

## KORELACJA WILGOTNOŚCI I STĘŻENIA DWUTLENKU WĘGLA W PRZEDSZKOLACH

Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK\*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** Przedszkola pod względem jakości powietrza wewnętrznego bywają często zaniedbywane. Na całym świecie są przedszkola nieposiadające wentylacji mechanicznej, natomiast mają różnie zorganizowaną wentylację naturalną. Na jakość wentylacji naturalnej duży wpływ ma izolacyjność ścian zewnętrznych. Wentylacja naturalna obiektu może być zaburzona w wyniku przeprowadzenia termomodernizacji ścian, ponieważ może być zmniejszona infiltracja powietrza. Problem ten badano w trzech białostockich przedszkolach o różnej izolacyjności ścian zewnętrznych. Na podstawie wyników pomiarów wykonano analizę korelacji wilgotności względnej powietrza i stężenia CO<sub>2</sub>, która może być przydatna do sterowania wentylacją naturalną.

*Słowa kluczowe:* wilgotność powietrza, stężenie dwutlenku węgla, jakość powietrza wewnętrznego, wentylacja, wentylacja naturalna.

### 1. Wprowadzenie

Aby określić jakość powietrza w pomieszczeniach zamkniętych badane są związki NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> oraz zawartość pyłów; czasem określany jest poziom CO (Kemp i in., 2002; Siskos i in., 2001). Badania dotyczące stężenia CO<sub>2</sub> opisano w wielu opracowaniach między innymi (Demianiuk i in., 2010, Gładyszewska-Fiedoruk, 2009; Santamouris i in., 2008). W budynkach dydaktycznych, jako wyznacznik jakości powietrza, często mierzony jest poziom CO<sub>2</sub>. Dwutlenek węgla brany jest pod uwagę także przy określaniu wzrostu i żywotności mikroorganizmów (Kemp i in., 2002).

Pomiary wykonywano przy różnych systemach wentylacji mechanicznej i naturalnej w celu określenia korelacji CO<sub>2</sub> i wilgotności względnej powietrza w warunkach lokalnych. Przy stosowaniu wentylacji mechanicznej nie można określić takiej korelacji (Demianiuk i in., 2010; Gładyszewska-Fiedoruk, 2009). Obserwuje się ją jedynie, gdy jest tylko wentylacja naturalna.

Każda termomodernizacja ma olbrzymi wpływ na jakość powietrza wewnętrznego.

Podstawową wentylacją w przedszkolach jest wentylacja grawitacyjna kanałowa. Aby działała ona prawidłowo musi być do pomieszczenia doprowadzone powietrze zewnętrzne. Wentylacja grawitacyjna kanałowa pracuje na zasadzie różnicy ciśnień na wlocie i wylocie

kanału (tworzy się tak zwany ciąg kominowy) spowodowany różnicą gęstości powietrza, która wywołana jest różnicą temperatury powietrza na wlocie i wylocie z kanału.

Wentylacja grawitacyjna w pomieszczeniach przedszkolnych w porównaniu z wentylacją mechaniczną ma zarówno wiele zalet jak i wady. Do najważniejszych jej zalet należy zaliczyć:

- niski koszt inwestycji,
- niski koszt eksploatacji (zerowy),
- bezgłośną pracę.

Natomiast główną wadą wentylacji grawitacyjnej jest zależność od warunków pogodowych, co może być przyczyną zaburzeń w pracy wentylacji lub może wywołać okresowe przerwy w jej działaniu.

Otwarte lub rozszczelnione okna są również uzupełnieniem wentylacji grawitacyjnej kanałowej. Jest to wentylacja naturalna – wietrzenie pomieszczeń. Poza dostarczeniem powietrza do pomieszczenia jej zadaniem jest również wymiana powietrza. Problemy powstają, gdy nie można otworzyć okien – podczas opadów deszczu, silnego wiatru lub mrozu a także wysokiej temperatury powietrza zewnętrznego. Przystaje wówczas działać wentylacja grawitacyjna kanałowa, pozostaje infiltracja, czyli wentylacja grawitacyjna, która działa bardzo słabo. W sali przedszkolnej, gdzie przebywa około 20 dzieci i dwóch opiekunów, szybko pogarsza się jakość powietrza wewnętrznego.

