

## **Ocena jakości powietrza wewnętrznego w wybranych przedszkolach**

**Marek Telejko**

*Katedra Technologii i Organizacji Budownictwa, Wydział Budownictwa i Architektury,  
Politechnika Świętokrzyska, e-mail: mtelejko@tu.kielce.pl*

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań jakości powietrza wewnętrznego przeprowadzonych w 4 przedszkolach samorządowych. W rozpatrywanych obiektach zastosowany został system wentylacji grawitacyjnej. Uzyskane wyniki badań wskazują jednoznacznie na bardzo niską jakość powietrza w tego typu budynkach.

**Słowa kluczowe:** fizyka budowli, wentylacja, wymiana powietrza, jakość powietrza wewnętrznego

### **1. Wprowadzenie**

W Polsce zdecydowaną większość obiektów, w których zlokalizowano przedszkola publiczne, stanowią budynki kilkunasto- lub nawet kilkudziesięcioletnie. W obiektach tych standardowym rozwiązaniem jest system wentylacji naturalnej. Tylko niewielki procent takich budynków wyposażony został w system wentylacji mechanicznej z możliwością regulacji parametrów mikroklimatu.

Przekazanie szkół i przedszkoli w zarząd samorządom terytorialnym sprawił, że zaczęły one poszukiwać rozwiązań pozwalających na zmniejszenie kosztów związanych z eksploatacją tych obiektów. Jedną z głównych pozycji w kosztach utrzymania budynków są koszty ich ogrzewania. Ograniczony budżet jakim dysponują samorzady zwykle nie pozwala na przeprowadzenie kompleksowej termomodernizacji. Niestety źle przemyślane i nie skoordynowane działania termomodernizacyjne mogą, i coraz częściej mają, negatywny wpływ na mikroklimat panujący we wnętrzach takich obiektów [1,2]. Najprostszym i najbardziej efektywnym rozwiązaniem problemu poprawienia charakterystyki energetycznej budynku jest zwiększenie izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych. W artykule przedstawiono problematykę z jaką zetknięto się podczas prowadzenia prac badawczych dotyczących mikroklimatu w budynkach przedszkolnych poddanych termomodernizacji. W rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki [2] określono ogólne wymagania dotyczące wentylacji, a w normie [3, 4] między innymi dopuszczalną szczelność otwieranych okien i drzwi balkonowych. Wymagania te mają znaczenie nie tylko w przypadku budynków nowo powstałych, ale również poddanych zabiegom termomodernizacyjnym. Działania te są bardzo złożone i obejmują prace z kilku dziedzin budownictwa. Niestety zgodnie z obowiązującymi przepisami [5, 6] niektóre z prac termomodernizacyjnych mogą we własnym zakresie przeprowadzać właściciele obiektów bez wcześniejszych uzgodnień czy pozwoleń. Należy zwrócić również uwagę, że wymagania zawarte w przepisach rozporządzenia [3] dotyczą obiektów nowo powstałych, na co wskazuje umieszczony tam zakres stosowania normy. Natomiast egzekwowanie wspomnianych przepisów prawnych w stosunku do obiektów istniejących jest, z różnych względów, utrudnione. Ponadto nawet najlepiej opracowany projekt systemu wentylacji nie

uwzględnia skrajnych zachowań użytkowników, którzy na etapie eksploatacji, we własnym zakresie, podejmują szereg nieuzasadnionych działań mających, ich zdaniem, ograniczyć koszty ogrzania obiektów. Skutkiem tego są z reguły zaburzenia w działaniu systemu wentylacji grawitacyjnej, a co za tym idzie pogorszenie warunków mikroklimatu wewnętrznego.

