

Ocena stężenia dwutlenku węgla w powietrzu wybranych pomieszczeń uczelni wyższej

Assessment of carbon dioxide concentration in the air of selected university facilities

ROBERT CICHOWICZ^{1/}, ANNA GAWRON-SKARBK^{2/}, MAŁGORZATA GODAŁA^{2/}, EWA ZIMNA-WALENDZIK^{2/}, HENRYK SABINIAK^{1/}, FRANCISZEK SZATKO^{2/}

^{1/} Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych Politechniki Łódzkiej

^{2/} Katedra Higieny i Epidemiologii Uniwersytetu Medycznego w Łodzi

Wstęp. Stężenie dwutlenku węgla powyżej 1 000 ppm, czyli powyżej tzw. minimum higienicznego w pomieszczeniach zamkniętych, powoduje spadek wydajności pracy, czy nauki, u osób w nich przebywających. W salach wykładowych wentylacja mechaniczna jest często świadomie wyłączana ze względu na ograniczanie hałasu podczas jej pracy lub brak jest jakiegokolwiek wentylacji mechanicznej.

Cel badań. Pomiar stężenia CO₂ w pomieszczeniach uczelni wyższej w warunkach wyłączonej wentylacji mechanicznej i określenie czasu, po którym wartości stężenia CO₂ przekraczają poziom minimum higienicznego.

Materiał i metoda. Stężenie CO₂ mierzono w wylosowanych pomieszczeniach budynku Politechniki Łódzkiej, w których prowadzone są zajęcia ze studentami (sala komputerowa, audytoria, pokój wykładowcy) za pomocą przenośnego mikrochromatografu gazowego. Dynamikę zmiany stężenia CO₂ prowadzono w czasie 45 minut, ponawiając kolejny pomiar co 3 minuty.

Wyniki. Stężenie CO₂ w powietrzu trzech badanych audytoriów znacząco przekraczało dopuszczalne wartości dla pomieszczeń zamkniętych już podczas pierwszej godziny zajęć/pomiaru, osiągając najwyższe wartości CO₂ na poziomie: 1 298 ppm dla audytoria o większej kubaturze (825 m³, w obecności 18 osób wewnątrz sali) oraz 6 689 i 3 006 ppm dla dwóch mniejszych audytoriów (690 m³, w obecności odpowiednio: 83 i 44 osób). Podczas zajęć w pracowni komputerowej (125 m³, 17 osób) stężenie CO₂ osiągnęło 951 ppm już w 23. minucie pomiaru. Również rutynowy pomiar w pokoju wykładowcy wykazał przekroczenie wartości minimum higienicznego, wynosząc 1 146 ppm.

Wnioski. Stężenie CO₂ w badanych pomieszczeniach przy niewłączonym systemie wentylacyjnym przekraczało wartości minimum higienicznego, co nie powinno mieć miejsca zwłaszcza w pomieszczeniach przeznaczonych do nauki.

Słowa kluczowe: stężenie dwutlenku węgla, powietrze, przenośny mikrochromatograf gazowy, uczelnia

Introduction. Carbon dioxide concentration over 1 000 ppm, i.e. above the so-called sanitary minimum for confined spaces, may attenuate the effectiveness of work or education in people staying indoors. In lecture rooms a mechanical ventilation is often knowingly turned off to reduce a specific noise or there is lack of any ventilation.

Aim. To measure the CO₂ concentration in selected university facilities while mechanical ventilation system was turned off and to determine a time period after which the values of CO₂ concentration exceed the minimum sanitary level.

Material & Method. The CO₂ concentration was measured in selected facilities of Lodz Technical University where students usually had classes (computer lab, auditoria, lecturer's room) with a portable gas microchromatograph. The dynamics of the CO₂ concentration changes was conducted within a 45-minute time period, with the measurements repeated every 3 minutes.

