

JAKOŚĆ POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO W TYPOWYM PRZEDSZKOLU W BIAŁYMSTOKU

Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK*

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

Streszczenie: W przedszkolach dzieci spędzają od pięciu do dziesięciu godzin dziennie, dlatego ważna jest jakość powietrza w pomieszczeniach. Najczęściej stosowanym systemem wentylacji w przedszkolach jest wentylacja naturalna, a dokładniej wentylacja grawitacyjna kanałowa wspomaganą okresowym wietrzeniem. W badanym przedszkolu stężenie dwutlenku węgla rano nie przekracza dopuszczalnych norm. Po południu stężenia dwutlenku węgla znacznie przekraczają normy – maksymalnie o 97%. Temperatura i wilgotność powietrza są w granicach normy. Rozszczelniając lub otwierając okna doprowadzamy do pomieszczeń powietrze zewnętrzne i poprawiamy w ten sposób działanie wentylacji grawitacyjnej, a przez to poprawiamy jakość powietrza wewnętrznego.

Słowa kluczowe: stężenie dwutlenku węgla, jakość powietrza wewnętrznego.

1. Wprowadzenie

Przedszkole jest pierwszym – zbiorowym stopniem edukacji człowieka. Pod względem jakości powietrza wewnętrznego jest bardzo zaniedbywane przez inwestorów – najczęściej władze miejskie, lub inwestorów indywidualnych, a najbardziej przez ustawodawstwo. Nie tylko w Polsce, ale też we wszystkich krajach Europy są przedszkola nie posiadające wentylacji mechanicznej, z różnie zorganizowaną wentylacją naturalną.

Generalnie podejście do wentylacji w przedszkolach jest takie: „Może zamiast wentylacji wystarczy w salce, gdzie jest pięcioro dzieci, otworzyć okno” – mówi Monika Ebert z Mazowieckich Małych Przedszkoli. Nie, nie wystarczy otworzyć okna, choć można w ten sposób wspomagać wentylację naturalną. Otwieranie okien w szczególności w sezonie grzewczym jest problematyczne, ponieważ jest zależne od indywidualnych odczuć osoby o tym decydującej.

Powietrze jest elementem środowiska wewnętrznego. Środowisko wewnętrzne stanowią również mikroorganizmy i skład chemiczny środowiska, pyły, oświetlenie, hałas i wiele innych czynników, które nie były tematem zainteresowań.

Jakość powietrza wewnętrznego każdy badacz pojmuje inaczej. W pomieszczeniach wewnętrznych badane są związki NO₂, SO₂, O₃ oraz pyły (Lee i Chang, 2000; Marr i in., 2007; Stranger i in., 2007, Stranger i in., 2009) czasem określany jest poziom CO (Stranger i in., 2007; Sung-Ok Baek i in., 1997). Badania dotyczące stężenia CO₂ znajdują się w wielu opracowaniach

(Gładyszewska-Fiedoruk, 2007 i 2010; Helmis i in., 2007, Nauk i Huang, 2004, Sung-Ok Baek i in., 1997). W budynkach dydaktycznych, najczęściej są to klasy szkolne, często mierzony jest poziom CO₂ jako wyznacznik jakości powietrza (Demianowicz, 2004; Lee i Chang, 2000; Wargocki, 2009).

1.1. Mikroklimat pomieszczeń

Oceniając jakość powietrza w pomieszczeniu, zauważamy tylko temperaturę i wilgotność powietrza, czasem jego prędkość. Gdy warunki są zadawalające mówimy o komforcie cieplnym pomieszczenia.

Zalecane wartości parametrów cieplno-wilgotnościowych w pomieszczeniach gwarantujące odczucie komfortu cieplnego przez ludzi (Recknagel i in., 1999; PN-85/N-08011 *Ergonomia. Środowiska gorące. Wyznaczanie obciążeń termicznych działających na człowieka w środowisku pracy, oparte na wskaźniku WBGT*) wynoszą:

- temperatura powietrza 20-26°C;
- prędkość powietrza w strefie przebywania ludzi 0,15-0,2 m/s, latem nawet do 0,6 m/s;
- wilgotność względna powietrza przy zalecanej temperaturze 40-60% maksymalnie do 80%;
- średnia temperatura promieniowania cieplnego pomieszczenia utożsamiana z temperaturą zewnętrznych przegród budowlanych powinna być o 2-3° mniejsza niż temperatura otoczenia.

