

*mikroklimat pomieszczenia, sala dydaktyczna,
pomiar, temperatura powietrza wewnętrznego,
wilgotność względna powietrza wewnętrznego*

Tomasz PIETRUCHA*

POMIAR TEMPERATURY I WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ POWIETRZA W SALI DYDAKTYCZNEJ

Wykonanie pomiaru temperatury i wilgotności względnej powietrza wewnętrznego na potrzeby oceny mikroklimatu pomieszczenia wiąże się z wieloma problemami, które trzeba rozwiązać. Są to m. in. wybór odpowiednich przyrządów pomiarowych, ich odpowiednia lokalizacja oraz wystarczająca ilość urządzeń pomiarowych. Każdy z tych aspektów przekłada się na jakość uzyskanej informacji o badanych parametrach powietrza. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów temperatury i wilgotności względnej powietrza w sali wykładowej. Rozmieszczono w niej cztery przyrządy pomiarowe. Na podstawie otrzymanych wyników omówiono czynniki wpływające na zmienność mierzonych parametrów oraz wyciągnięto wnioski dotyczące lokalizacji oraz ilości przyrządów pomiarowych.

1. WPROWADZENIE

Czasami niezbędne jest przeprowadzenie pomiaru temperatury i wilgotności względnej powietrza wewnętrznego. Pomiaru te zwykle wykonywane są na potrzeby oceny mikroklimatu pomieszczeń [5]. Przy przygotowywaniu zadania pomiarowego mającego na celu pomiar tychże parametrów powietrza trzeba rozpatrzyć kilka aspektów. Najbardziej istotnymi z nich są: wybór odpowiednich przyrządów pomiarowych, lokalizacja przyrządów pomiarowych w pomieszczeniu oraz niezbędna ilość przyrządów pomiarowych. Każde z tych zagadnień istotnie wpływa na jakość uzyskanej informacji [4]. Jeśli chodzi o wybór przyrządów to na rynku dostępnych jest wiele urządzeń służących do pomiaru temperatury i wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniach [1–3]. Oferują one pomiar mierzonych wielkości nawet co kilka sekund, a pamięć takiego urządzenia wystarcza od kilkunastu dni do kilku lat w zależności od ustawionej

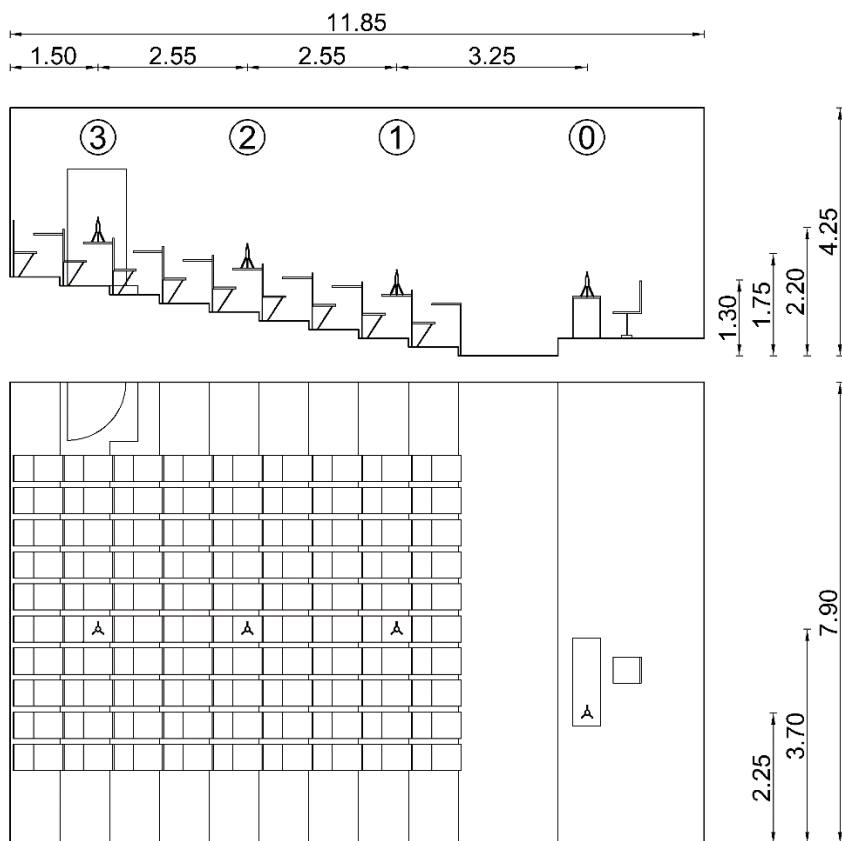
* Politechnika Wrocławska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, tomasz.pietrucha@pwr.edu.pl.

