

## OCENA STANU TERMICZNO-WILGOTNOŚCIOWEGO WIELKOKUBATUROWYCH SAL DYDAKTYCZNYCH SZKOŁY NAUK TECHNICZNYCH I SPOŁECZNYCH POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ W PŁOCKU

Leszek WOLSKI\*, Aneta KRAJEWSKA\*\*

\* Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego  
ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa  
emerytowany Profesor, Politechnika Warszawska, Zakład Instalacji Budowlanych i Fizyki Budowli  
ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock, e-mail: zinstbud@pw.plock.pl

\*\* Politechnika Warszawska, Zakład Instalacji Budowlanych i Fizyki Budowli  
ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock, e-mail: anetak@pw.plock.pl

**Streszczenie:** W referacie przedstawiono analizy wyników badań mikroklimatycznych prowadzonych w wielkokubaturowych salach dydaktycznych placówki zamiejscowej Politechniki Warszawskiej w Płocku. Oceniono stan termiczno-wilgotnościowy badanych pomieszczeń w kontekście komfortu cieplnego.

**Słowa kluczowe:** mikroklimat, temperatura, wilgotność względna powietrza, sala dydaktyczna.

### 1. WSTĘP

Sala dydaktyczna to przestrzeń, w której koncentrują się różne czynniki mające wpływ na ostateczny efekt, jakim jest mikroklimat danego pomieszczenia, najważniejsze to: liczba osób, rodzaj wykonywanych przez nie czynności, klimat zewnętrzny, właściwości termiczne pomieszczenia, jego wymiary i kształt, rodzaj i sposób funkcjonowania instalacji grzewczych, wentylacyjnych bądź klimatyzacyjnych. Zatem każde pomieszczenie cechuje się pewnym zespołem cech indywidualnych. Jeśli dodamy do tego jeszcze różnorodne wymagania użytkowników, to zapewnienie komfortu cieplnego w danym obiekcie jest zdecydowanie zagadnieniem złożonym. Przy czym oczywiście zastosowanie urządzeń klimatyzacyjnych pozwala na znaczącą swobodę ustalenia warunków powietrza w zakresie temperatury, wilgotności, ruchu i zanieczyszczeń. Możemy zatem mówić o zapewnieniu stanu możliwie optymalnego dla pewnej zbiorowości osób. Wiadomo, że człowiek może osiągać stan komfortu cieplnego przy różnorodnych kombinacjach wartości liczbowych parametrów mikroklimatu [1, 2, 3, 7, 9, 10]. W praktyce przydatne jest jednak określenie dopuszczalnych zakresów war-

tości podstawowych parametrów. Poniższy referat ogranicza się tylko do analizy dwóch parametrów mikroklimatu: temperatury powietrza i wilgotności względnej.

Warunki ciepło-wilgotnościowe sal dydaktycznych należy kształtować pod kątem osób znajdujących się w danym pomieszczeniu [4, 7], decydujące są w tym wypadku: gęstość zaludnienia takiej zbiorowości oraz rodzaj aktywności. I tak dla pomieszczeń przeznaczonych na stały pobyt ludzi bez okryć zewnętrznych, nie wykonujących w sposób ciągły pracy fizycznej zalecana projektowa temperatura wewnętrzna wynosi 20°C. W przypadku pomieszczeń przeznaczonych na pobyt ludzi bez okryć zewnętrznych znajdujących się w ruchu lub wykonujących pracę fizyczną o wydatku energetycznym do 300W projektowa temperatura wewnętrzna wynosi 16°C [1, 5]. Z kolei proponowane normy termiczne temperatury powietrza dla pomieszczeń mieszkalnych w okresie ogrzewania zakładają wartości graniczne w obszarze 20-22°C [7], które analogicznie można odnieść również do pomieszczeń użyteczności publicznej. Według [6] wartości liczbowe temperatur obliczeniowych powietrza wewnętrznego dla zimy wynosiły: przy małej aktywności fizycznej: 20-22°C, przy średniej 18-20°C.