Dane dotyczące optymalnych warunków w pomieszczeniach precyzuje tabela 1 w zależności

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

od aktywności fizycznej osób w danym pomieszczeniu (Recknagel i in., 1999; PN-83/B-03430 (wraz ze zmianą A3:2000) *Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania*; PN-85/N-08009 *Ergonomia. Środowiska zimne. Metoda oceny ujemnego obciążenia termicznego, oparta na wskaźnikach WCI iIRQ*; PN-85/N-08011).

W salach przedszkolnych aktywność dzieci jest różna w zależności od pory dnia i nie można na stałe określić parametrów powietrza wewnętrznego. We wszystkich przedszkolach zajęcia przebiegają w podobny sposób. Dzieci do śniadania zajmują się spokojną zabawą, po śniadaniu są intensywniejsze zabawy (większa aktywność) lub nauka (mała aktywność). Najmniejsze dzieci po obiedzie idą spać, a starsze dzieci idą na podwórko, uczą się, mają zorganizowane spokojne zabawy. W tym czasie we wszystkich grupach jest mała aktywność fizyczna dzieci. Po podwieczorku znów jest pełna różnorodność zajęć. Wprawdzie nie ma już nauki, ale są zabawy spokojne lub intensywne i nie ma tu żadnej reguły. Podsumowując: określona aktywność może być tylko przed śniadaniem i w porze drzemki najmniejszych dzieci. Aktywność dzieci nie zawsze pokrywa się z aktywnością opiekunów. Najczęściej jednak aktywność dzieci i opiekuna jest zbliżona.

Człowiek dorosły potrzebuje według różnych danych 20-25 m³/h powietrza do oddychania (PN-83/B-03430; PN-EN 13779: 2008 *Wentylacja budynków niemieszkalnych. Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji*). A dzieci są jedną wielką niewiadomą. Można powiedzieć, że dziecko potrzebuje średnio 10-20 m³/h powietrza do oddychania, ale jest bardzo duża rozbieżność w potrzebach dzieci (zależnie od aktywności, temperatury i wilgotności oraz wieku dziecka).

Człowiek ma zdolności adaptacyjne, które pozwalają mu dostosować się do warunków powietrza w pomieszczeniu. Zdolności te są ograniczone jednak przez zakres komfortu cieplnego, w obrębie którego czuje się najlepiej.

Przy mikroklimacie i komforcie cieplnym nie mówimy najczęściej o stężeniu dwutlenku węgla w pomieszczeniu. Można go wprawdzie zaliczyć do czynników czystości powietrza, niemniej człowiek nie wyposażony w aparaturę pomiarową nie odczuje tego zanieczyszczenia.

1.2. Dwutlenek węgla

Powietrze atmosferyczne, którym oddychamy jest mieszaniną azotu i tlenu. Azot stanowi 78%, a tlen 21% objętości powietrza. W pozostałym – 1% mieszczą się dwutlenek węgla, para wodna, argon i inne gazy takie jak hel, neon, krypton, ksenon, wodór. Najważniejszym składnikiem powietrza jest tlen. Jego ilość może spaść z 21% do 16% bez odczuwalnego pogorszenia samopoczucia ludzi. Azot w normalnych warunkach jest obojętny dla organizmu ludzkiego, gdyż nie bierze udziału w procesach biologicznych człowieka.

Dwutlenek węgla jest gazem bezbarwnym i bezwonym. Zawartość dwutlenku węgla w pomieszczeniach, w których przebywa człowiek jest większa niż w powietrzu atmosferycznym, ponieważ wydychane przez ludzi powietrze zawiera około 4% tego gazu (Demianowicz, 2004).

Niewielkie stężenie dwutlenku węgla w powietrzu jest naturalne. Zbyt duże jego stężenie w pomieszczeniu powoduje złe samopoczucie, którego objawami są: bóle i zawroty głowy, mdłości, podrażnienie oczu, przekrwienia spojówek i nadwrażliwość na światło, szum w uszach, zmęczenie, zaburzenia postrzegania i trudności z koncentracją, tachykardia, nadmierna potliwość.