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: k.gladyszewska@pb.edu.pl

Źle działająca wentylacja grawitacyjna powoduje również wzrost wilgoci w pomieszczeniach. W sezonach przejściowych wilgość ma wpływ na niszczenie budynku i jego wyposażenia oraz stwarza dobre środowisko do rozwoju wszelkich mikroorganizmów, w tym grzybów i drobnoustrojów chorobotwórczych.

## 2. Opis badanych przedszkoli

Analizowane przedszkola znajdują się w Białymstoku, w północno-wschodniej Polsce, we wschodniej Europie, w klimacie umiarkowanym.

Przedszkole numer 1 jest budynkiem wolno stojącym zbudowanym w latach 50 ubiegłego stulecia. Przedszkole to nie było termomodernizowane. Jest to przedszkole bardzo małe, do którego uczęszcza 45 dzieci (rys. 1). Przebadano wszystkie pomieszczenia przedszkola.



Rys. 1. Przedszkole numer 1

Przedszkole numer 2 jest budynkiem wolno stojącym. Termomodernizację przeprowadzono w 2008; wraz z termomodernizacją zmodernizowano układ wentylacyjny. Jest to małe przedszkole, do którego uczęszcza 100 dzieci (rys. 2). Przebadano te pomieszczenia, w których przebywają dzieci.



Rys. 2. Przedszkole numer 2

Przedszkole numer 3 jest to budynek wolno stojący. Termomodernizacja została zakończona w 2007 roku. Przy wykonywaniu termomodernizacji nie przeprowadzono modernizacji układu wentylacyjnego obiektu. Jest to przedszkole duże, do którego uczęszcza 150 dzieci (rys. 3). Przebadano pomieszczenia, w których przebywają dzieci.



Rys. 3. Przedszkole numer 3

Dane techniczne badanych przedszkoli zebrano w tabeli 1.

Tabela 1. Dane techniczne badanych przedszkoli

Przedszkole		1	2	3
Powierzchnia okien	m <sup>2</sup>	40,4	163,78	311,87
Całkowita powierzchnia budynku	m <sup>2</sup>	170	654	845
Powierzchnia okna odniesiona do powierzchni ściany	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0,24	0,25	0,37
Powierzchnia okna odniesiona do powierzchni pomieszczenia	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0,31-0,39	0,30-0,41	0,29-0,49
Współczynnik przenikania ciepła U	W/m <sup>2</sup> K	2,2	1,5	1,7

## 3. Opis badań

Badania jakości powietrza w przedszkolach wykonano o tej samej porze dnia i w podobnych warunkach, biorąc pod uwagę liczbę dzieci i czas, a także temperaturę zewnętrzną i wilgotność powietrza zewnętrznego – gdy powtarzano serie pomiarowe. Wykonano pomiary parametrów powietrza wewnętrznego (temperatury, wilgotności względnej i stężenia CO<sub>2</sub>) przed przyjściem dzieci i personelu do przedszkola (w godzinach

5.30-6.50) i po zakończeniu wszystkich zajęć (w godzinach 14.30-16.00).

Badania wykonano jesienią – we wrześniu – przed włączeniem centralnego ogrzewania oraz w listopadzie, gdy ogrzewanie pracuje bez przerwy, a okna są przez większą część dnia rozszczelnione i otwierane na około 15-20 minut. Badania powtórzono w lutym, gdy wietrzyenie pomieszczeń było bardzo okazjonalne. Po pierwszej serii badań poinformowano personel przedszkoli o ich wynikach i zasugerowano doprowadzenie do pomieszczeń powietrza zewnętrznego przez stałe rozszczelnienie okien.

Pomiary zostały wykonane we wszystkich salach na wysokości głowy dziecka (około 1,00-1,10 m od powierzchni podłogi). Wszystkie pomiary prowadzono miernikiem testo435-4. Wykonano pomiary temperatury w zakresie od 0 do +50 °C ±0,3°C, pomiary wilgotności względnej w zakresie od +2 do +98 %RH ±2 %RH, pomiary stężenia dwutlenku węgla w zakresie od +0 do +10000 ppm CO<sub>2</sub> ±100 ppm CO<sub>2</sub> ±3% oraz pomiary ciśnienia atmosferycznego w zakresie od +600 do +1150 hPa ±5 hPa. Pomiary wykonano przy wartościach parametrów powietrza zewnętrznego zamieszczonych w tabeli 2. Wartości parametrów powietrza wewnętrznego zamieszczono w pracy Gładyszewskiej-Fiedoruk (2011).