Results. The CO₂ concentration in the air of three examined auditoria considerably exceeded permissible values for closed rooms even during the 1st hour of classes/measurement reaching maximum CO₂ values equal to: 1 298 ppm for bigger-sized auditorium (cubature: 825 m³, at presence of 18 persons inside), 6 689 and 3 006 ppm for two smaller-sized auditoria (690 m³, at presence of 83 and 44 persons inside respectively). During classes in a computer lab (125 m³, 17 people inside) already in the 23rd minute of the measurement the CO₂ concentration reached 951 ppm. Also a routine measurement in the lecturer's room showed the overrun of sanitary minimum amounting to 1 146 ppm.

Conclusions. The CO₂ concentration in studied facilities with no working ventilation system exceeded the values of sanitary minimum. That should not take place especially in spaces dedicated for education.

Key words: carbon dioxide concentration, air, portable gas microchromatograph, university

© Probl Hig Epidemiol 2014, 95(2): 287-291

www.phie.pl

Nadesłano: 10.05.2014

Zakwalifikowano do druku: 26.05.2014

Adres do korespondencji / Address for correspondence

dr inż. Robert Cichowicz
Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych, Politechnika Łódzka
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź
tel. +48 42 631 35 21, fax +48 42 631 35 16
e-mail: robert.cichowicz@p.lodz.pl

Wstęp

Zapewnienie odpowiedniej jakości powietrza w pomieszczeniach zamkniętych jest podstawową funkcją instalacji wentylacyjnej. Wpływa to nie tylko na samopoczucie, ale i na ogólny stan zdrowia osób przebywających wewnątrz. Odpowiednie warunki powietrza uzależnione są od: temperatury, prędkości przepływu, częstotliwości jego wymiany, wilgotności i składu chemicznego, w tym od stężenia dwutlenku węgla. W miejscach użyteczności publicznej – jak kina, teatry, czy restauracje – jakość powietrza wewnętrznego decyduje m.in. o satysfakcji klientów ze świadczonych w tych pomieszczeniach usług. Podobnie w pomieszczeniach biurowych warunki powietrza wpływają na wydajność osób pracujących umysłowo. Również w pomieszczeniach mieszkalnych efektywny odpoczynek lub sen uwarunkowane są nie tylko długością czasu na nie przeznaczonego, ale także jakością powietrza wewnętrznego [1].

Przez wiele lat dwutlenek węgla powstający podczas procesu oddychania nie był uwzględniany w procesie projektowania systemów wentylacyjnych. Obecnie coraz więcej producentów urządzeń wentylacyjnych wyposaża swoje centrale w automatykę sterującą ilością powietrza wentylowanego, w zależności od stężenia CO₂ wewnątrz obiektu [1].

Stężenie CO₂ w pomieszczeniach zamkniętych może osiągać wartości nawet kilka razy wyższe niż w powietrzu zewnętrznym – w miastach jest to około 300-350 ppm, a na obszarach przemysłowych około 400 ppm (*parts per milion* – sposób wyrażania stężeń bardzo rozcieńczonych roztworów związków chemicznych, określający ile cząsteczek związku chemicznego przypada na 1 milion cząsteczek roztworu) [2]. Średnie stężenie CO₂ w powietrzu wydychanym przez człowieka to 4,0-5,2%. Szacuje się, że dorosły człowiek podczas nieaktywnego odpoczynku wydycha ok. 200 ml dwutlenku węgla na minutę, czyli 12 l na godzinę. Natomiast podczas intensywnego wysiłku fizycznego lub wzmożonego napięcia umysłowego i emocjonalnego ilość wydychanego CO₂ wzrasta nawet 4-6-krotnie. Obok aktywności fizycznej również temperatura zewnętrzna wpływa pośrednio na ilość emitowanego CO₂ – wraz ze wzrostem temperatury wzrasta się częstotliwość oddechów. Dwutlenek węgla jest bezbarwnym, bezwonny, pozbawionym smaku, cięższym od powietrza, niepalnym i nie podtrzymującym spalania gazem. W niskich stężeniach CO₂ nie wykazuje właściwości toksycznych, natomiast przy wyższych stężeniach zauważalny jest jego szkodliwy wpływ na organizm. Zmiany fizjologiczne zachodzące w organizmie zależą od wysokości stężenia CO₂ i mogą ujawniać się w formie kaszlu, zasłabnięcia (przy 2 000 ppm), czy stresu metabolicznego i trudności w oddychaniu (przy 15 000 ppm) [2].