Dopuszczalne stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniach zamkniętych wynosi 1000 ppm. Jest to wymóg minimum higienicznego zalecanego przez WHO (2000) oraz ASHRAE 62-1989 *Ventilation for acceptable Indoor Air Quality*. Niemiecka norma DIN 1946-2 (1994) *Ventilation and air conditioning; technical health requirements* jako wymóg minimum higienicznego podaje wartość 1500 ppm.

Obowiązującą obecnie, w Polsce i wielu innych krajach Unii Europejskiej, klasyfikację jakości powietrza wewnętrznego podaje PN-EN 13779:2008. Zostały wprowadzone cztery główne kategorie jakości powietrza wewnętrznego, którym odpowiada odpowiednie stężenie dwutlenku węgla. Norma ta podaje również minimalny strumień powietrza wentylacyjnego przypadający na jedną osobę. W tabeli 2 podano wartość strumienia powietrza przypadającą na jedną osobę w pomieszczeniach z zakazem palenia tytoniu w budynkach o niskiej emisyjności zanieczyszczeń, uwzględniające metabolizm ludzki, czyli takich jak przedszkola.

Tab. 1. Warunki komfortu cieplnego w pomieszczeniach (Recknagel i in., 1999; PN-83/B-03430; PN-85/N-08009; PN-85/N-08011)

Aktywność fizyczna	Zima			Lato		
	Temperatura	Optymalna wilgotność względna	Prędkość powietrza maks.	Temperatura	Optymalna wilgotność względna	Prędkość powietrza maks.
	°C	%	m/s	°C	%	m/s
Mała	20-22		0,2	23-26	40-55	0,3
Średnia	18-20	40-60	0,2	20-23	40-65	0,4
Duża	15-18		0,3	18-21	40-70	0,6

Tab. 2. Klasyfikacja jakości powietrza wewnętrznego (PN-EN 13779:2008)

Kategoria	Opis	Przyrost stężenia CO ₂ w stosunku do stężenia CO ₂ w powietrzu zewnętrznym	Strumień objętości powietrza zewnętrznego na jedną osobę
		ppm	m ³ /h
IDA 1	wysoka jakość powietrza wewnętrznego	poniżej 400	powyżej 54
IDA 2	średnia jakość powietrza wewnętrznego	400-600	36-54
IDA 3	umiarkowana jakość powietrza wewnętrznego	600-1000	22-36
IDA 4	niska jakość powietrza wewnętrznego	powyżej 1000	poniżej 22

2. Opis przedszkola

Najczęstszym problemem w utrzymaniu dobrej jakości powietrza wewnętrznego jest reakcja rodziców na otwarte okna. Najczęściej grupy przedszkolne wychodzą na spacer po przedszkolu i wtedy jest szybkie wietrzenie – otwarcie wszystkich okien w sali na 5-10 minut, zamknięcie i za 5 minut powrót dzieci. Inną praktyką stosowaną w przedszkolach są „odwiedziny” w innej grupie na czas wietrzenia. Z obserwacji Autorki wynika, że przedszkola są również wietrzone w czasie pobytu dzieci na podwórzu.

Badane przedszkole znajduje się w budynku wolno stojącym. Termomodernizacja wraz z modernizacją układu wentylacyjnego przeprowadzona została w 2008 roku. W każdym pomieszczeniu znajduje się wentylacja grawitacyjna kanałowa. Dodatkowo skuteczne wietrzenie odbywa się przez rozszczelnianie okien. Wraz z termomodernizacją został zmodernizowany układ wentylacji naturalnej – zainstalowano zawory nawiewne. Jest to przedszkole średniej wielkości (rys. 1).



Rys. 1. Badane przedszkole

Przebadano następujące pomieszczenia: korytarz parter (1), sala nr 1 – maluchy (2), sala nr 2 – maluchy (3), sala nr 3 – średniaki (4), sala nr 4 – starszaki (5), sala nr 5 – zerówka (6), korytarz góra (7).