#### 4. Wyniki badań i omówienie wyników pomiarów

Na podstawie wyników pomiarów parametrów powietrza wewnętrznego w przedszkolach opracowano korelację wilgotności względnej powietrza i stężenia CO<sub>2</sub> za pomocą programu komputerowego Excel.

W każdym przedszkolu, w każdym miesiącu, rano i po południu wykonano 3 serie badań. W sumie wykonano następującą liczbę pomiarów:

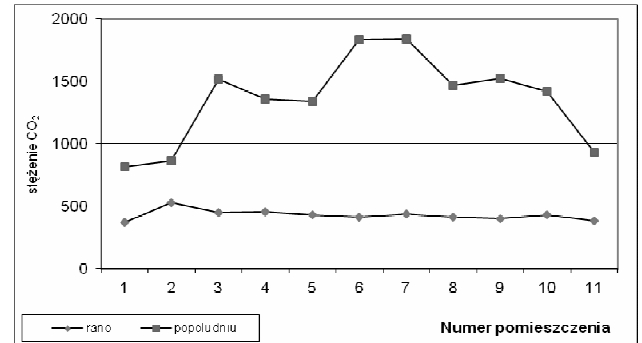
- w przedszkolu nr 1: 13 pomieszczeń x 3 pomiary x 2 pory dnia = 78,
- w przedszkolu nr 2: 7 pomieszczeń x 3 pomiary x 2 pory dnia = 42,
- w przedszkolu nr 3: 11 pomieszczeń x 3 pomiary x 2 pory dnia = 66.

Zmienne do opracowania korelacji obliczono jako średnie z 3 pomiarów w każdym pomieszczeniu. Korelację tę dla różnych przedszkoli przedstawia tabela 3. Na podstawie pracy (Sobczyk, 2007) przyjęto następującą siłę związków korelacyjnych:

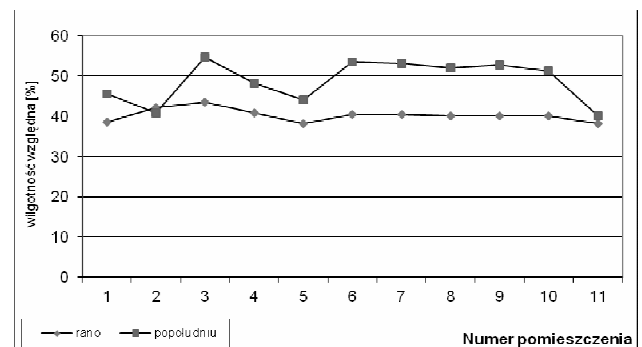
- poniżej 0,2 – korelacja słaba (praktycznie brak związku),

- 0,2-0,4 – korelacja niska (zależność wyraźna),
- 0,4-0,6 – korelacja umiarkowana (zależność istotna),
- 0,6-0,8 – korelacja wysoka (zależność znaczna),
- 0,8-0,9 – korelacja bardzo wysoka (zależność bardzo duża),
- 0,9-1,0 – zależność praktycznie pełna.

Średnie wartości pomiarowe stężenia CO<sub>2</sub> i wilgotności względnej w przedszkolu numer 3 w lutym, użyte do opracowania korelacji, przedstawiają rysunki 4 i 5.



Rys. 4. Średnie wartości stężenia CO<sub>2</sub> w pomieszczeniach przedszkola numer 3



Rys. 5. Średnie wartości wilgotności względnej w pomieszczeniach przedszkola numer 3

Analizując dane z tabeli 2, należy stwierdzić, że podczas pomiarów temperatura powietrza zewnętrznego wzrosła o 5,2 °C, natomiast stężenie dwutlenku węgla w powietrzu zewnętrznym spadło o 45 ppm. Już przy tak małym wzroście temperatury można zaobserwować spadek stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu zewnętrznym. Na zjawisko to ma wpływ zmniejszenie ogrzewania budynków, a za tym idzie mniejsza emisja dwutlenku węgla do atmosfery.