W polskim prawodawstwie brak jest określonych, dopuszczalnych stężeń dwutlenku węgla zarówno w powietrzu atmosferycznym, jak i w powietrzu pomieszczeń przeznaczonych do stałego przebywania ludzi. Dozwolone stężenia CO₂ dla tych obiektów są zazwyczaj ustalane na podstawie norm i zaleceń innych krajów europejskich i Stanów Zjednoczonych (ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*) [3], a także na podstawie przepisów WHO (*World Health Organization*). W Polsce informacje o maksymalnej koncentracji dwutlenku węgla znajdują się jedynie w rozporządzeniu dotyczącym dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych w środowisku pracy (Dz. U. nr 217, poz. 1833 ze zm.), w którym zdefiniowano m.in. następujące terminy: najwyższe dopuszczalne stężenie – NDS (wartość średnia ważona stężenia, którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy przez okres jego aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia i w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń) oraz najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe – NDSCh (wartość średnia stężenia, które nie powinno spowodować ujemnych zmian w stanie zdrowia pracownika, jeżeli występuje w środowisku pracy nie dłużej niż 15 minut i nie częściej niż 2 razy w czasie zmiany roboczej, w odstępie czasu nie krótszym niż 1 godzina) [4]. Przy wentylacji pomieszczeń, w których przebywają ludzie, do oceny warunków środowiskowych stosuje się pojęcie tzw. minimum higienicznego, określającego górną granicę stężenia CO₂ na poziomie 1 000 ppm (0,1%). W celu utrzymania w pomieszczeniach stężenia CO₂ poniżej 1 000 ppm, szczególnie w pomieszczeniach użytkowanych przez osoby wydychające ten gaz w warunkach podwyższonego stresu i dużego zagęszczenia osób, niezbędna jest właściwie funkcjonująca instalacja wentylacyjna, dostarczająca świeże powietrze, w miejsce powietrza zużytego [2].

Cel pracy

Pomiar stężenia CO₂ w wylosowanych pomieszczeniach uczelni wyższej na przykładzie budynku Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej w warunkach wyłączonej wentylacji mechanicznej oraz określenie czasu, po którym wartości stężenia CO₂ przekraczają poziom minimum higienicznego.

Materiał i metoda

Poddane badaniu pomieszczenia losowano z 3. kategorii pomieszczeń, wydzielonych ze względu na ich kubaturę. Pierwszą kategorię stanowiły sale wykładowe, z których wylosowano 1 audytorium (oznaczone w pra-

cy kodem A) o bardzo dużej kubaturze (przeznaczone do użytku dla 180 osób), oraz 2 audytoria (BiC) o dużej kubaturze (do 120 osób). Drugi zbiór stanowiły sale ćwiczeniowe (do 16 osób), będące przykładem pomieszczeń o średniej kubaturze, z którego wylosowano pracownię komputerową, a trzeci zbiór pokoje wykładowców jako przykład pomieszczeń o małej kubaturze (do 2 osób), z których do badania wylosowano jeden tego typu lokal. Pomiary wykonywano w warunkach wyłączonej wentylacji mechanicznej. Warunek ten został założony, aby zaobserwować czy zajęcia powinny być prowadzone zgodnie z harmonogramem, czy też poszczególne części zajęć powinny być krótsze, a przerwy częstsze niż przewidują to dotychczasowe zasady w przypadku, gdy wentylacja nie działa lub gdy dane pomieszczenie nie jest w nią wyposażone. Analizę przeprowadzono za pomocą mikrochromatografu gazowego, jednego z najnowszych przenośnych urządzeń do pomiaru składu chemicznego powietrza [1, 5], a uzyskane wyniki oceniono względem poziomu minimum higienicznego. Chromatografia gazowa jest fizyko-chemiczną metodą rozdzielania składników jednorodnych mieszanin w wyniku ich podziału pomiędzy fazy ruchomą i nieruchomą układu chromatograficznego. Warunkiem rozdziału jest różnicowanie przynajmniej jednej z sił: siły powodującej ruch cząstek w określonym kierunku (siła przepływu gazu nośnego) lub siły hamującej te cząstki w odniesieniu do komponentów mieszaniny (złoża adsorbujące lub absorbujące) [6]. W zastosowanym do obecnego badania mikrochromatografie zainstalowano kolumnę pakowaną PPQ, a kalibrację dwutlenku węgla przeprowadzono metodą wzorca zewnętrznego. Próbkę pobrano w następujących stężeniach: 250, 500, 1 248, 2 494, 4 975 i 9 900 ppm. Każda próbka była analizowana 4 razy przy pomocy oprogramowania MC-Tune. Użyty do badania mikrochromatograf wyposażony był w układ automatycznego poboru próbki, a do rejestracji i opracowania wyników wykorzystano oprogramowanie komputerowe, pozwalające również na gromadzenie danych w pamięci urządzenia. Dynamikę zmian stężenia CO₂ w badanym powietrzu prowadzono w czasie 45 minut, ponawiając kolejny pomiar co 3 minuty. Badanie miało formę badania pilotażowego.