3. Badania parametrów powietrza wewnętrznego

3.1. Opis badań

Badania stanu powietrza ze szczególnym uwzględnieniem dwutlenku węgla w salach szkolnych wykonywane były w Polsce (Sowa, 2002) i na świecie (Myhrvold i in., 1996; Wargocki, 2009).

Prezentowane poniżej pomiary jakości powietrza wykonano o tej samej porze, w podobnych warunkach. Wykonano pomiary zasadnicze parametrów powietrza wewnętrznego przed przyjściem dzieci i personelu do przedszkola (w godzinach 5.30-6.50) i w godzinie przewidywanego największego stężenia CO₂, po zakończeniu zajęć w przedszkolu (w godzinach 14.30-16.00).

Po wstępnej serii badań poinformowano personel przedszkola o wynikach pomiarów i zasugerowano doprowadzenie do pomieszczeń powietrza zewnętrznego przez rozszczelnienie okien.

Badania zasadnicze wykonano we wrześniu, przed włączeniem centralnego ogrzewania oraz w listopadzie, gdy ogrzewanie pracuje cały czas, okna są przez większą część dnia rozszczelnione i otwierane na około 15-20 minut dziennie. Badania wykonano również w lutym, gdy wietrzenie pomieszczeń było okazjonalne.

Wszystkie pomiary prowadzono miernikiem testo435-4 z dokładnością: temperatura w zakresie od 0 do +50°C ±0,3°C; wilgotność względna w zakresie od +2 do +98 %RH ±2 %RH; stężenie dwutlenku węgla w zakresie od +0 do +10000 ppm ±100 ppm; ciśnienie atmosferyczne w zakresie od +600 do +1150 hPa ±5 hPa.

3.2. Wyniki badań

Pomiary zostały wykonane we wszystkich salach na wysokości głowy dziecka (około 1,00-1,10 m od powierzchni podłogi). Pomiary wykonano przy następujących parametrach powietrza zewnętrznego według tabeli 3.

Graficznie przedstawiono wyniki badań temperatury (rys. 2 i 3), wilgotności względnej (rys. 4 i 5) i stężenia CO₂ (rys. 6 o 7) wykonane rano i po południu, podczas trzech serii pomiarowych we wszystkich pomieszczeniach przedszkola.

3.3. Omówienie wyników pomiarów

Analizując parametry powietrza zewnętrznego zamieszczone w tabeli 3, należy zauważyć, że ze spadkiem temperatury wzrasta stężenie dwutlenku węgla w powietrzu atmosferycznym. Przepuszczalnie na zaobserwowane zjawisko ma wpływ sezon grzewczy, a co za tym idzie emisja dwutlenku węgla do atmosfery. Nie ma znaczenia, czy ogrzewanie budynków jest indywidualne, czy pochodzi z elektrociepłowni.

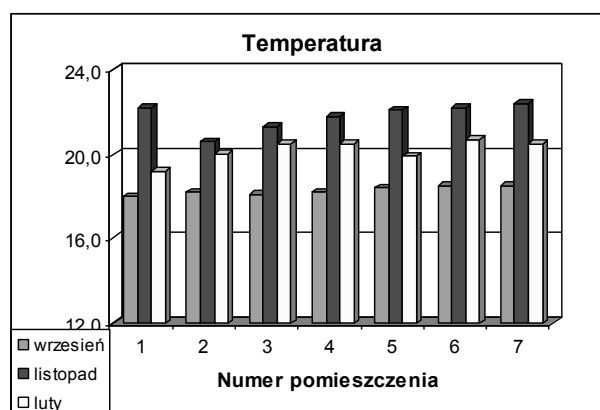
Parametrami określającymi stan powietrza w pomieszczeniu według pracy (Nyuk i Huang, 2004) są temperatura i wilgotność. W badanym przedszkolu temperatury powietrza w pomieszczeniach (z małymi wyjątkami) znajdują się w granicach normy. Również wartości wilgotności względnej są w granicach normy (PN-83/B-03430; PN-EN 13779: 2008).