Tab. 2. Parametry powietrza zewnętrznego

Parametr	Jednostka	Wrzesień		Listopad		Luty	
Godzina pomiaru	godzina	6:50	16:00	6:50	15:30	7:00	15:15
Temperatura	°C	8,4	13,6	3,1	2,6	-0,5	0,2
Wilgotność	%	89,5	70,3	86,4	83,5	88,3	86,2
Ciśnienie atmosferyczne	Pa	1006	1006	972,3	970,9	1006,4	1007,2
Stężenie CO <sub>2</sub>	ppm	408	363	450	444	480	460

Tabela 3. Korelacje między wilgotnością względną powietrza (oznaczoną jako y), a stężeniem CO<sub>2</sub> (oznaczonym jako x).

Przedszkole nr 1						
Pora dnia	Rano			Po południu		
Miesiąc	Równanie regresji prostej	Współczynnik korelacji	Siła związków korelacyjnych	Równanie regresji prostej	Współczynnik korelacji	Siła związków korelacyjnych
Wrzesień	$y = 14,92x + 721,27$	0,93	praktycznie pełna	$y = 47,76x + 1921,3$	0,96	praktycznie pełna
Listopad	$y = 6,33x + 476,08$	0,89	bardzo wysoka	$y = 70,00x + 2066$	0,93	praktycznie pełna
Luty	$y = 7,81x + 522,65$	0,92	praktycznie pełna	$y = 61,54x + 1532,5$	0,91	praktycznie pełna
Przedszkole nr 2						
Pora dnia	Rano			Po południu		
Miesiąc	Równanie regresji prostej	Współczynnik korelacji	Siła związków korelacyjnych	Równanie regresji prostej	Współczynnik korelacji	Siła związków korelacyjnych
Wrzesień	$y = 24,32x + 352,86$	0,86	bardzo wysoka	$y = 206,96x + 461,57$	0,97	praktycznie pełna
Listopad	$y = 42,96x + 337,71$	0,94	praktycznie pełna	$y = 58,36x + 704,43$	0,94	praktycznie pełna
Luty	$y = 30,36x + 373,71$	0,89	bardzo wysoka	$y = 75,32x + 470,71$	0,94	praktycznie pełna
Przedszkole nr 3						
Pora dnia	Rano			Po południu		
Miesiąc	Równanie regresji prostej	Współczynnik korelacji	Siła związków korelacyjnych	Równanie regresji prostej	Współczynnik korelacji	Siła związków korelacyjnych
Wrzesień	$y = 11,97x + 336,16$	0,52	umiarkowana (zależność istotna)	$y = 98,49x + 732,6$	0,87	bardzo wysoka
Listopad	$y = 11,63x + 357,96$	0,85	bardzo wysoka	$y = 102,25x + 741,98$	0,92	praktycznie pełna
Luty	$y = 13,36x + 375,09$	0,86	bardzo wysoka	$y = 93,92x + 612,67$	0,93	praktycznie pełna

Parametrami określającymi stan powietrza w pomieszczeniu według PN-EN 13779: 2008 *Wentylacja budynków niemieszkalnych. Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji* są temperatura i wilgotność. W badanych przedszkolach temperatury powietrza w pomieszczeniach, z małymi wyjątkami, były zróżnicowane, ale mieściły się w granicach normy. Natomiast w listopadzie i lutym wilgotność powietrza w pomieszczeniach budynków po termomodernizacji była poniżej zalecanych wartości. Powietrze w pomieszczeniach było suche. Przedszkole nie poddane termomodernizacji, bez względu na porę roku, miało wartości wilgotności względnej w granicach norm PN-EN 13779: 2008, prEN 13465 *Wentylacja budynków – Metody obliczeniowe do określenia przepływów powietrza w pomieszczeniach*, prEN 13465 (N453): 2003 *Calculation Methods – What we can use in existing EN and ISO standards. Need for further development.*

Analizując dane z tabeli 3 należy zauważyć, że w 11 przypadkach (co stanowi 61 % opracowanych zależności) korelacja jest praktycznie pełna, a 6 przypadkach (co stanowi 33%) korelacja jest bardzo wysoka. Tylko jedną zależność (co stanowi 6%) wykazuje korelację umiarkowaną.

Podobieństwa przebiegów wykresów obu badanych parametrów ilustrują rysunki 4 i 5. Zjawisko to jest związane z fizjologią człowieka, który oddychając wydziela parę wodną i CO<sub>2</sub>. Wartości te w powietrzu wewnętrznym powinny być z założenia skorelowane w pomieszczeniach, gdzie jest tylko wentylacja naturalna. W badanych przedszkolach jedyną wentylacją była wentylacja naturalna, lecz o różnej intensywności w zależności od jakości termomodernizacji, co można zaobserwować analizując siłę związków korelacyjnych w tabeli 3.