rozdzielczości czasowej. Ich parametry metrologiczne ściśle dostosowane są do warunków panujących w pomieszczeniach. Cechują się również prostotą obsługi oraz przyjaznym interfejsem dla użytkownika. Ich dużą zaletą jest zasilanie akumulatorowe, które ułatwia rozmieszczenie tych przyrządów w punktach pomiarowych, gdzie nie ma możliwości zasilania tych urządzeń bezpośrednio z instalacji elektrycznej. Trudniejszą sprawą pozostaje wybór liczby punktów pomiarowych oraz ich lokalizacja. W tym przypadku można posłużyć się np. wytycznymi literaturowymi. Przykładowa instrukcja pomiaru temperatury powietrza wewnętrznego dostępna jest na stronie internetowej chińskiej organizacji „Energy Saving Charter on Indoor Temperature” zraszającej właścicieli centrów handlowych, budynków biurowych i budynków mieszkalnych [6]. Wytyczne zawierają kilka wskazówek odnośnie lokalizacji przyrządów pomiarowych, a także informacje na temat ilości punktów pomiarowych. Takie instrukcje mają jednak charakter ogólny, co nie pozwoli na uniknięcie lub rozwiązanie wielu problemów. Przeprowadzenie pomiaru parametrów powietrza musi opierać się na doświadczeniu ludzi odpowiedzialnych za przygotowanie zadania pomiarowego, ponieważ wybór lokalizacji punktów pomiarowych oraz określenie ich ilości jest ściśle uzależnionym od charakteru pomieszczenia, w którym badane mają być parametry powietrza. Przykładowo w dużych pomieszczeniach jak sale dydaktyczne, ze względu na duże wymiary, kształt pomieszczenia, nieregularne rozmieszczenie ludzi podczas zajęć, uzyskanie dobrej informacji na podstawie pomiarów może być trudne. Głównymi problemami mogą być potencjalne różnice pomiędzy wartościami parametrów powietrza w różnych miejscach pomieszczenia, szczególnie w punktach poza i w obrębie strefy przebywania ludzi. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów temperatury i wilgotności względnej powietrza w sali wykładowej podczas odbywających się w niej zajęć dydaktycznych. Cztery punkty pomiarowe zostały rozmieszczone w jednej linii wzdłuż sali, w środkowej jej części, na różnych wysokościach, które wynikały ze specyfiki pomieszczenia (rys. 1.). W dyskusji na podstawie uzyskanych danych omówiono jak zmieniały się badane parametry powietrza w czasie oraz wpływ różnych czynników na ich zmienność w czasie. Następnie poruszono kwestię ilości i lokalizacji przyrządów pomiarowych temperatury i wilgotności powietrza potrzebnych do oceny mikroklimatu pomieszczenia.

2. CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

Pomiary parametrów powietrza przeprowadzono w sali wykładowej. W sali rozmieszczono cztery zintegrowane czujniki temperatury i wilgotności względnej powietrza. Nazwano je czujnikiem 0, 1, 2 oraz 3 (rys. 1). Przyrząd 0 został umieszczony poza strefą przebywania ludzi, a 1, 2 i 3 w strefie przebywania ludzi. W sali znajdowało się 90 miejsc dla studentów. Pomiary wykonano w ciągu 8 tygodni w tym samym dniu

tygodnia podczas zajęć dydaktycznych trwających od 9:15 do 18:15 (9 godzin). Temperaturę powietrza mierzono czujnikiem rezystancyjnym. Zakresy pomiarowy urządzenia wynosi $-20-60^{\circ}\text{C}$, dokładność $\pm 0,2-0,15\%$ wartości pomiaru, a rozdzielczość pomiarowa $0,1^{\circ}\text{C}$. Wilgotność względną powietrza mierzono czujnikiem pojemnościowym. Zakres pomiarowy urządzenia wynosi $0-100\%$, dokładność $\pm 1,5\%$ (zakres: $0-90\%$) lub $\pm 2\%$ ($90-100\%$) dla zakresu temperatur $15-35^{\circ}\text{C}$ lub $\pm 1,5\%-1,5\%$ wartości pomiaru dla zakresu temperatur $-20-60^{\circ}\text{C}$, a rozdzielczość pomiarowa wynosi $0,1\%$. Pomiar parametrów powietrza wykonywano co jedną minutę. Wentylacja pomieszczenia odbywała się głównie poprzez otwieranie okien. Podczas pomiarów trwały obserwacje zachowań studentów. Przed przystąpieniem do badań wykonano pomiar testowy. Wszystkie przyrządy zaplanowane do użycia w pomiarach umieszczono w jednym miejscu bardzo blisko siebie. Oceniono, że wartości parametrów powietrza wskazywane przez przyrządy są niemal identyczne.

