

*stężenie ditlenku węgla, stężenie lotnych związków organicznych,
wentylacja, jakość powietrza wewnętrznego*

Tomasz PIETRUCHA*

KONCEPCJA ZASTOSOWANIA POMIARU STĘŻENIA DITLENKU WĘGLA I LOTNYCH ZWIĄZKÓW ORGANICZNYCH NA POTRZEBY WENTYLACJI

W celu oszczędzania energii w systemach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych stosuje się wiele rozwiązań technicznych. Jednym z nich jest dostosowywanie ilości strumienia powietrza wentylującego do aktualnych potrzeb użytkowników, które określane są na podstawie uzyskanej informacji o ilości ludzi w pomieszczeniu. Wiedza na temat użytkowników pomieszczeń powszechnie uzyskiwana jest na podstawie pomiaru stężenia CO₂ w powietrzu wewnętrznym. Celem pracy jest uzasadnienie zastosowania pomiaru lotnych związków organicznych wraz z pomiarem stężenia ditlenku węgla do wyznaczania odpowiedniej ilości strumienia powietrza. Pomiary obu parametrów prowadzone były w budynkach użyteczności publicznej: przedszkolach, szkołach i uczelni wyższej. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że lotne związki organiczne istotnie wzbogacają informację o jakości powietrza wewnętrznego. W pracy opisano również jakie problemy może przynieść wyznaczanie strumienia powietrza wentylującego na podstawie zanieczyszczeń.

1. WPROWADZENIE

Obecnie każda dziedzina techniki musi charakteryzować się jak najmniejszym zużyciem energii. Zagadnienie to dotyczy m. in. branży budowlanej, przed którą stawia się coraz to bardziej restrykcyjne wytyczne odnoszące się do energooszczędności budynków. Powoduje to powstawanie nowych rozwiązań technologicznych, które muszą obniżyć ilość zużywanej energii przy jednoczesnym utrzymywaniu warunków komfortu w budynkach, np. zachowania odpowiedniej jakości powietrza wewnętrznego. Instalacje wentylacyjne i klimatyzacyjne mają bardzo duży wpływ na kształtowa-

* Politechnika Wroclawska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, ul. Norwida 4/6, 50-373 Wrocław, tomasz.pietrucha@pwr.edu.pl.

nie warunków panujących w pomieszczeniach. Wymaga to dostarczania odpowiedniej ilości energii cieplnej, chłodniczej oraz elektrycznej. W celu zmniejszenia zapotrzebowania na energię ogranicza się strumień powietrza zewnętrznego utrzymując stałą różnicę temperatur (system ze zmiennym strumieniem powietrza, ang. variable air volume, VAV) lub na podstawie informacji o liczbie ludzi przebywających w pomieszczeniu (wentylacja na żądanie, ang. demand-controlled ventilation, DCV) oraz dodatkowo stosując wymienniki ciepła lub recyrkulację powietrza. W systemie DCV strumień powietrza wentylującego jest regulowany od wartości minimalnej do maksymalnej. Aktualna wartość strumienia powietrza zależy od dostarczonej informacji na temat sytuacji panującej w pomieszczeniu. Informacja ta może sprowadzać się do liczby użytkowników przebywających w pomieszczeniu (liczniki bramkowe, czujniki ruchu) lub może być bardziej szczegółowa (pomiar stężenia ditlenku węgla w powietrzu wewnętrznym) [1]. Dzięki temu można uzyskać duże oszczędności energii [2].

Ditlenek węgla jest bezbarwnym i bezzapachowym gazem, który ludzie wydychają w skutek procesów metabolicznych. W środowisku wewnętrznym, gdzie nie jest spalane paliwo, użytkownicy pomieszczeń pozostają jego jedynym źródłem. W powietrzu zewnętrznym występuje w stężeniach od 350 do 450 ppm. Natomiast w pomieszczeniach jego wartości nie powinny przekraczać aktualnego stężenia zewnętrznego powiększonego o 700 ppm [3]. Pomiar ditlenku węgla w powietrzu wewnętrznym służy jako dobre źródło informacji na potrzeby wentylacji. W odróżnieniu od liczników bramkowych i czujników ruchu pozwala dostosować strumień powietrza wentylującego do ilości ludzi, ale także do ich aktywności fizycznej. Wraz ze wzrostem tempa metabolizmu rośnie ilość wydychanego CO₂ [4], przez co konieczne jest nawiewanie większej ilości powietrza zewnętrznego. Informacja jaką daje nam pomiar stężenia ditlenku węgla przynosi korzyści w postaci oszczędności energii. Jednak może być ona niekompletna, ponieważ nie uwzględnia wrażeń zapachowych. Istnieje więc ryzyko pogorszenia jakości powietrza wewnętrznego, pomimo zastosowania takiego rozwiązania w wentylacji. Zatem konieczne jest pozyskiwanie dodatkowych informacji o stanie powietrza. Można tego dokonać poprzez pomiar stężenia lotnych związków organicznych.