## 2. Dwutlenek węgla wskaźnikiem jakości powietrza

Jako wyznacznik jakości powietrza wewnętrznego autorzy prowadzonych obecnie badań wybierają stężenie  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$  oraz obecność pyłów. Jednak najbardziej popularnym wskaźnikiem jakości powietrza wewnętrznego jest stężenie  $\text{CO}_2$ . Związek pomiędzy ilością powietrza wentylacyjnego, a stężeniem dwutlenku węgla wewnątrz pomieszczeń jest od lat powszechnie stosowanym kryterium oceny jakości powietrza [7, 8]. Występujący w typowych warunkach dwutlenek węgla nie jest gazem toksycznym i powoduje on u użytkowników jedynie odczucie mniejszej lub większej świeżości powietrza. W pomieszczeniach zamkniętych obserwuje się zwykle wzrost stężenia dwutlenku węgla w powietrzu pochodzącego ze źródeł zewnętrznych i wewnętrznych. Obecnie jego wartość w powietrzu atmosferycznym waha się w granicach 400 – 600 ppm. Wewnątrz pomieszczeń źródłem dwutlenku węgla są przede wszystkim organizmy żywe i urządzenia gazowe. Jego wydzielanie zależne jest od aktywności organizmu (tab. 1) i może się różnić dla poszczególnych osób w zależności od diety, masy ciała, stanu zdrowotnego organizmu, itp. Oczywiście jest, że stężenie  $\text{CO}_2$  zależne jest od liczby przebywających w pomieszczeniu osób, zbyt małej wymiany powietrza (spadku zawartości tlenu w powietrzu) czy też nasileniu procesów spalania w pomieszczeniu (np.: palenie tytoniu, przygotowywanie posiłków, itp.).

Tabela 1. Emisja  $\text{CO}_2$  dla różnych poziomów aktywności [9]

Rodzaj aktywności	Wydzielanie $\text{CO}_2$	
	[ $\text{dm}^3/\text{s} \cdot \text{os.}$ ]	[ $\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{os.}$ ]
Odpoczynek	0,04	$4 \cdot 10^{-6}$
Lekka praca	$0,006 \div 0,012$	$(6 \div 12) \cdot 10^{-6}$
Praca umiarkowanie ciężka	$0,012 \div 0,020$	$(12 \div 20) \cdot 10^{-6}$
Praca ciężka	$0,020 \div 0,026$	$(20 \div 26) \cdot 10^{-6}$
Praca bardzo ciężka	$0,026 \div 0,032$	$(26 \div 32) \cdot 10^{-6}$

Tabela 2. Oddziaływanie  $\text{CO}_2$  na organizmy ludzkie [10]

Lp.	Stężenie $\text{CO}_2$ w powietrzu [ppm]	Objawy
1	300 ÷ 450	Suche powietrze zewnętrzne
2	1000	Podstawa do ustalenia większości standardów odnośnie ilości powietrza wentylacyjnego dla pojedynczej osoby
3	1550 ÷ 5000	Odczucie wzrastającego zaduchu powietrza
4	5000	Limit wprowadzany na stanowiskach pracy
5	7000 ÷ 10000	Zwiększenie objętości oddechowej
6	15000	Pojawienie się stresów metabolicznych
7	20000	Silnie podwyższona częstość oddechu i silne bóle głowy
8	40000 ÷ 52000	Stężenie dwutlenku węgla występujące w powietrzu bezpośrednio wydychanym z płuc
10	60000 ÷ 80000	Możliwość wystąpienia częściowego paraliżu
11	>80000	Utrata przytomności w ciągu kilku minut.

W tabeli 1 podano ilość wydzielanego dwutlenku węgla w wydychanym powietrzu w zależności od rodzaju aktywności. Należy jednak zaznaczyć, że są to wartości średnie ustalane z reguły dla osób dorosłych. W rozpatrywanych obiektach większość użytkowników stanowiły dzieci, dla których wartości te są zdecydowanie mniejsze. Jednak w literaturze brak jest informacji na ten temat. Bez względu jednak na ilość wydzielanego CO<sub>2</sub> przez dzieci, jego oddziaływanie na nie będzie miało takie same objawy, jak w przypadku osób dorosłych.

Obecne standardy dla jakości powietrza wewnętrznego zakładają dopuszczalny poziom stężenia CO<sub>2</sub> na poziomie 1000 ppm [11, 12], przyjmując go jako wymóg minimum higienicznego. Polskie przepisy prawne nie podają maksymalnego stężenia dwutlenku węgla dla pomieszczeń mieszkalnych oraz budynków użyteczności publicznej. Jednak w normie [13], w zależności od jego stężenia, określone zostały kategorie powietrza wewnętrznego (tabela 3). Norma ta podaje również wymagany minimalny strumień powietrza przypadający na jedną osobę dla każdej kategorii jakości powietrza wewnętrznego.