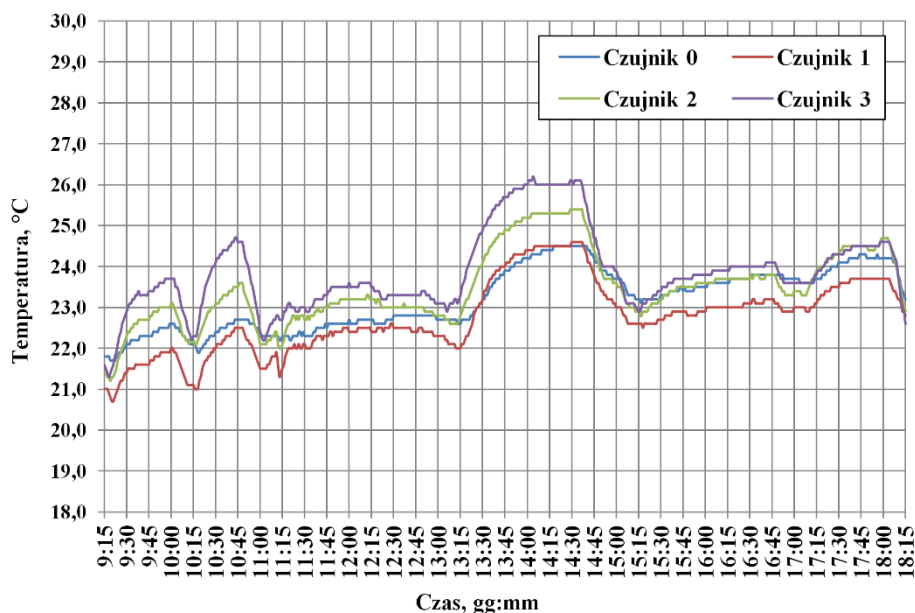


Rys. 1. Sala wykładowa wraz z zaznaczonymi pozycjami przyrządów pomiarowych i odległościami podanymi w metrach