Ze względu na dobre samopoczucie człowieka dolna granica dopuszczalnej wilgotności względnej wynosi 35% a górna 70 [8]. Wilgotność względna poniżej 35% powoduje wysuszenie otoczenia, tj. odzieży, mebli, dywanów, itp. Przyczynia się do unoszenia pyłów, powstawania ładunków elektrostatycznych szczególnie na powierzchni tworzyw sztucznych oraz wysuszenia błon śluzowych górnych dróg oddechowych u człowieka. Według [7] wartości graniczne wilgotności względnej w pokojach miesz-

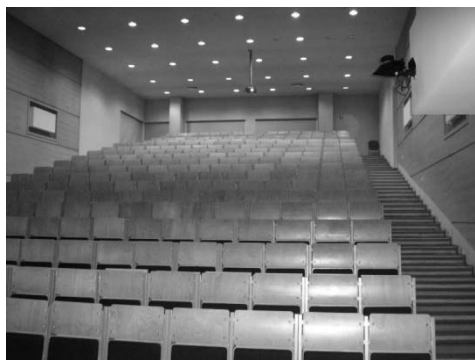
kalnych powinny wynosić 40-60%. Taki sam zakres optymalnych wartości obowiązywał wg [6].

## 2. CHARAKTERYSTYKA BADANYCH OBIEKTÓW

W referacie zaprezentowano analizy wyników badań mikroklimatycznych prowadzonych w trzech pomieszczeniach dydaktycznych Szkoły Nauk Technicznych i Społecznych Politechniki Warszawskiej w Płocku. Obiekty badane to:

1. aula – kubatura: 2139m<sup>3</sup>, powierzchnia: 340m<sup>2</sup>, liczba miejsc: 323, instalacja c.o. wodna, instalacja klimatyzacyjna: nagrzewnica 34kW, chłodnica 32kW;
2. audytorium - kubatura: 748m<sup>3</sup>, powierzchnia: 203m<sup>2</sup>, liczba miejsc: 133, instalacja c.o. wodna, instalacja klimatyzacyjna: nagrzewnica 20kW, chłodnica 21kW;
3. hala sportowa - kubatura: 3631m<sup>3</sup>, powierzchnia: 785m<sup>2</sup>, instalacja c.o. wodna, instalacja wentylacyjna mechaniczna nawiewna z nagrzewnicą 28,5kW.

Badania prowadzono w sezonie zimowym, w okresie prowadzenia zajęć dydaktycznych, w sposób ciągły, o stałym interwale czasowym wynoszącym 4minuty. Poniższy referat zawiera tylko analizy dwóch parametrów mikroklimatu, tj. temperatury powietrza oraz wilgotności względnej powietrza. Temperaturę i wilgotność względną powietrza rejestrowano w punktach siatki pomiarowej. W poniższych analizach zademonstrowano wyniki średnich arytmetycznych wartości z danych pomieszczeń. Celem autorów nie jest dokonywanie bezpośrednich porównań badanych pomieszczeń, lecz indywidualna ocena wybranych parametrów mikroklimatu sal w kontekście warunków komfortu cieplnego. Badania nie były wykonywane równolegle we wszystkich pomieszczeniach.



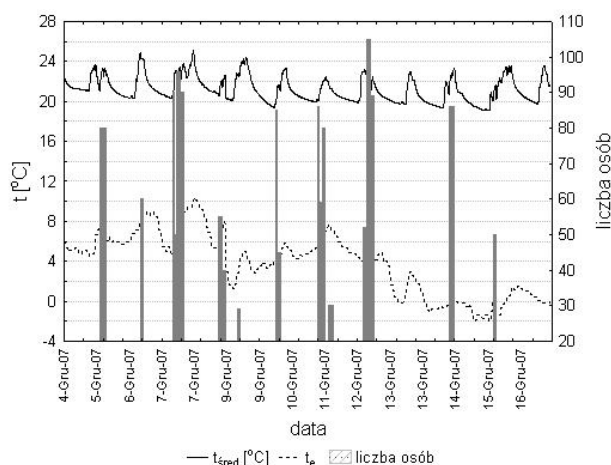
Rys. 1. Aula Szkoły Nauk Technicznych i Społecznych w Płocku.  
Fig. 1. The lecture hall in the School of Engineering and Social Sciences in Płock.



Rys. 2. Audytorium Szkoły Nauk Technicznych i Społecznych w Płocku.  
Fig. 2. The lecture theatre in the School of Engineering and Social Sciences in Płock.