Tabela 3. Klasyfikacja jakości powietrza wewnętrznego dla pomieszczeń o małej emisyjności zanieczyszczeń z zakazem palenia [13]

Kategoria	Opis jakości powietrza wewnętrznego	Przyrost stężenia CO <sub>2</sub> w stosunku do powietrza zewnętrznego [ppm]	Strumień objętościowy powietrza zewnętrznego [m <sup>3</sup> /h]
IDA 1	Wysoka	< 400	< 54
IDA 2	Średnia	400 ÷ 600	36 ÷ 54
IDA 3	Umiarkowana	600 ÷ 1000	22 ÷ 36
IDA 4	Niska	> 1000	> 22

Warto zaznaczyć, że podany w przepisach rozporządzenia [3] minimalny strumień powietrza zewnętrznego jaki należy doprowadzić do pomieszczenia, określony tam na 30 m<sup>3</sup>/h dla każdej osoby, odpowiada zaledwie kategorii IDA 3, a więc umiarkowanej jakości powietrza wewnętrznego.

### 3. Przedmiot badań

Badania prowadzone były w czterech przedszkolach samorządowych. Obiekty powstały w latach 1978-85 i wykonane zostały w technologii szkieletowej. Wszystkie rozpatrywane budynki wyposażone zostały w system wentylacji grawitacyjnej, a w ostatnich latach poddane zostały zabiegom termomodernizacyjnym. W obiektach tych wymieniona została stolarka okienna i drzwiowa, a ściany zewnętrzne ocieplono styropianem. W trakcie badań powietrze zewnętrzne doprowadzane było do pomieszczeń poprzez nieszczelności w przegrodach zewnętrznych oraz nawiewniki higrosterowalne o wydajności maksymalnej 30 m<sup>3</sup>/h, zainstalowane w ramiakach okien wybranych pomieszczeń.

W trakcie pomiarów prowadzono rejestrację podstawowych czynników opisujących mikroklimat, tj. stężenie dwutlenku węgla, temperaturę oraz wilgotność powietrza. Pomiar prowadzono przy temperaturze powietrza zewnętrznego -10°C ÷ 0°C oraz prędkości wiatru 0 ÷ 5,0 m/s. Dodatkowo w pomieszczeniach z kanałami rejestrowano prędkość oraz kierunek przepływu powietrza poprzez poszczególne kratki wywiewne układu wentylacji grawitacyjnej. Analizowane parametry mierzone były w okresach dwutygodniowych z krokiem pomiarowym wynoszącym 30 minut. Dla każdego rozpatrywanego pomieszczenia przeprowadzono przynajmniej dwie serie pomiarów. Badania prowadzono w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt dzieci, ale również wybiórczo w pomieszczeniach

administracji. W każdym z przedszkoli wytypowano po 4 pomieszczenia przeznaczone dla dzieci w różnym wieku (2 pomieszczenia dla dzieci młodszych oraz 2 dla starszych).

Urządzenia do pomiarów wewnętrznych usytuowano na wysokości  $1,00 \div 1,20$  co miało odpowiadać wysokości głowy dziecka.

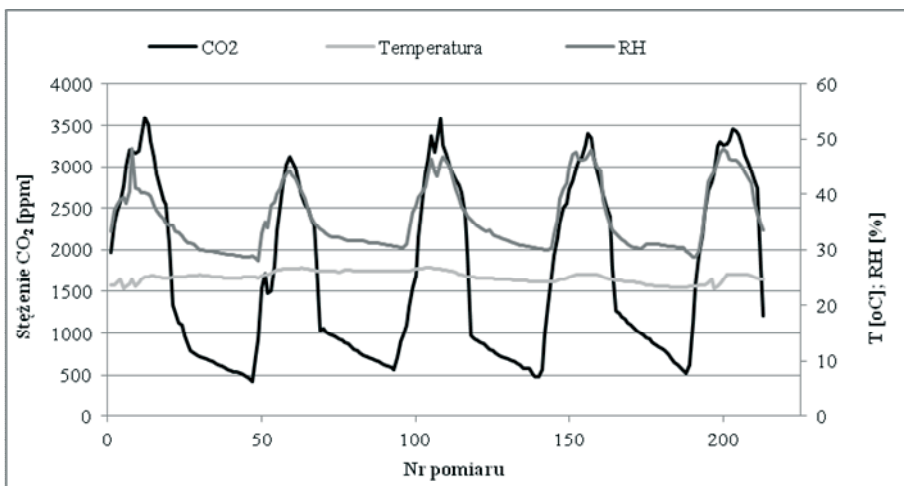
Równoległe z pomiarami wewnętrznymi prowadzono pomiary parametrów opisujących powietrze zewnętrzne z wykorzystaniem automatycznej stacji pogodowej, zainstalowanej na dachu budynku Politechniki Świętokrzyskiej, wspomaganą sondą OAQ. Maksymalna odległość stacji pogodowej od rozpatrywanych obiektów nie przekraczała w linii prostej 6,5 km. Średnie dobowe wartości parametrów powietrza zewnętrznego w analizowanym okresie przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Średnie dobowe wartości parametrów powietrza zewnętrznego w analizowanym okresie