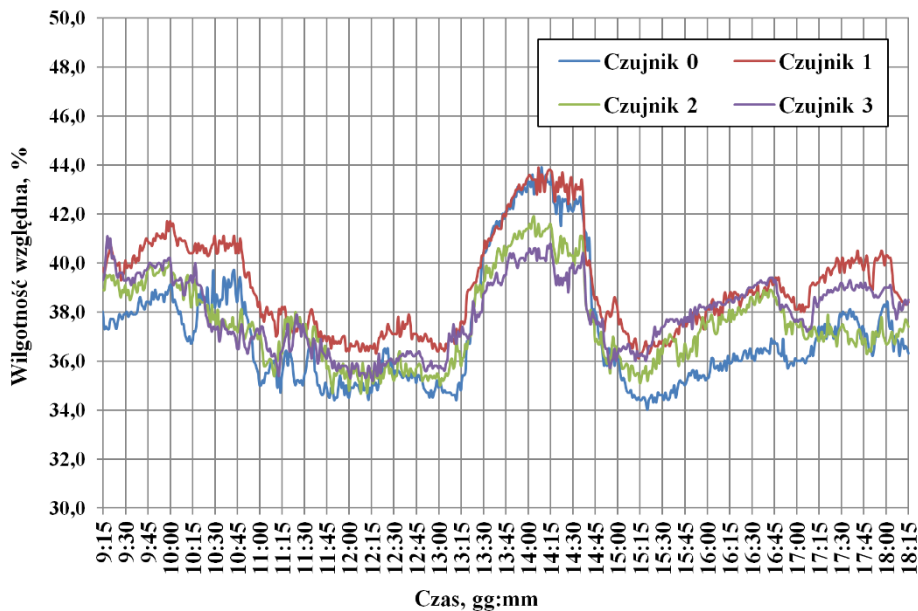
3. WYNIKI I DYSKUSJA

3.1. ZMIENNOŚĆ MIERZONYCH PARAMETRÓW POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO

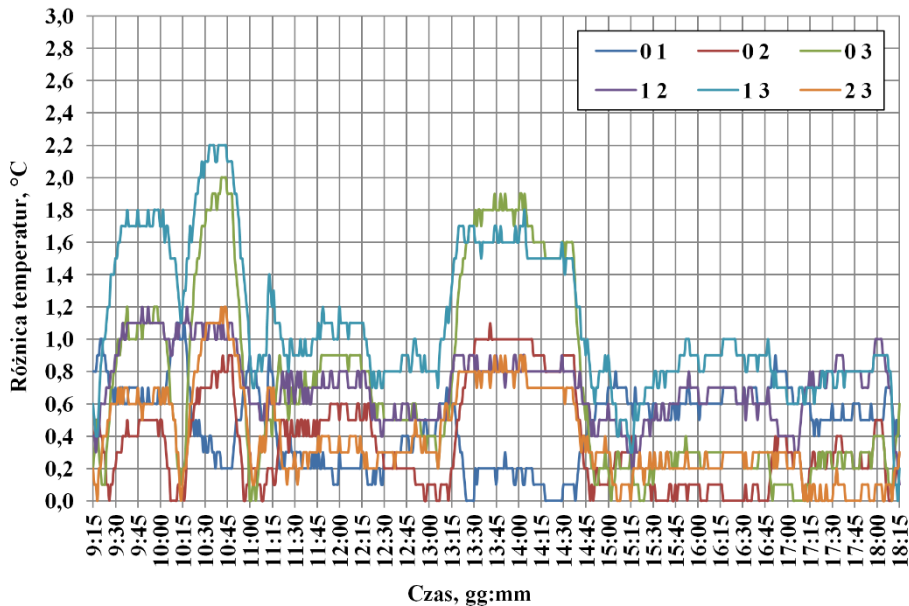
Podczas wykonywania badań obserwowano i opisywano aktywność studentów użytkujących salę dydaktyczną. Zapisywano takie zdarzenia jak wejście i wyjście studentów z sali, otwarcie okna, otwarcie drzwi oraz zbierano informacje na temat ilości oraz rozmieszczenia studentów podczas zajęć. Zauważono, że zmienność temperatury jak i wilgotności powietrza istotnie uzależniona była od tych wydarzeń i nie była ona przypadkowa. Zwykle podczas obecności studentów wartość temperatury powietrza rosła, a po opuszczeniu sali malała (rys. 2). Szybkość wzrostu zależała głównie od ilości ludzi w sali oraz od ilości otwartych okien. Podobnym charakterem zmian cechowała się wilgotność względna (rys. 3). Jednak w tym przypadku zauważono, że czasami obecność ludzi nie powodowała wzrostu tego parametru, a wręcz jego spadek. Prawdopodobnie te sytuacje spowodowane były dużymi wzrostami temperatury powietrza podczas zajęć, co skutkowało spadkami wilgotności względnej powietrza. Co więcej różnice pomiędzy wskazaniami przyrządów pomiarowych zwiększały się podczas obecności studentów, a zmniejszały się, kiedy studenci opuszczali salę (rys. 4 i 5).



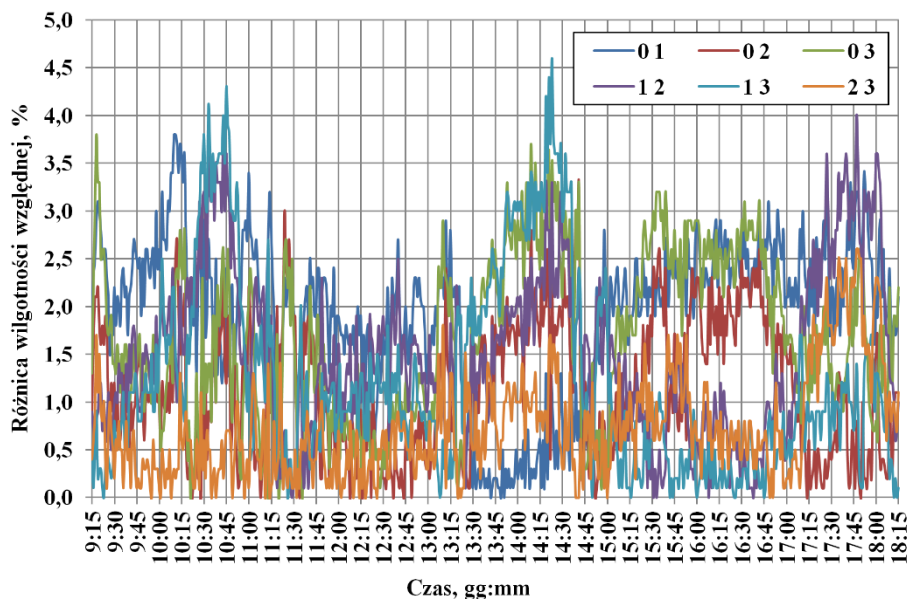
Rys. 2. Zmiany temperatury powietrza w czasie w dniu trzecim