W przedszkolu rano temperatura powietrza była niższa od zalecanej, lecz jest to związane z obniżeniem w nocy temperatur, do jakich powinny być grzane pomieszczenia. Wartości temperatur wahały się w zakresie 18,0-22,4°C (rys. 2). Wilgotność rano w listopadzie i lutym, była poniżej wartości zalecanych przez normy (PN-83/B-03430; PN-EN 13779: 2008), wahała się w granicach 34,7-43,2% (rys. 4). Po południu temperatura wynosiła 18,9-22,9°C (rys. 3), wilgotność 27,1-44,2% (rys. 5).

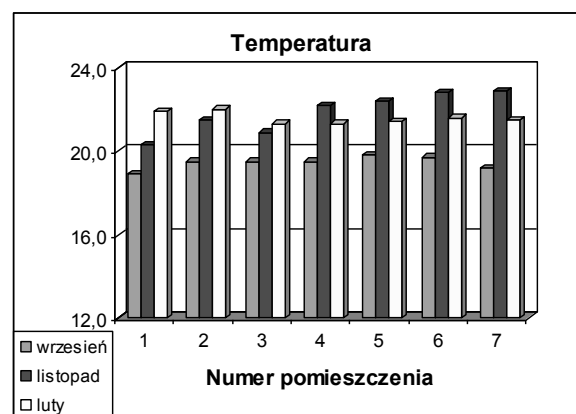
Rano stężenie dwutlenku węgla w przedszkolu nie przekraczało dopuszczalnych norm (PN-83/B-03430; PN-EN 13779: 2008) (rys. 5). Wartość stężenia dwutlenku węgla rano wahała się w granicach 400-710 ppm. Po południu stężenia dwutlenku węgla były znacznie przekroczone. Wartości te wynosiły 608-1970 ppm (rys. 7).

Mimo warunków zewnętrznych mało sprzyjających wentylacji naturalnej, przekonano kierownictwo i personel przedszkola do ciągłej wentylacji pomieszczeń poprzez rozszczelnianie okien. Po tym zabiegu pomiary wykazywały, że poprawiał się (lub nie ulegał pogorszeniu) stan powietrza w pomieszczeniach.

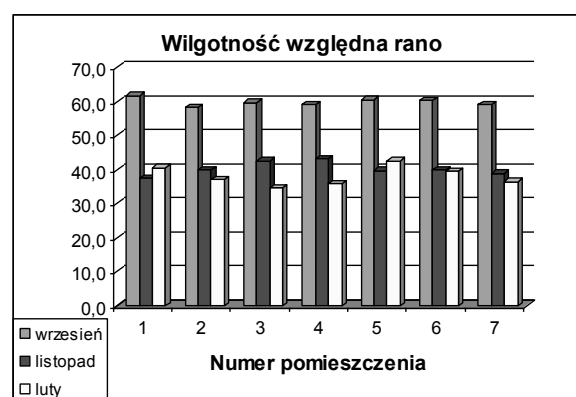
Po zakończonych badaniach stwierdzono, że nie uległy zwiększeniu w sposób zauważalny, rachunki za eksploatację obiektu związane z centralnym ogrzewaniem, zmniejszyła się natomiast o około 20% absencja chorobowa dzieci i personelu.



Rys. 2. Rozkład temperatury w pomieszczeniach, w różnych miesiącach – rano



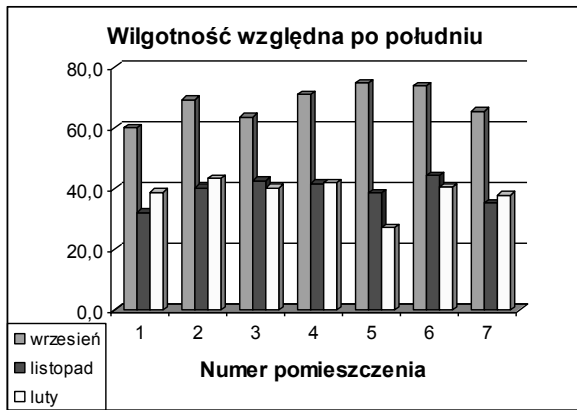
Rys. 3. Rozkład temperatury w pomieszczeniach, w różnych miesiącach – po południu