Parametr	Październik	Grudzień	Luty
Temperatura [°C]	8 $\div$ 21	0 $\div$ 9	- 2 $\div$ 7
Wilgotność względna [%]	58 $\div$ 92	70 $\div$ 96	73 $\div$ 86
Ciśnienie atmosferyczne [hPa]	1002 $\div$ 1026	998 $\div$ 1029	1005 $\div$ 1023
Stężenie CO <sub>2</sub>	403 $\div$ 416	429 $\div$ 441	460 $\div$ 483

#### 4. Analiza otrzymanych wyników

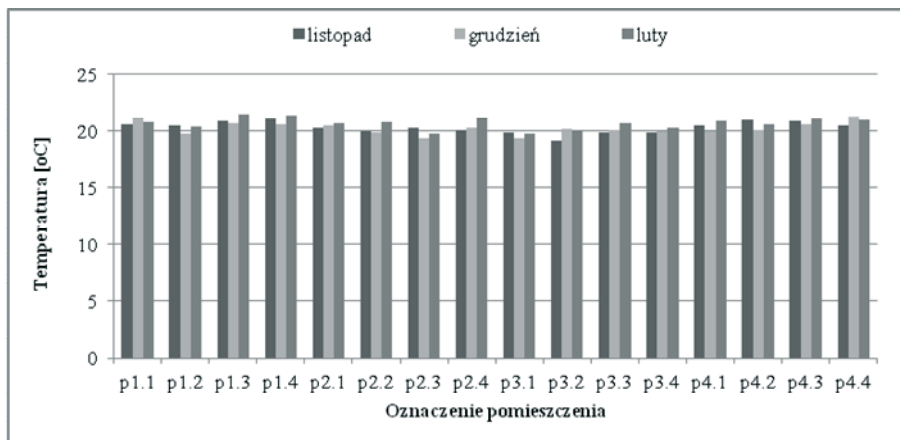
Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że we wszystkich przedszkolach oraz wszystkich analizowanych pomieszczeniach przebieg zmienności parametrów mikroklimatu miał taki sam charakter. Wartości stężenia CO<sub>2</sub> oraz wilgotności względnej wzrastały od momentu rozpoczęcia zajęć w salach i w krótkim czasie osiągały wartości maksymalne, a po całkowitym opuszczeniu pomieszczeń wartości te powoli spadały, aby uzyskać wartości minimalne (rys. 1).



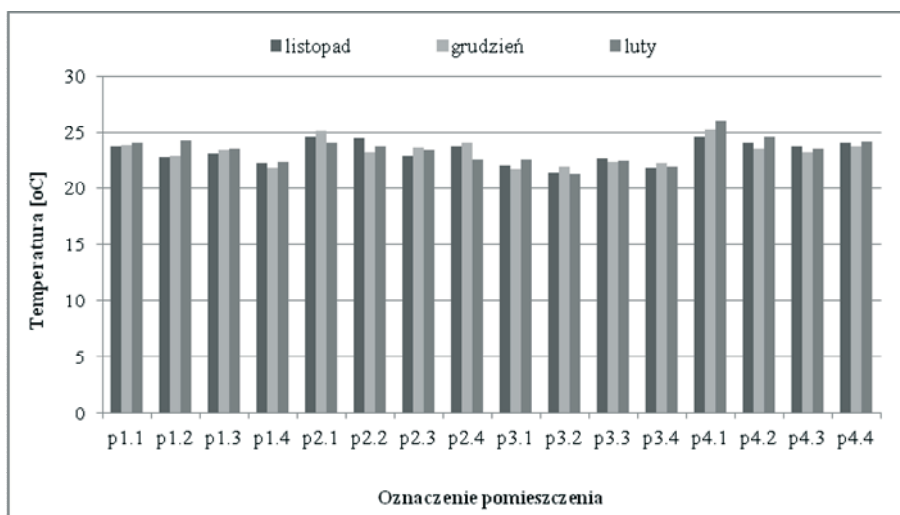
Rys. 1. Przebieg zmienności parametrów powietrza wewnętrznego dla wybranego pomieszczenia w jednym z analizowanych przedszkoli