Rys. 3. Zmiany wilgotności względnej powietrza w czasie w dniu trzecim



Rys. 4. Zmiany różnic temperatury powietrza w czasie pomiędzy czujnikami w dniu trzecim



Rys. 5. Zmiany różnic wilgotności względnej powietrza w czasie pomiędzy czujnikami w dniu trzecim

Tabela 1. Średnie arytmetyczne wartości różnic temperatury powietrza pomiędzy punktami pomiarowymi; OS – odchylenie standardowe

		0 1	0 2	0 3	1 2	1 3	2 3
Dzień 1	Średnia	-	-	-	0,9	1,6	0,6
	OS	-	-	-	0,2	0,4	0,2
Dzień 2	Średnia	-	-	-	0,6	1,1	0,5
	OS	-	-	-	0,2	0,4	0,2
Dzień 3	Średnia	0,5	0,4	0,7	0,7	1,1	0,4
	OS	0,2	0,3	0,6	0,2	0,4	0,3
Dzień 4	Średnia	0,3	0,5	0,9	0,8	1,2	0,4
	OS	0,1	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3
Dzień 5	Średnia	0,3	0,6	0,8	0,9	1,1	0,3
	OS	0,1	0,4	0,5	0,4	0,5	0,3
Dzień 6	Średnia	0,4	0,5	1,0	0,8	1,4	0,5
	OS	0,2	0,4	0,5	0,3	0,4	0,2
Dzień 7	Średnia	-	-	-	0,9	1,6	0,7
	OS	-	-	-	0,4	0,6	0,3
Dzień 8	Średnia	-	-	-	0,4	0,9	0,4
	OS	-	-	-	0,4	0,6	0,3
Podsum.	Średnia	0,3–0,5	0,4–0,6	0,7–1,0	0,4–0,9	0,9–1,6	0,3–0,7
	OS	0,1–0,2	0,3–0,4	0,5–0,6	0,2–0,4	0,4–0,6	0,2–0,3

Tabela 2. Średnie arytmetyczne wartości różnic wilgotności względnej powietrza pomiędzy punktami pomiarowymi; OS – odchylenie standardowe