## 5. Podsumowanie

Literatura na temat badań jakości powietrza wewnętrznego w przedszkolach jest nieliczna (Gładyszewska-Fiedoruk, 2010 i 2011). Badania parametrów powietrza wewnętrznego w przedszkolach są na etapie początkowym, podobnie jak badania skuteczności wentylacji naturalnej będącej podstawową wentylacją w obiektach przedszkolnych w Polsce i na świecie. Badane są również możliwości poprawy jej działania.

Badania własne Autorki dotyczące jakości powietrza wewnętrznego w przedszkolach prowadzono przez trzy lata. Na wstępie wykonano badania w 9 różnych przedszkolach, z których wytypowano 3 przedszkola do dalszych kompleksowych badań. Wyniki tych badań zaprezentowano w artykule.

W podsumowaniu można stwierdzić, że wentylacją naturalną można sterować, w inny sposób niż to się odbywa aktualnie. Wprawdzie wilgotność jest skorelowana z CO<sub>2</sub>, lecz do sterowania wentylacją naturalną lepszy byłby czujnik CO<sub>2</sub>, niż czujnik wilgotności względnej, który nie spełnia swojej funkcji

w sezonie grzewczym. Zimą powietrze w pomieszczeniach jest suche i powoduje doprowadzenie do pomieszczenia zbyt małej ilości powietrza wentylacyjnego.

## Literatura

- Demianiuk A., Gładyszewska-Fiedoruk K., Gajewski A., Ołów A. (2010). The changes of carbon dioxide concentration in a cinema auditorium. *Civil And Environmental Engineering*, 2/2010, 105-110.
- Gładyszewska-Fiedoruk K. (2009). Badania stężenia dwutlenku węgla w sali dydaktycznej. *Cieplownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, 5/2009, 39-41.
- Gładyszewska-Fiedoruk K. (2010). Analiza stanu środowiska wewnętrznego w wybranych przedszkolach ze szczególnym uwzględnieniem dwutlenku węgla. *Cieplownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, 2/2010, 28-30.
- Gładyszewska-Fiedoruk K. (2011). Analysis of stack ventilation system effectiveness in an average kindergarten in north-eastern Poland. *Energy and Buildings*, Vol. 43, No. 9, 2488-2493.
- Kemp P.C., Neumeister-Kemp H.G., Koch C., Lysek G., Murray F. (2002). Determining the Growth and Vitality of Micro-Organisms in Carpets and Mattresses in Non-Problem Dwellings by Measuring CO<sub>2</sub> Released during Respiration. *Indoor and Built Environment*, Vol. 11, No. 4, 214-220.
- Santamouris M., Synnefa A., Assimakopoulos M., Livada I., Pavlou K., Papaglastra M., Gaitani N., Kolokotsa D., Assimakopoulos V. (2008). Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide concentration in classrooms with intermittent natural ventilation. *Energy and Buildings*, Vol. 40, No. 10, 1833-1843.
- Siskos P. A., Bouba K. E., Stroubou A. P. (2001). Determination of Selected Pollutants and Measurement of Physical Parameters for the Evaluation of Indoor Air Quality in School Buildings in Athens, Greece. *Indoor and Built Environment*, Vol. 5, No. 10, 185-192.
- Sobczyk M. (2007). *Statystyka*, PWN, Warszawa.

## CORRELATION OF HUMIDITY AND CO<sub>2</sub> CONCENTRATION IN KINDERGARTENS

**Abstract:** Kindergarten is an institution in which children commence their education process, and the education has a group character. As far as the quality of indoor air is concerned, kindergartens have been often neglected. In countries all over the world there are kindergartens which make use of different kinds of natural ventilation, and do not possess any mechanical ventilation systems. The research presented in this study was conducted in three kindergartens which varied in terms of their exterior wall insulation. The three considered objects were localised in eastern Europe, in the temperate zone. Relying on the obtained measurement results, analysis of correlation between humidity and CO<sub>2</sub> concentration could be conducted. Nearly complete correlation was observed in 61% of the measurements. This fact may constitute a solid basis for the control of natural ventilation.

Praca finansowana w ramach prac statutowych Politechniki Białostockiej S/WBIŚ/5/2011.