LZO są grupą związków organicznych, których punkt wrzenia znajduje się w zakresie od 50°C do 250°C, przez to łatwo odparowują do powietrza. Do ich głównych źródeł w pomieszczeniach można zaliczyć: materiały budowlane (np. kleje, farby), wyposażenie wnętrz (np. meble, wykładziny), ludzi (np. odzież, procesy metaboliczne) [5]. Ze względu na mnogość rodzajów lotnych związków organicznych oddziałują one w różny sposób na środowisko wewnętrzne, m. in. powodują nieprzyjemne zapachy [6]. Prowadzone badania wskazują także na powiązania pomiędzy emitarami LZO w powietrzu wewnętrznym a skutkami zdrowotnym zaliczanymi do syndromu chorego budynku (ang. Sick Building Syndrome, SBS) [7]. Pomiar lotnych związków organicznych w postaci sumarycznego stężenia może dostarczyć różnej od stężenia ditlenku węgla informacji na temat aktualnej sytuacji w pomieszczeniu. Wy-

korzystanie tego rodzaju danych w systemach wentylacji może przynieść duże korzyści na rzecz jakości powietrza wewnętrznego.

W dalszej części na podstawie wyników pomiarów określono jaką rolę może pełnić pomiar stężenia lotnych związków organicznych wraz z pomiarem stężenia ditlenku węgla na potrzeby wentylacji.

2. CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

Pomiary stężenia ditlenku węgla i lotnych związków organicznych przeprowadzono w sześciu salach dydaktycznych podczas prowadzonych zajęć oraz poza zajęciami, w dwóch wrocławskich przedszkolach, trzech szkołach i jednej uczelni wyższej. Sale znacząco różniły się od siebie pod wieloma względami. Najważniejszymi z nich był charakter użytkowania pomieszczeń oraz zastosowany system wentylacji. W przedszkolach zaprojektowano wentylację mechaniczną (wywiewną i nawiewno-wywiewną), natomiast w szkołach i uczelni wyższej znajdowała się wentylacja grawitacyjna. Każda sala była dodatkowo wentylowana poprzez otwieranie okien.

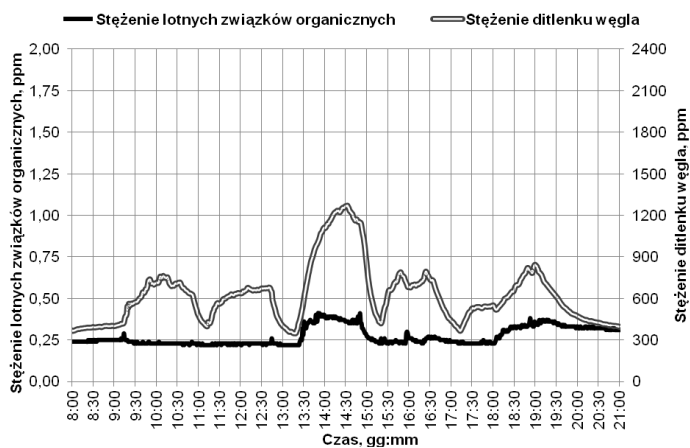
Stężenie ditlenku węgla mierzono czujnikiem niedispersyjnej absorpcji podczerwieni (ang. nondispersive infrared sensor, NDIR) z rozdzielczością 1 ppm, zakresem pomiarowym 0–5000 ppm oraz dokładnością wynosząca ± 50 ppm lub $\pm 3\%$ wartości mierzonej. Pomiar stężenia lotnych związków organicznych wykonano techniką fotojonizacyjną (ang. photoionization detector, PID). Urządzenie charakteryzowało się rozdzielczością 0,01 ppm, zakresem pomiarowym 0–20 ppm i dokładnością $\pm 10\%$ wartości mierzonej.

Pomiary w szkołach i przedszkolach trwały po 3 dni, a na uczelni wyższej 40 dni.