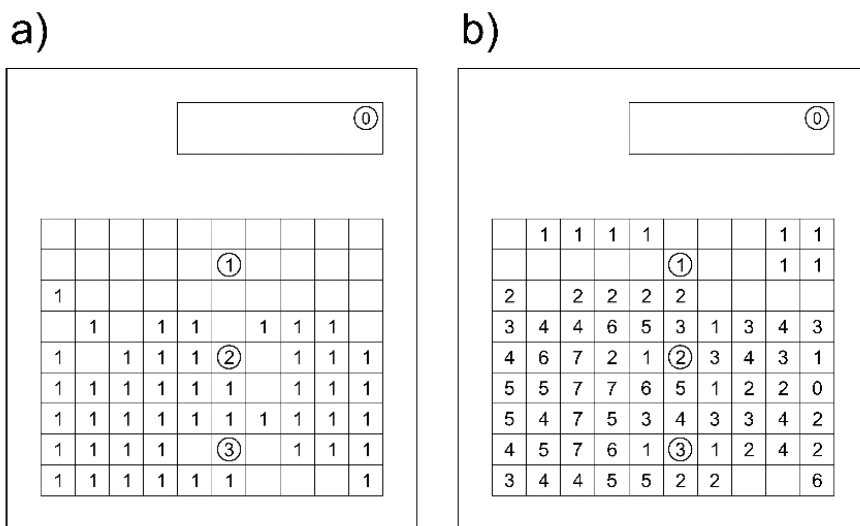
		0 1	0 2	0 3	1 2	1 3	2 3
Dzień 1	Średnia	-	-	-	0,9	1,6	0,6
	OS	-	-	-	0,2	0,4	0,2
Dzień 2	Średnia	-	-	-	0,6	1,1	0,5
	OS	-	-	-	0,2	0,4	0,2
Dzień 3	Średnia	0,5	0,4	0,7	0,7	1,1	0,4
	OS	0,2	0,3	0,6	0,2	0,4	0,3
Dzień 4	Średnia	0,3	0,5	0,9	0,8	1,2	0,4
	OS	0,1	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3
Dzień 5	Średnia	0,3	0,6	0,8	0,9	1,1	0,3
	OS	0,1	0,4	0,5	0,4	0,5	0,3
Dzień 6	Średnia	0,4	0,5	1,0	0,8	1,4	0,5
	OS	0,2	0,4	0,5	0,3	0,4	0,2
Dzień 7	Średnia	-	-	-	0,9	1,6	0,7
	OS	-	-	-	0,4	0,6	0,3
Dzień 8	Średnia	-	-	-	0,4	0,9	0,4
	OS	-	-	-	0,4	0,6	0,3
Podsum.	Średnia	0,3–0,5	0,4–0,6	0,7–1,0	0,4–0,9	0,9–1,6	0,3–0,7
	OS	0,1–0,2	0,3–0,4	0,5–0,6	0,2–0,4	0,4–0,6	0,2–0,3

W tabelach 1 i 2 zestawiono średnią różnicę wartości mierzonych parametrów pomiędzy punktami pomiarowymi wraz z odchyleniem standardowym. Uzyskane wyniki obliczeń pokazują, że różnice pomiędzy wskazaniem temperatury są na tyle duże, że nieostrożne rozmieszczenie czujnika temperatury może dać nieodpowiednią informację o mikroklimacie pomieszczenia. Z kolei różnice pomiędzy zmierzonymi wartościami wilgotności względnej są bardzo małe i tutaj rozmieszczenie czujnika w pomieszczeniu oraz ich ilość może nie mieć dużego znaczenia.

3.2. WPŁYW ROZMIESZCZENIA STUDENTÓW W SALI DYDAKTYCZNEJ

Podczas odbywających się zajęć dydaktycznych zapisywano liczbę studentów oraz ich rozmieszczenie. Przykładowe preferencje wyboru miejsc przez użytkowników sali zostały przedstawione na rys. 6. Przykład a) prezentuje zajęte miejsca podczas jednych zajęć. Natomiast b) przedstawia ile razy dane miejsce było zajęte podczas jednego dnia. Łatwo zauważyć, że przednie rzędy były niechętnie zajmowane przez studentów, a środkowe i ostatnie wprost przeciwnie. Takie użytkowanie sali istotnie wpływało na wartości temperatury. W okolicach czujnika 2 i 3, gdzie zanotowano dużo wyższe wartości temperatury powietrza niż punktach 0 i 1, chwilowe różnice pomiędzy innymi punktami pomiarowymi mogły wynosić nawet 2°C (rys. 4). Taka wartość jest istotna

z punktu widzenia komfortu termicznego i ma duże znaczenie przy ocenie mikroklimatu pomieszczenia. Co więcej zyski ciepła od ludzi istotnie wpływają na temperaturę powietrza, ale tylko w pobliżu ludzi. Czujnik 1 umieszczony 2,5 m od strefy przebywania studentów wskazuje inne wartości niż czujnik 2 znajdujący się wśród siedzących studentów. Zatem przy wykonywaniu takich pomiarów kluczowe jest zapoznanie się z charakterem użytkowania pomieszczenia, a decydującym czynnikiem uzyskania dobrej informacji na temat temperatury powietrza w pomieszczeniu jest możliwość umieszczenia czujnika bezpośrednio w strefie przebywania ludzi.