## 3. WYNIKI BADAŃ

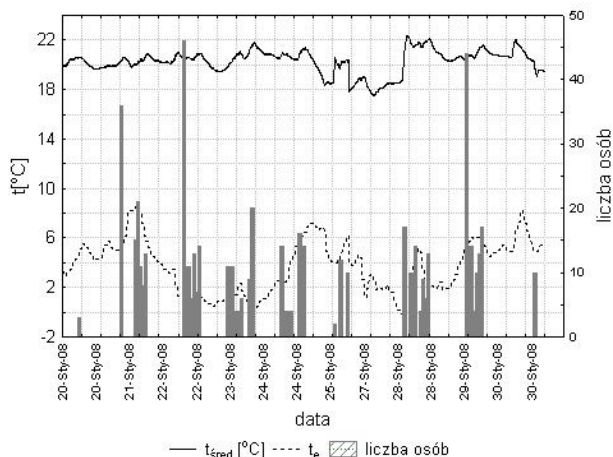
### 3.1. Rozkład temperatur i obsady



Rys. 3. Rozkład temperatur  $t_{sred}$  i  $t_e$  oraz liczby osób w trakcie badań pomieszczenia audytorium.  
Fig. 3. Distribution of temperatures  $t_{sred}$  i  $t_e$  and the number of people during the research into the lecture theatre.

Odnośnie audytorium stwierdzono, że maksymalna średnia temperatura wynosiła w tym pomieszczeniu 25,1°C zarejestrowano ją w dniu 7.12.2007. Szczegółowa analiza (rys. 3) wykazała, że w danym czasie zarejestrowano również maksymalną temperaturę powietrza zewnętrznego z danego okresu badawczego tj. 10,4°C. Tego dnia temperatura zewnętrzna wzrosła w ciągu 12 godzin o 5,8°C zaś w pomieszczeniu wzrosła o 4,8°C. Również minimalna średnia temperatura w audytorium (19,1°C), odpowiadała minimalnej temperaturze powietrza zewnętrznego wynoszącej -1,9°C (15.12.2007).

Obserwowano cykliczne wahania dobowe średniej temperatury pomieszczenia audytorium. Najniższe temperatury rejestrowano w porze porannej przed zajęciami, zaś najwyższe odpowiadały maksymalnym dobowym temperaturom powietrza zewnętrznego. Zaobserwowano również wpływ obecności osób na przyrost średniej temperatury w pomieszczeniu audytorium.

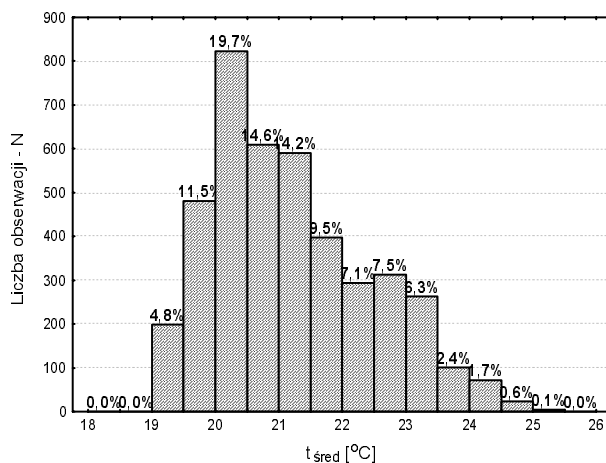


Rys. 4. Rozkład temperatur  $t_{sred}$  i  $t_e$  oraz liczby osób w trakcie badań pomieszczenia hali sportowej.  
Fig. 4. Distribution of temperatures  $t_{sred}$  i  $t_e$  and the number of people during the research into the sports hall.

Prezentowany na rys. 4 rozkład temperatur nie potwierdza znaczącego wpływu warunków zewnętrznych na stan termiczny wewnątrz obiektu. Widoczne są przyrosty średniej temperatury powietrza w pomieszczeniu wynikające z obecności osób na sali gimnastycznej. Efekt podwyższenia temperatury w trakcie użytkowania obiektu zależy od liczby osób oraz czasu użytkowania pomieszczenia.