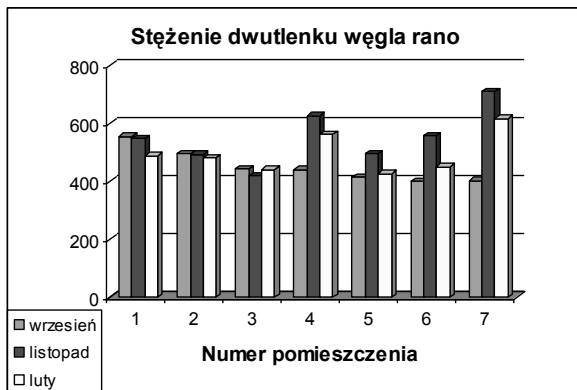
Rys. 4. Rozkład wilgotności względnej w pomieszczeniach, w różnych miesiącach – rano

Tab. 3. Parametry powietrza zewnętrznego

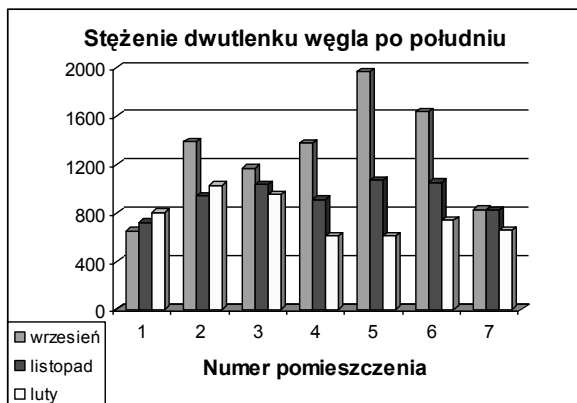
Parametr	Jednostka	wrzesień		listopad		luty	
		Rano	Po południu	Rano	Po południu	Rano	Po południu
temperatura	°C	8,4	13,6	3,1	2,6	-0,5	0,2
wilgotność	%	89,5	70,3	86,4	83,5	88,3	86,2
ciśnienie atmosferyczne	Pa	1006	1006	972,3	970,9	1006,4	1007,2
stężenie CO ₂	ppm	408	403	444	450	480	460



Rys. 5. Rozkład wilgotności względnej w pomieszczeniach, w różnych miesiącach – po południu



Rys. 6. Stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniach, w różnych miesiącach – rano



Rys. 7. Stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniach, w różnych miesiącach – po południu

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można wnioskować, że jakość powietrza w polskich przedszkolach jest zła i niezgodna z wszelkimi wytycznymi (Recknagel i in., 1999; WHO, 2000; ASHRAE, 1989; PN-85/N-08011; PN-85/N-08013 *Ergonomia. Środowiska termicznie umiarkowane. Określanie wskaźników PMV, PPD i wymagań dotyczących komfortu technicznego*; DIN 1946-2, 1994). Analizując natomiast wyniki pomiarów przedstawione

w wystąpieniu Wargockiego (2009) oraz na podstawie badań własnych można stwierdzić, że przedszkola w Polsce mają jakość powietrza wewnętrznego podobną do jakości powietrza w szkołach w innych krajach UE i USA.

Stężenie CO₂ w szkołach w różnych krajach wynosi (Wargocki, 2009):

- Wielka Brytania: 2100-5000 ppm,
- Dania: 500-1500 ppm,
- Polska: 1000-4200 ppm – według badań innych naukowców (Sowa, 2002),
- Szwecja: 425-2800 ppm,
- Holandia: 900-2100 ppm,
- USA: 300-5000 ppm.

Według badań własnych Autorki (Gładyszewska-Fiedoruk, 2007) w szkołach wyższych stężenie CO₂ nie przekracza 1800 ppm. W przebadanym przedszkolu tylko raz stężenie dwutlenku węgla było wyższe niż 1500 ppm i wynosiło 1970 ppm, a zwykle wahało się w zakresie 400-1000 ppm. Wydaje się, że wartości podane w pracach Sowy (2002) i Wargockiego (2009) są znacznie zawyżone dla szkół w Polsce.