Rys. 6. Przykładowe rozmieszczenie studentów podczas zajęć dydaktycznych:
a) podczas jednych zajęć, b) podczas całego dnia zajęć

3.3. WPŁYW KSZTAŁTU SALI DYDAKTYCZNEJ

Wokół czujnika 2 i 3 studenci najchętniej zajmowali miejsca i zwykle w ich okolicach większość miejsc była zajęta. Z tego względu można uznać, że warunki, w jakich znajdowały się oba przyrządy pod względem zysków ciepła były bardzo podobne. Jednak na rysunku 2 wyraźnie widać, że temperatura mierzona w punkcie pomiarowym 3 osiągała zwykle większe wartości niż w punkcie 2. Taka sytuacja występowała również w pozostałych dniach pomiarowych. Wysokość usytuowania czujnika, która wynikała z kształtu sali, miała wpływ na otrzymany wynik pomiaru. W sali powstawał gradient temperatury, który mógł osiągnąć chwilową wartość $1,0^{\circ}\text{C}$ na $0,45\text{ m}$ pomiędzy wysokościami usytuowania czujników 2 oraz 3. Kształt jak i duże rozmiary sali

bardzo utrudniają podjęcie decyzji o odpowiednim rozmieszczeniu przyrządów pomiarowych. Pomimo usytuowaniu dwóch w strefie przebywania ludzi, ze względu na różnicę wysokości, otrzymano istotnie różne wartości temperatur.

3.4. WPŁYW BŁĘDU POMIARU PRZYRZĄDÓW POMIAROWYCH

Aby sprawdzić czy zarejestrowane różnice pomiędzy punktami pomiarowymi są istotne uwzględniono dokładność pomiaru używanych przyrządów pomiarowych. W tabeli 3 oraz 4 przedstawiono wyniki obliczeń. Przeprowadzono je w oparciu o równania (1) oraz (2), gdzie X i Y są wartościami zmierzonymi przez dwa przyrządy w tej samej minucie. Oznaczenia D_X i D_Y są dokładnościami pomiaru przyrządów pomiarowych, a X_R i Y_R są rzeczywistymi wartościami temperatury lub wilgotności względnej powietrza.

$$|D_X| + |D_Y| < |X - Y| \rightarrow X_R \neq Y_R \quad (1)$$

$$|D_X| + |D_Y| \geq |X - Y| \rightarrow X_R = Y_R \quad (2)$$

Tabela 3. Procent pomiarów temperatury powietrza, kiedy różnica pomiędzy dwoma punktami była większa niż suma dokładności pomiarów; OS – odchylenie standardowe

	0 1	0 2	0 3	1 2	1 3	2 3
Dzień 1	-	-	-	99,1%	100,0%	82,3%
Dzień 2	-	-	-	83,9%	99,6%	59,1%
Dzień 3	62,3%	37,2%	56,6%	93,2%	97,8%	37,5%
Dzień 4	13,3%	45,3%	84,3%	93,9%	100,0%	37,3%
Dzień 5	11,5%	53,2%	76,7%	94,3%	98,5%	44,2%
Dzień 6	46,6%	46,8%	92,1%	96,9%	99,1%	66,9%
Dzień 7	-	-	-	86,5%	98,3%	93,0%
Dzień 8	-	-	-	35,1%	79,9%	46,0%
Średnia	33,4%	45,6%	77,4%	85,4%	96,7%	58,3%
OS	25,1%	6,6%	15,2%	20,9%	6,8%	21,0%

Taka analiza pozwoli na upewnienie się czy wartości parametrów pomiędzy punktami różnią się na tyle, że pomimo uwzględnienia dokładności pomiaru porównywane wartości można na pewno uznać za różne. W przypadku temperatury jak i wilgotności względnej wyniki obliczeń pokazują jednoznacznie, że różnice pomiędzy wskazaniami przyrządów występowały bardzo często. Szczególnie przy najbardziej oddalonych od siebie punktach pomiarowych. Różnice temperatur występujące pomiędzy punktami pomiarowymi są istotne ze względów metrologicznych jak i dla oceny mikroklimatu pomieszczenia. Natomiast różnice pomiędzy wartościami wilgotności względnej

z punktu metrologii rzeczywiście występują, ale mogą nie mieć znaczenia dla oceny mikroklimatu pomieszczenia

Tabela 4. Procent pomiarów wilgotności względnej powietrza, kiedy różnica pomiędzy dwoma punktami była większa niż suma dokładności pomiarów; OS – odchylenie standardowe