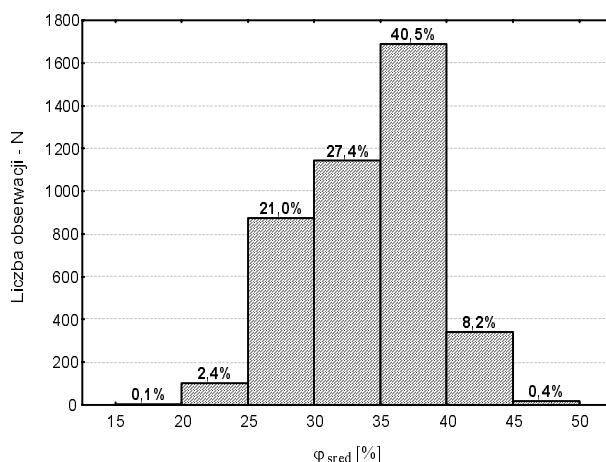
### 3.2. Histogramy

Na poniższych wykresach zaprezentowano histogramy występowania średnich temperatur powietrza i średnich wilgotności względnych w badanych pomieszczeniach. Okazuje się, że w audytorium najczęściej średnia temperatura powietrza występowała w przedziale od 20 do 20,5°C – procent ogółu przypadków wynosi 19,7, następny zaś w kolejności 14,6% jest przedział od 20,5 do 21°C, obydwa przedziały należą do obszaru wartości optymalnych dla tego typu pomieszczeń. Procent ogółu przypadków, dla których  $t_{sred}$  przekroczyła 22°C wynosi 25,7.



Rys. 5. Histogram występowania średnich temperatur –  $t_{sred}$  w audytorium w zakresach co 0,5°C.

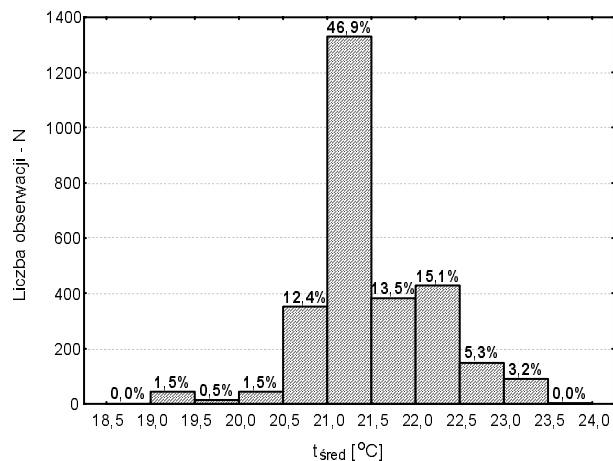
Fig. 5. Histogram of the occurrence of average temperatures –  $t_{sred}$  in the lecture theatre in ranges of every 0,5°C.



Rys. 6. Histogram występowania średniej wilgotności względnej –  $\phi_{sred}$  w audytorium w zakresach co 5%.

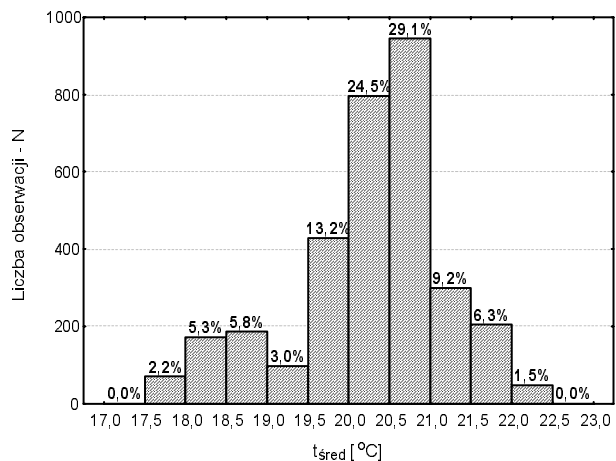
Fig. 6. Histogram of the occurrence of average relative humidity –  $\phi_{sred}$  in the lecture theatre in ranges of every 5%.

Histogram występowania średnich temperatur powietrza w auli wykazuje, że pomieszczenie to w 46,9% przypadków cechowało się temperaturą z przedziału 21 do 21,5°C, zaś temperatura 22°C przekroczona została w nim w 23,6% przypadków. Natomiast według histogramu występowania średnich temperatur powietrza w hali sportowej największą liczbę wynoszącą 29,1% wykazuje obszar od 20,5 do 21°C.



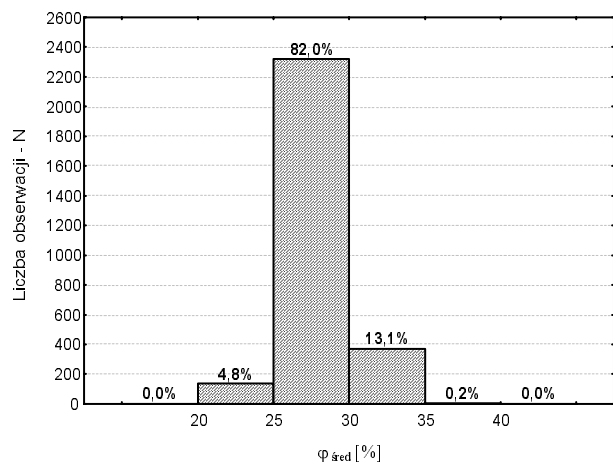
Rys. 7. Histogram występowania średnich temperatur –  $t_{\text{śred}}$  w auli w zakresach co 0,5°C.