W badanym przedszkolu temperatury powietrza w pomieszczeniach wahały się w granicach norm (WHO, 2000; ASHRAE, 1989; PN-83/B-03430; PN-EN 13779: 2008). Natomiast wartości wilgotności względnej były zbyt niskie – powietrze było suche.

Literatura

- Demianowicz A. (2004). Jakość powietrza. 12.2004. http://www.e-instalacje.pl/70_364.htm.
- Gładyszewska-Fiedoruk K. (2007). Carbon dioxide concentration measurements in bedrooms of a detached house. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 16, No. 3B, 131-133.
- Gładyszewska-Fiedoruk K. (2010). Analiza stanu środowiska wewnętrznego w wybranych przedszkolach ze szczególnym uwzględnieniem dwutlenku węgla. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, 2/2010, 28-30.
- Helmis C. G., Flocas J., Tzoutzas H. A., Halios C. H., Stathopoulou O. I., Assimakopoulos V. D., Panis V., Apostolatos M., Sgouros G., Adam E. (2007). Indoor air quality in a dentistry clinic. *Science of The Total Environment*, Vol. 377, No. 2-3, 349-365.
- Lee S. C., Chang M. (2000). Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong. *Chemosphere*, Vol. 41, Issues 1-2, July 2000, 109-113.
- Marr I. L., Rosser D. P., Meneses C. A. (2007). An air quality survey and emissions inventory at Aberdeen Harbour. *Atmospheric Environment*, Vol. 41, No. 30, 6379-6395.
- Myhrvold A. N., Olsen E., Lauridsen O. (1996). Indoor Environment in Schools – Pupils health and performance in regard to CO₂ concentrations, *Proceedings of 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Indoor Air'96*, July 1996, Nagoya, Japan, Vol. 4, 369-374.
- Nyuk H. W., Huang B. (2004). Comparative study of the indoor air quality of naturally ventilated and airconditioned bedrooms of residential building in Singapore. *Building and Environment*, Vol. 39, No. 9, 1115-1123.

- Recknagel H., Sprenger E., Honmann W., Schramek E. R. (1999). *Poradnik Ogrzewnictwo + Klimatyzacja z uwzględnieniem chłodnictwa i zaopatrzenia w ciepłą wodę*. *EWFE*, wydanie 1, Gdańsk, 1999.
- Sowa J. (2002). Wentylacja klas szkolnych – efektywność stosowanych rozwiązań oraz możliwość poprawy skuteczności ich działania. *Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce 2001*, Warszawa, 2002, 279-302.
- Stranger M., Potgieter-Vermaak S. S., Van Grieken R. (2007). Comparative overview of indoor air quality in Antwerp, Belgium. *Environment International*, Vol. 33, No. 6, 789-797.
- Stranger M., Potgieter-Vermaak S. S., Van Grieken R. (2009). Particulate matter and gaseous pollutants in residences in Antwerp, Belgium. *Science of The Total Environment*, Vol. 407, No. 3, 1182-1192.
- Sung-Ok Baek, Yoon-Shin Kim, Roger Perry (1997). Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas – indoor/outdoor relationships. *Atmospheric Environment*, Vol. 31, Issue 4, February 1997, 529-544.
- Wargocki P. (2009). Effect of indoor climate conditions in classrooms on the progress in science. *Conference on Indoor air quality problems in Poland 2009*, Warszawa.
- WHO Regional Office for Europe (2000). *Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition 2000*, Copenhagen, European Series, No. 91.

INDOOR AIR QUALITY IN A TYPICAL KINDERGARTEN IN BIAŁYSTOK

Abstract: Formal education usually begins in kindergarten. Children spend five to ten hours a day there, so indoor air quality is of paramount importance. Natural ventilation (or to be more precise gravitational channel ventilation system) is by far the most common ventilation method in kindergartens; its efficiency is enhanced by airing the premises from time to time. In the kindergarten in question, carbon dioxide concentration in the morning does not exceed the permissible level. In the afternoon, however, this level is considerably exceeded (by as much as 97%). Temperature and humidity stay within the acceptable range of values. Thanks to unsealing or opening the windows, outdoor air penetrates into the rooms, which boosts the functioning of the gravitational ventilation system thus improving indoor air quality.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2012 jako projekt badawczy nr N N523 425337.