	0 1	0 2	0 3	1 2	1 3	2 3
Dzień 1	-	-	-	48,1%	71,9%	21,1%
Dzień 2	-	-	-	33,8%	47,1%	22,2%
Dzień 3	82,8%	45,5%	67,5%	61,2%	37,9%	16,8%
Dzień 4	3,3%	18,7%	31,1%	26,4%	38,4%	13,7%
Dzień 5	32,2%	50,3%	51,0%	81,3%	77,8%	30,5%
Dzień 6	49,4%	32,5%	24,4%	40,3%	54,0%	14,4%
Dzień 7	64,3%	81,1%	79,3%	24,8%	38,3%	14,0%
Dzień 8	38,3%	31,1%	40,5%	52,1%	47,0%	26,4%
Średnia	45,1%	43,2%	49,0%	46,0%	51,6%	19,9%
OS	27,5%	21,7%	21,3%	19,0%	15,5%	6,3%

4. WNIOSKI

Przygotowując zadanie pomiarowe mające na celu pomiar temperatury powietrza wewnętrznego należałoby się wyposażyć w kilka przyrządów pomiarowych. Jeśli w pomieszczeniu strefa przebywania ludzi nie obejmuje całej powierzchni sali, należałoby umieścić przynajmniej dwa czujniki temperatury: w strefie i poza nią. Niezbędnym elementem przygotowania zadania pomiarowego jest zapoznanie się z charakterem użytkowania pomieszczenia. W badanej sali podczas zajęć pierwsze rzędy pozostawały puste, przez to wartości temperatur w tym miejscu były dużo niższe niż w miejscach, gdzie rzeczywiście siedzieli studenci. Nieroztropne umieszczenie czujnika w nieużytkowanej strefie przebywania ludzi spowodowałoby uzyskanie nieodpowiedniej informacji na temat temperatury powietrza. Jeżeli w pomieszczeniu występują różnice wysokości, szczególnie w strefie przebywania ludzi, należałoby umieścić przynajmniej dwa czujniki: w najwyższym i najniższym punkcie strefy. W przypadku wilgotności względnej jeden przyrząd jest wystarczający na potrzeby oceny tego parametru w badanym pomieszczeniu. Przyrząd pomiarowy wilgotności względnej mógłby zostać rozmieszczony w każdym z wyznaczonych punktów pomiarowych na potrzeby badań, nawet w punkcie pomiarowym poza strefą przebywania ludzi.

Praca została sfinansowana ze środków na działalność statutową nr S50532 Katedry Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza.

LITERATURA

- [1] Karta katalogowa: *rejestrator temperatury AR231*. [online] APAR [dostęp 23 lipca 2015]. Dostępny w Internecie: <http://www.apar.pl/rejestrator-temperatury-ar231.html>.
- [2] Karta katalogowa: *termohigrometr C3120*. [online] COMET [dostęp 23 lipca 2015]. Dostępny w Internecie: <http://www.cometsystem.pl/pl/produkty/reg-C3120>.
- [3] Karta katalogowa: *Termometr higrometr LB-706, LB-701*. [online] LAB-EL [dostęp 23 lipca 2015]. Dostępny w Internecie: <http://www.label.pl/po/rek706.html>.
- [4] KOŁODZIEJCZYK L., RUBIK M., MANKOWSKI S., *Pomiary w inżynierii sanitarnej*, Wyd. Arkady, Warszawa 1974, 544–548.
- [5] PEŁECH A., *Wentylacja i klimatyzacja – podstawy*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2010, 11–50.
- [6] THE GOVERNMENT OF THE HONG KONG SPECIAL ADMINISTRATIVE REGION, ENVIRONMENT BUREAU [dostęp 23 lipca 2015]. *General Guidelines on Air Temperature Measurement* [online]. Dostępny w Internecie: http://www.energysaving.gov.hk/indoortemperature/2015/filemanager/doc/general_guidelines_on_air_temperature_measurement_e.pdf.

MEASUREMENT OF TEMPERATURE AND RELATIVE HUMIDITY OF INDOOR AIR IN THE
LECTURE HALL

Performing the measurement of temperature and relative humidity of indoor air for the assessment of the internal microclimate of the room is associated with many problems that need to be solved. These include selection of the instruments, their proper location and sufficient number of measuring devices. Each of these aspects reflected in the quality of the information obtained about the air parameters. The article presents the results of measurements of temperature and relative humidity in the lecture hall. In the lecture hall four measurement devices was placed. Based on these results factors affecting the variability of the measured parameters were discussed and the conclusions about location and number of measuring instruments were drawn.