Odnotowane wartości temperatury wewnętrznej niemal we wszystkich rozpatrywanych pomieszczeniach przekraczały wartości optymalne dla komfortu cieplnego. Maksymalną temperaturę odnotowano w przedszkolu nr 2 i wynosiła ona 26,2°C. Należy jednak zaznaczyć, iż miało to miejsce w trakcie słonecznego dnia w pomieszczeniu o południowej lokalizacji. W pozostałych przypadkach temperatury maksymalne mieściły się w przedziale od 21,3 °C do 25,1 °C. W trakcie korzystania z pomieszczeń temperatury niższe niż 20 °C

zanotowano sporadycznie. Miało to miejsce jedynie po intensywnym i długotrwałym (ponad 30 minut) wietrzeniu. Najniższe wartości temperatury wewnętrznej odnotowano w godzinach nocnych oraz porannych i wynosiły one od 18,9 °C do 21,5 °C. Zarejestrowane wartości minimalne dla poszczególnych przedszkoli (p1÷p4) w rozpatrywanych salach (1÷4) przedstawiono na rys. 2.

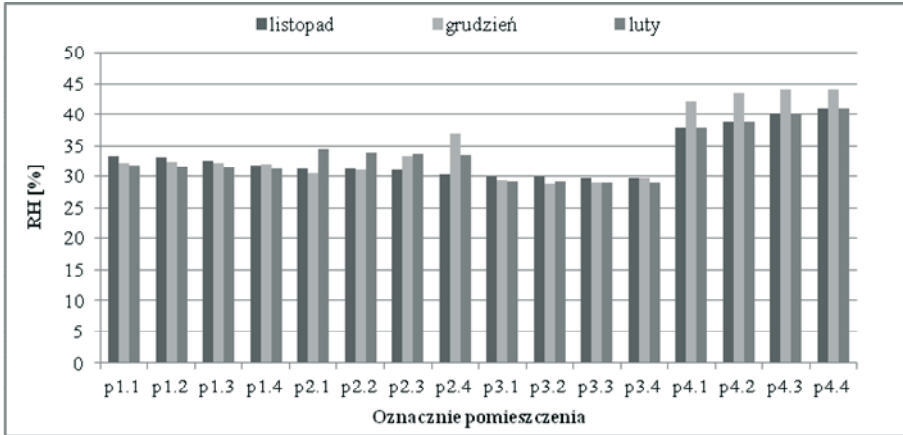


Rys. 2. Minimalne wartości temperatury odnotowane w rozpatrywanych pomieszczeniach (opis w tekście)

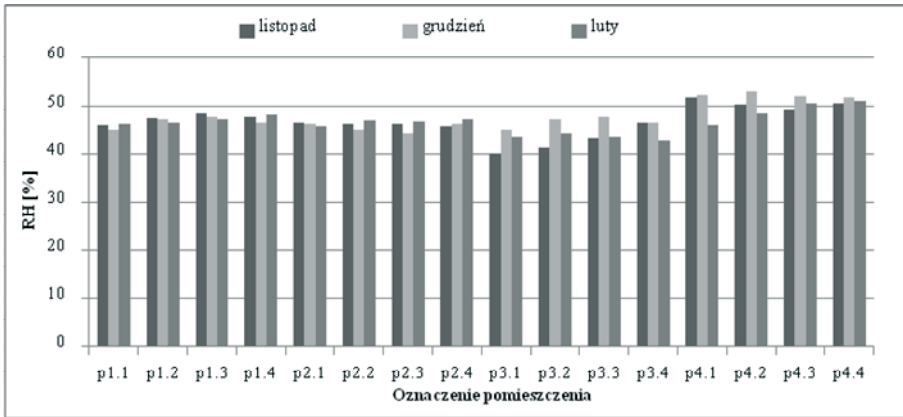


Rys. 3 Maksymalne wartości temperatury odnotowane w rozpatrywanych pomieszczeniach (opis w tekście)