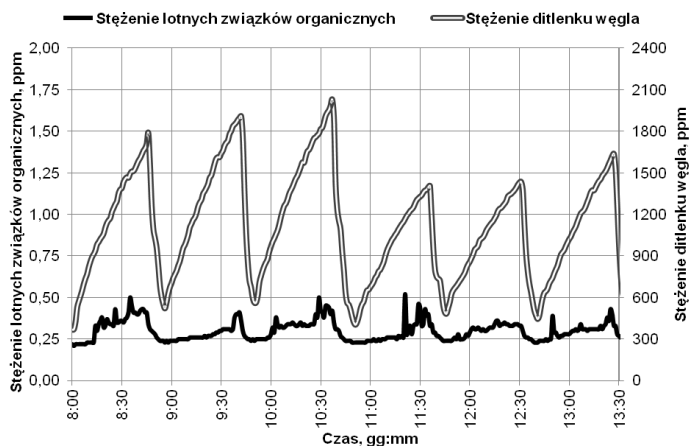
3. WYNIKI I DYSKUSJA

Wartości stężeń ditlenku węgla i lotnych związków organicznych w powietrzu wewnętrznym zmieniały się w czasie. Wyszczególniono trzy najczęściej pojawiające się przypadki podczas odbywających się zajęć: I) Wzrost stężenia LZO z jednoczesnym wzrostem stężenia CO₂ ponad wartości akceptowalne; II) Wzrost stężenia LZO przy niskim, akceptowalnym poziomie stężenia CO₂; III) Brak wzrostu stężenia LZO przy jednoczesnym wzroście stężenia CO₂; oraz dwie sytuacje występujące podczas nieużytkowania pomieszczenia: IV) Wzrost stężenia LZO przy stężeniu CO₂ na poziomie zewnętrznym; V) Brak wzrostu stężenia LZO przy stężeniu CO₂ na poziomie zewnętrznym. W przypadku stężenia CO₂ można przewidzieć jakie wartości będzie przyjmowało – wzrosty podczas obecności ludzi i spadki podczas ich absencji. Natomiast zmiany stężeń lotnych związków organicznych w powietrzu następowały bardzo

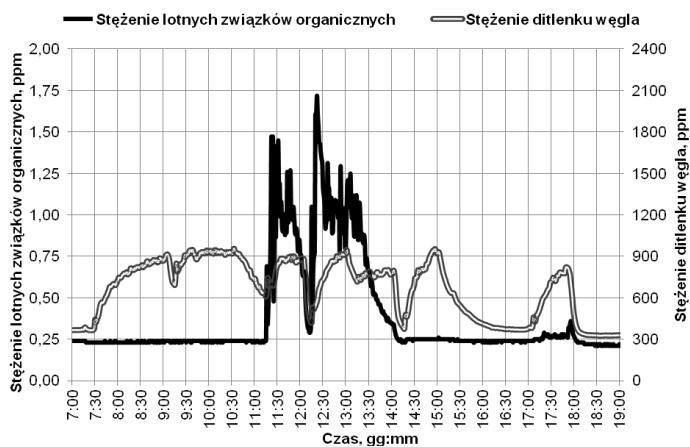
gwałtownie. Momenty występowania wzrostów stężeń, okresy trwania takich sytuacji oraz osiągnięte wartości stężeń miały charakter niemal losowy. Każdy z powyżej opisanych przypadków mógł się wydarzyć podczas jednego dnia zajęć (rys. 1) lub mogły się one powtarzać (rys. 2). Co więcej, wzrosty stężenia ditlenku węgla i lotnych związków organicznych nie były do siebie proporcjonalne (rys. 3), co nie świadczy dobrze o CO₂ jako powszechnie stosowanym wskaźniku jakości powietrza wewnętrznego. W uzyskanych wynikach zauważono również, że możliwe jest występowanie zwiększonych wartości LZO podczas nieobecności ludzi w pomieszczeniu (rys. 4.).



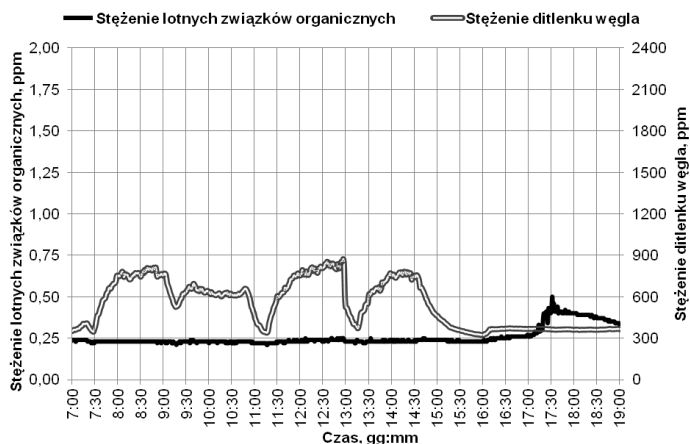
Rys. 1. Zmiany stężenia ditlenku węgla i lotnych związków organicznych w powietrzu wewnętrznym. Widoczny przypadek nr I, II i III



Rys. 2. Zmiany stężenia ditlenku węgla i lotnych związków organicznych w powietrzu wewnętrznym. Widoczny powtarzający się przypadek nr I



Rys. 3. Zmiany stężenia ditlenku węgla i lotnych związków organicznych w powietrzu wewnętrznym. Widoczny przypadek nr II i III