Wyniki

Pierwszym analizowanym pomieszczeniem była pracownia komputerowa o powierzchni 39,4 m² i kubaturze 125 m³. W sali znajdowało się 16 stanowisk komputerowych, a podczas pomiaru wewnątrz pracowni przebywało 17 osób. Badane pomieszczenie mimo, że było wyposażone w system wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej, to w trakcie seryjnych pomiarów nie był on włączony, a drzwi i okna pracowni zostały zamknięte. Mikrochromatograf ustawiono na wysokości 80 cm powyżej posadzki pomieszczenia. W momencie

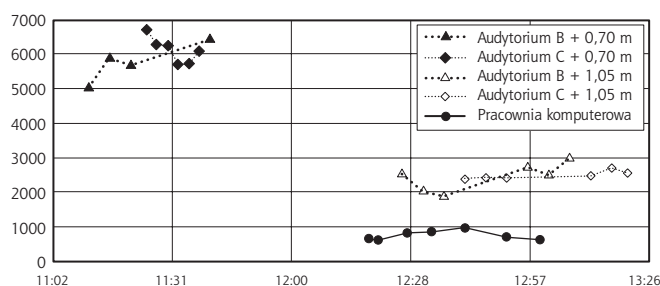
rozpoczęcia pomiaru, w pracowni nie przebywali jeszcze studenci, a początkowe stężenie CO₂ wynosiło 656,58 ppm. Wraz z upływem czasu koncentracja dwutlenku węgla w powietrzu zwiększała się osiągając swoje maksimum na poziomie 951,12 ppm, co miało miejsce po upływie 23 minut od początku pomiaru. Po tym czasie część osób wyszła z sali komputerowej i w efekcie stężenie CO₂ w pomieszczeniu zaczęło spadać. W momencie zakończenia analizy, w 45 minucie zajęć, w sali nie przebywała już żadna osoba, a stężenie dwutlenku węgla spadło do poziomu 631,78 ppm. Powyższe zmiany stężenia CO₂ podczas odbywających się zajęć laboratoryjnych przedstawiono na ryc. 1.

Kolejną analizę koncentracji CO₂ w powietrzu wewnętrznym wykonano w jednym z głównych audytoriów Wydziału (audytoryum A), o powierzchni ok. 165 m² i kubaturze ok. 825 m³. Podczas badania w sali wykładowej odbywała się poprawa kolokwium zaliczeniowego. Badane audytoryum nie posiadało okien, a choć było wyposażone w instalację wentylacji mechanicznej, to w czasie analizy była ona wyłączona. Kolokwium pisało 16 studentów, a w audytoryum znajdowało się łącznie 18 osób. Pomiary przeprowadzono na dwóch poziomach wysokości. Pierwszą serię pomiarów wykonano, ustawiając urządzenie na najniższej położonej ławce pośrodku audytoryum na wysokości +0,9 m (licząc od posadzki pomieszczenia), tj. na poziomie pracy wykładowcy, natomiast drugi punkt pomiarowy określono na wysokości +3,9 m powyżej posadzki pomieszczenia, również pośrodku audytoryum. Dla punktu pomiarowego 1 początkowe stężenie CO₂ wynosiło 780 ppm i w miarę upływu czasu zwiększało się osiągając maksimum na poziomie 870 ppm (ryc. 2).