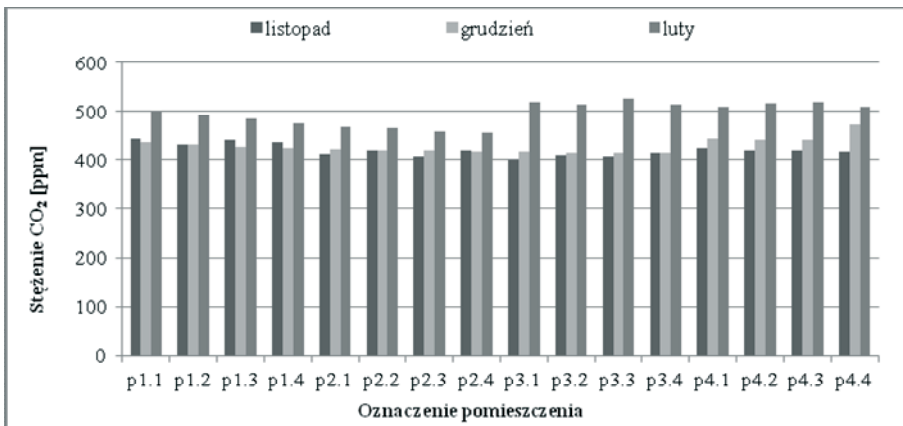
Poza godzinami, w których prowadzone były zajęcia dla dzieci, wartości wilgotności względnej z reguły spadały poniżej 30% (rys. 1), a więc były niższe od zalecanych 40%. Natomiast w trakcie intensywnego korzystania z sal odnotowywano stosunkowo duży i szybki wzrost wartości wilgotności względnej. Mimo wszystko nie przekraczały one i tak maksymalnej dopuszczalnej wartości dla komfortu cieplnego, zalecane w [14]. Minimalne oraz maksymalne wartości dla poszczególnych pomieszczeń w rozpatrywanych przedszkolach przedstawiono na rysunku 4 i 5.



Rys. 4 Minimalne wartości wilgotności względnej w rozpatrywanych pomieszczeniach (opis w tekście)



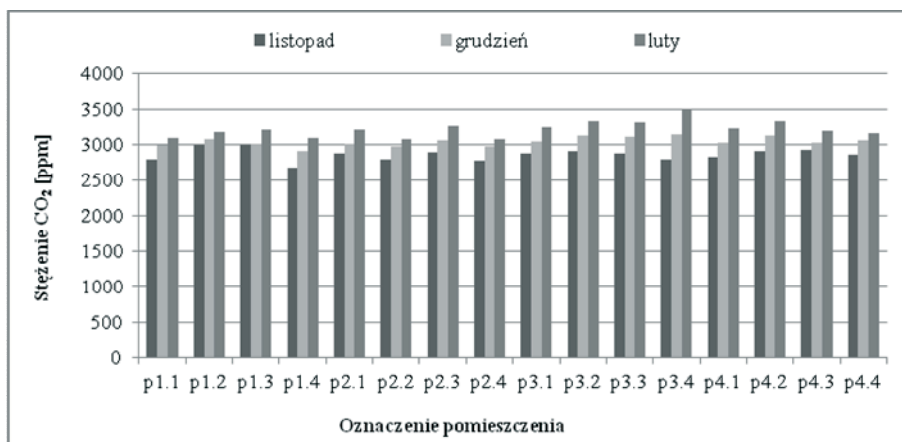
Rys. 5 Maksymalne wartości wilgotności względnej w rozpatrywanych pomieszczeniach (opis w tekście)



Rys. 6 Minimalne wartości stężenia CO<sub>2</sub> w rozpatrywanych pomieszczeniach (opis w tekście)

Najniższe wartości stężenia dwutlenku węgla odnotowano w nocy lub we wczesnych godzinach rannych i wynosiły one od 456 ppm do 527 ppm. Wartości nie przekraczały

zatem zalecanych przez literaturę 1000 ppm. W trakcie dnia stężenie CO<sub>2</sub> wzrastało w szybkim tempie do wartości maksymalnych przekraczających nawet 3000 ppm. Charakterystyczne niewielkie spadki wartości stężenia dwutlenku węgla w trakcie dnia (rys. 1) były wynikiem krótkotrwałego wietrzenia pomieszczeń. Nie miały większego wpływu na poprawę jakości powietrza wewnętrznego, a jedynie chwilowo poprawiały jakość powietrza wewnątrz pomieszczeń.