Rys. 4. Zmiany stężenia ditlenku węgla i lotnych związków organicznych w powietrzu wewnętrznym. Widoczny przypadek nr III i IV

O ile we wcześniej przedstawionych sytuacjach można domyślać się, że źródłem lotnych związków organicznych byli ludzie, to w tym wypadku jest to trudne do określenia. Substancje wywołujące odpowiedź urządzenia pomiarowego mogły pochodzić z sąsiednich pomieszczeń lub dostały się z powietrzem zewnętrznym. Każda, nawet minimalna zmiana stężenia lotnych związków organicznych, rzędu kilku – kilkunastu ppb, może powodować wrażenia zapachowe, co silnie wpływa na jakość powietrza wewnętrznego. Zastosowanie pomiaru stężenia CO₂ razem z pomiarem wartości LZO może wzbogacić informację docierającą do systemu wentylacyjnego o występujące

w pomieszczeniu nieprzyjemne dla nosa wydarzenia. Jest to równoznaczne z podniesieniem komfortu przebywania ludzi w pomieszczeniu pod względem obecności zanieczyszczeń powietrza.

System wentylacyjny powinien także mieć możliwość efektywnego kreowania warunków termicznych w pomieszczeniu. Przy zastosowaniu systemu wentylacyjnego w oparciu o pomiar stężenia CO₂ i LZO strumień powietrza będzie stosunkowo mały i będzie zmieniał się w czasie. Jego zdolności asymilacyjne zysków ciepła, dostawy ciepła czy zapewnienia odpowiedniej wilgotności względnej w pomieszczeniu będą niewystarczające by zapewnić komfort termiczny w pomieszczeniu. Kolejnym problemem jest rozwiązanie konstrukcji instalacji w taki sposób, aby strumień powietrza wentylującego zawsze docierał do strefy przebywania ludzi i powodował jak najlepsze mieszanie się powietrza wewnątrz pomieszczenia, niezależnie od jego aktualnej wartości.

4. WNIOSKI

Zmiany wartości lotnych związków organicznych nie odpowiadały zmianom stężenia ditlenku węgla w powietrzu wewnętrznym, przez co część ważnych informacji o jakości powietrza wewnętrznego może nie być dostarczana do systemu wentylacyjnego. Wykorzystanie tego typu danych o LZO na potrzeby wentylacji pozwoli efektywniej spełniać oczekiwania użytkowników na świeże powietrze przy jednoczesnej oszczędności energii elektrycznej. Zastosowanie takiego rozwiązania od strony energetycznej i jakości powietrza wewnętrznego wydaje się bardzo korzystne, jednak niesie ono ze sobą problemy z zachowaniem komfortu termicznego czy organizacją rozdziału powietrza.

Badania zostały sfinansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2012/07/B/ST8/03031.

LITERATURA

- [1] M. STIPE, Oregon Office of Energy, *Demand-Controlled Ventilation: A Design Guide*, <http://www.oregon.gov/energy/cons/bus/dcv/docs/dcvguide.pdf>
- [2] M. MYSEN, S. BERNTSEN, P. NAFSTAD, P. G. SCHILD, *Occupancy density and benefits of demand-controlled ventilation in Norwegian primary schools*. Energy and Buildings 2005, No. 37, 1234–1240.
- [3] T. LAWRENCE, *Demand-Controlled Ventilation and Sustainability*. ASHRAE Journal December 2004, 117–119.
- [4] ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013, Figure C.2 Metabolic data.
- [5] A. P. JONES, Indoor air quality and health. Atmospheric Environment 1999, No. 33, 4535–4564.

- [6] B. LUNDGREN, B. JONSSON, B. EK-OLAUSSON, *Materials emission of chemicals – PVC flooring materials*. *Indoor Air* 1999, No. 9, 202–208.
- [7] P. WARGOCKI, D. P. WYON, Y. K. BAIK, G. CLAUSEN, P. O. FANGER, *Perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads*. *Indoor Air* 1999, No. 9, 165–179.

THE CONCEPT OF APPLICATION OF CARBON DIOXIDE AND VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS CONCENTRATION MEASUREMENTS FOR THE PURPOSE OF VENTILATION

In order to save energy in ventilation and air conditioning systems there is applied many technical solutions. One of them is customizing the amount of air flow to current needs of users, which are determined on the basis of obtained information about the number of people in room. Knowledge about the users is commonly derived on the basis of the measurement of the CO₂ concentration in the internal air. The aim of the work is justification for use volatile organic compounds and carbon dioxide concentration measurement for determining the appropriate amount of air flow. Measurement of both parameters was carried out in the public buildings: kindergartens, schools and a University. On the basis of the obtained results, it was found that volatile organic compounds significantly enrich information about indoor air quality. At work also were described what problems can bring determination of air flow on the basis of air pollutants.