Fig. 7. Histogram of the occurrence of average temperatures –  $t_{\text{śred}}$  in the lecture hall in ranges of every 0,5°C.



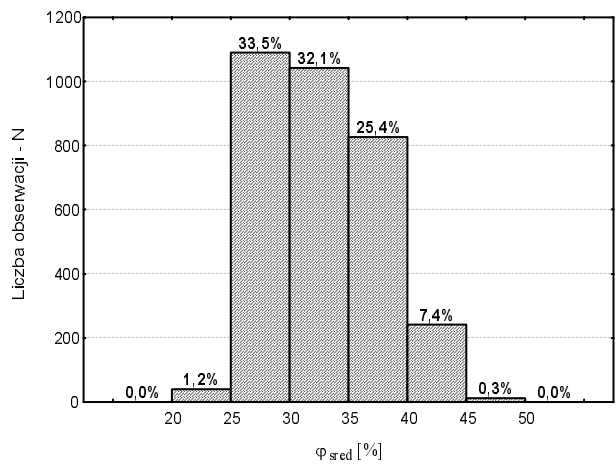
Rys. 9. Histogram występowania średnich temperatur –  $t_{\text{śred}}$  w hali sportowej w zakresach co 0,5°C.

Fig. 9. Histogram of the occurrence of average temperatures –  $t_{\text{śred}}$  in the sports hall in ranges of every 0,5°C.



Rys. 8. Histogram występowania średniej wilgotności względnej –  $\varphi_{\text{śred}}$  w auli w zakresach co 5%.

Fig. 8. Histogram of the occurrence of average relative humidity –  $\varphi_{\text{śred}}$  in the lecture hall in ranges of every 5%.



Rys. 10. Histogram występowania średniej wilgotności względnej –  $\varphi_{\text{śred}}$  w hali sportowej w zakresach co 5%.

Fig. 10. Histogram of the occurrence of average relative humidity –  $\varphi_{\text{śred}}$  in the sports hall in ranges of every 5%.

### 3.3. Statystyki opisowe

Tabela 1. Wyniki statystyki opisowej dla auli.  
Table 1. The findings of descriptive statistics of the lecture hall.

Badany parametr	$t_{\text{śred}} [^{\circ}\text{C}]$	$\varphi_{\text{śred}} [\%]$	Ilość osób
N	2833	2833	335
Średnia	21,5	27,6	75,6
Mediana	21,4	27,2	71
Minimum	19,3	24,1	45
Maksimum	23,6	35,9	117
Rozstęp	4,3	11,8	72
Odchylenie standardowe	0,692	2,004	21,367

Tabela 2. Wyniki statystyki opisowej dla audytorium.  
Table 2. The findings of descriptive statistics of the lecture theatre.

Badany parametr	$t_{\text{śred}} [^{\circ}\text{C}]$	$\varphi_{\text{śred}} [\%]$	Ilość osób
N	4166	4166	539
Średnia	21,2	34,2	66,8
Mediana	21	34,9	60
Minimum	19,1	19,1	29
Maksimum	25,1	45,7	105
Rozstęp	6,0	26,6	76
Odchylenie standardowe	1,253	4,718	23,256

Tabela 3. Wyniki statystyki opisowej dla hali sportowej.  
Table 3. The findings of descriptive statistics of the sports hall.

Badany parametr	$t_{\text{śred}} [^{\circ}\text{C}]$	$\varphi_{\text{śred}} [\%]$	Ilość osób
N	3250	3250	850
Średnia	20,3	32,8	13,1
Mediana	20,5	32,9	11
Minimum	17,5	23	2
Maksimum	22,3	45,3	46
Rozstęp	4,8	22,3	44
Odchylenie standardowe	0,948	4,842	9,776

Tabela 4. Liczność skumulowana przypadków, w których średnia wilgotność względna wynosiła poniżej 35%.  
Table 4. The accumulated numerousness of cases in which average relative humidity amounts to below 35%.

