiej odzwierciedlającym wpływ wielkości przegród przezroczystych na kształtowanie się wartości rozpatrywanych wskaźników komfortu wydaje się być powierzchnia okien/kubatury ogrzewanej (P_O/V_{OG}).

DEVELOPING OF VALUE OF THERMAL COMFORT INDEXES AS A RESULT OF CHANGES OF THE SIZE OF TRANSPARENT PARTITIONS

Summary: The paper presents the results of the research of human thermal comfort indexes inside the rooms in educational buildings. The influence of quantity of transparent partitions on the value of human thermal comfort indexes in the rooms was observed. It was introduced the following indexes: comfort temperature (t_k), equivalent temperature (t_E), operative temperature (t_o), Predicted Mean Vote (PMV) and Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD).

Literatura

- [1] Śliwowski L. *Mikroklimat wnętrz i komfort cieplny ludzi w pomieszczeniach*. Wrocław OWPW 2000
- [2] *Budownictwo ogólne. Fizyka budowli*. Red.: P. Klemm. Tom drugi. Warszawa Arkady 2008