Rys. 7 Maksymalne wartości stężenia CO<sub>2</sub> w rozpatrywanych pomieszczeniach (opis w tekście)

## 5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można jednoznacznie stwierdzić, że jakość powietrza wewnętrznego w rozpatrywanych przedszkolach jest bardzo niska. Żaden z analizowanych parametrów opisujących tę jakość nie spełnia aktualnych wymagań normowych. Odnotowane wartości stężenia CO<sub>2</sub> przekraczały nawet trzykrotnie maksymalne wartości zalecane. Pomimo, że odnotowane wartości przekroczeń miały charakter chwilowy, to jednak występowały one przez cały okres użytkowania pomieszczeń. Wyniki pomiarów pozwalają zakwalifikować wszystkie badane przedszkola do kategorii IDA 4 jakości powietrza wg PN-EN 13779:2008. Jest to wynikiem niewystarczającej wydajności zastosowanej w obiektach wentylacji grawitacyjnej w okresach intensywnego użytkowania pomieszczeń, a także braku możliwości sterowania systemem wentylacji (okresowego zwiększenia wydajności).

Wyniki przedstawione w publikacji zostały uzyskane w trakcie badań sfinansowanych w ramach Projektu "Perspektywy RSI Świętokrzyskie – IV etap" nr: WND – POKL.08.02.02 – 26 – 001/12 - Program Operacyjny Kapitał Ludzki, Priorytet VIII, Działanie 8.2 Transfer wiedzy, Podziałanie 8.2.2 Regionalne Strategie Innowacji.

## Literatura

- 1 Piotrowski J. Telejko M. Zender-Świercz E., Wpływ szczelnej obudowy na dystrybucję powietrza wentylacyjnego, *Energia i budynek* 7/2010, s. 23-25
- 2 Telejko M., Piotrowski J. Z., Zaburzenia wymiany powietrza w budynkach poddanych termomodernizacji - Fizyka budowli w teorii i praktyce, Sekcja Fizyki Budowli Komitetu Inżynierii Łądowej i Wodnej PAN, Łódź – Słok 2007, s. 291 - 296.

- 3 Dz. U. Nr 75 z 2002 r., poz. 690 z dn. 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z późniejszymi zmianami, z późniejszymi zmianami
- 4 PN-83/B-03430 Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania, PKN, 1983
- 5 PN-83/B-03430:Az03 Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania. Zmiana Az3, PKN, 2000
- 6 Dz. U. Nr 207 poz. 2016 z roku 2003, Ustawa z dn. 7 lipca 1994 Prawo Budowlane, z późniejszymi zmianami.
- 7 Nantka, M.B., Wentylacja w budownictwie ogólnym – przegląd, działanie, problemy i mity, Materiały Forum Instalacyjnego, Poznań 2004
- 8 Nowakowski, E., Problemy z wentylacją grawitacyjną pomieszczeń, Rynek Instalacyjny 9/02, s. 58-62
- 9 Nantka M.B., Naturalna wymiana powietrza a szczelność mieszkań, Forum Wentylacja 2005, Warszawa 2005
- 10 Sowa, J., Proces migracji zanieczyszczeń w warunkach stochastycznych zakłóceń, Praca doktorska, Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1995
- 11 WHO Regional Office for Europe (2000), Air Quality Guidelines for Europe, SE 2000, Copenhagen, European Series, No. 91
- 12 ASHRAE 62-1989 Ventilation for acceptable Indoor Air Quality.
- 13 PN-EN 13779:2008 Wentylacja budynków niemieszkalnych – Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji, PKN 2008
- 14 EN ISO 7730:2006, Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD, PKN 2006

## Indoor air quality in a preschool

Marek Telejko

*Department of Building Engineering Technologies and Organization, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology, e-mail: mtelejko@tu.kielce.pl*

**Abstract:** The article presents the results of indoor air quality (IAQ) assessment in four local preschools. The natural ventilation system was used in the buildings. Outdoor air was supplied to the premises through a leak in the external walls and air intakes were of maximum efficiency of 30 m<sup>3</sup>/h. Parameters describing IAQ were measured, such as: temperature, relative humidity and carbon dioxide concentration. Two series of studies were performed in each preschool. On the basis of the survey, it can be clearly stated that the indoor air quality in preschools is considered to be very low very low. All the analyzed parameters describing the quality do not meet the current legal requirements. Reported values of CO<sub>2</sub> concentration exceeded three times the value set of the recommended maximum.

**Keywords:** building physics, ventilation, air exchange, indoor air quality, preschool building