Pomieszczenie	Liczność skumulowana dla której $\varphi_{\text{śred}} < 35\% [\%]$
Aula	99,8
Audytorium	50,9
Hala sportowa	66,8

## 4. WNIOSKI

1. Odnośnie średnich temperatur powietrza w badanych pomieszczeniach można stwierdzić, co następuje:

- Audytorium - średnia temperatura w granicach od 19,1 do 25,1 $^{\circ}\text{C}$ ; w 58% rejestrowanych przypadków mieściła się w optymalnych granicach wynoszących od 20 do 22 $^{\circ}\text{C}$ .
- Aula - średnia temperatura w granicach od 19,3 do 23,6 $^{\circ}\text{C}$ ; w 74,3% rejestrowanych przypadków mieściła się w optymalnych granicach wynoszących od 20 do 22 $^{\circ}\text{C}$ .

- Sala sportowa - średnia temperatura w granicach od 17,5 do 22,3°C; nie spełniła wymagań odnośnie projektowej temperatury dla pomieszczeń przeznaczonych na pobyt ludzi bez okryć zewnętrznych znajdujących się w ruchu lub wykonujących pracę fizyczną o wydatku energetycznym do 300W, wynoszącej 16°C, w 70,6% rejestrowanych przypadków przekroczyła temperaturę 20°C.
2. Odnośnie średnich wilgotności względnych powietrza w badanych pomieszczeniach można stwierdzić, co następuje:
- Audytorium - średnia wilgotność względna w granicach od 19,1 do 45,7%, w 50,9% rejestrowanych przypadków mieściła się poniżej dolnej granicy dopuszczalnej wilgotności względnej wynoszącej 35%.
  - Aula - średnia wilgotność względna w granicach od 24,1 do 35,9%, w 99,8% rejestrowanych przypadków mieściła się poniżej dolnej granicy dopuszczalnej wilgotności względnej wynoszącej 35%.
  - Sala sportowa - średnia wilgotność względna w granicach od 23 do 45,3%, w 66,8% rejestrowanych przypadków mieściła się poniżej dolnej granicy dopuszczalnej wilgotności względnej wynoszącej 35%.

W odniesieniu do badanych parametrów mikroklimatu pomieszczeń auli i audytorium instalacje ogrzewcze i klimatyzacyjne zdecydowanie lepiej utrzymują średnią temperaturę powietrza w zalecanym obszarze temperatur komfortowych niż średnią wilgotność względną w granicach zalecanych wartości. Szczególnej uwadze należy poddać stan wilgotnościowy pomieszczenia auli.

#### AN ASSESSMENT OF THE THERMIC AND HUMIDITY CONDITIONS OF LARGE CAPACITY TEACHING HALLS IN THE SCHOOL OF ENGINEERING AND SOCIAL SCIENCES OF WARSAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN PŁOCK

**Summary:** The report presents the analysis of the findings of the research into microclimate in large capacity teaching halls in off-campus unit of Warsaw University of Technology in Plock. The thermic and humidity conditions of examined rooms have been estimated in the context of thermal comfort.

#### Literatura

- [1] DZ.U. Nr 75 poz. 690 *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z 12 IV 2002 r. z późniejszymi zmianami.*
- [2] Fanger P.O. *Komfort cieplny.* Arkady, Warszawa 1974.
- [3] ISO 7730 *Moderate thermal environments -- Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort* – 1984.

- [4] Niekrawiec D. *Badanie komfortu cieplnego w sali dydaktycznej.* Wiadomości elektrotechniczne 10(2007) 22-27.
- [5] PN-EN 12831 *Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego* – 2006.
- [6] PN-B-03421 *Wentylacja i klimatyzacja -- Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi* - 1978.
- [7] Praca zbiorowa p. kier. Prof. P. Klemma *Budownictwo ogólne. Fizyka budowli t.2.* Arkady, Warszawa 2005 53-100, 431-433, 471-474.
- [8] Sabiniak H.G., Pietras M. *Klimatyzacja obiektów basenowych.* Podręczniki Akademickie Politechnika Łódzka, Łódź 2008.
- [9] Śliwowski L. *Mikroklimat wewnątrz i komfort cieplny ludzi w pomieszczeniach.* Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.
- [10] Wolski L., Kamiński A., Kowalkowska A. *Ocena stanu rzeczywistego powietrza wewnętrznego w sali spółdzielczego domu kultury - placówce edukacji pozaszkolnej.* Materiały VI Konferencji Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce, Warszawa 2001.