Z kolei pomiary przeprowadzone w punkcie 2 wykazały, że powietrze na poziomie pracy studentów w najwyższym punkcie audytoryum A, zawierało o wiele więcej dwutlenku węgla, niż to, w niższym punkcie pomiarowym, pomimo tego, że gęstość dwutlenku węgla jest większa niż gęstość powietrza (jest on cięższy od powietrza atmosferycznego). Uzyskany rezultat z pewnością wynikał z liczby osób przebywających w sąsiedztwie urządzenia pomiarowego (większość studentów wybrała miejsca siedzące w jak największej odległości od prowadzącego wykład, czyli od pierwszego punktu pomiarowego). W czasie trwania badania stężenie CO₂ stopniowo wzrastało osiągając maksimum na poziomie 1 300 ppm (w tym czasie ostatni student opuścił audytoryum). Następnie zaobserwowano znaczący spadek poziomu dwutlenku węgla (ryc. 2). Było to efektem nie tyle zmniejszenia się liczby osób w pomieszczeniu, co otworzenia drzwi do audytoryum. Po zakończeniu zajęć stężenie dwutlenku węgla w 2 punkcie pomiarowym osiągnęło wartość 800 ppm.

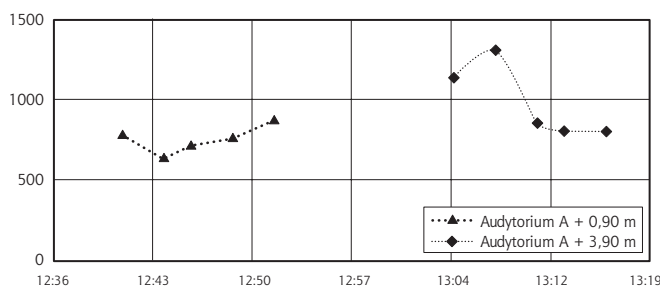
Audytorium B i C znajdowały się odpowiednio po lewej i prawej stronie audytorium A, obydwa o powierzchni ok. 114,5 m² i kubaturze 690 m³ (tj. ok. 84% kubatury audytorium A) i – w przeciwieństwie do A – zarówno wewnątrz B, jak i C, znajdowały się okna. Podczas badania system wentylacyjny został wyłączony, a w środku audytorium B i C przebywały odpowiednio 83 i 44 osoby. Zaledwie po 45 minutach od rozpoczęcia wykładu w audytorium B stężenie CO₂ we wdychanym powietrzu było ok. 5 razy wyższe niż dopuszczalna wartość określona przez minimum sanitarne. W audytorium C przy obecności jedynie blisko połowy grupy studenckiej w porównaniu z liczebnością grupy w audytorium B, po około 1 godzinie wykładu wartości stężenia CO₂ były również 2-3-krotnie wyższe niż powinny być w tego typu pomieszczeniu według normy higienicznej dla CO₂. Opisywane zmiany w stężeniu CO₂ wewnątrz dwóch mniejszych audytoriów przedstawiono na ryc. 1.

Badanie stężenia CO₂ wykonano także w wylotowym pokoju wykładowcy (powierzchnia 21 m², kubatura 70 m³, w obecności 2 osób), w którym wartość stężenia CO₂ oscylowała w granicach 1 150 ppm. Dodatkowo przeprowadzono pomiary w wybranych



Ryc. 1. Zmiany stężenia CO₂ w pracowni komputerowej oraz w audytorium B i C przy ustawieniu mikrochromatografu w najniższym (na wysokości biurka wykładowcy +0,70 m) i w najwyższym punkcie pomiarowym (na wysokości miejsca pracy studentów +1,05 m)

Fig. 1. CO₂ concentration changes in computer lab and in auditorium B and C at microchromatograph set at the lowest (at the lecturer's desk +0.70 m height) and at the highest measure point (at the level of students' work +1.05 m height)



Ryc. 2. Zmiany stężenia CO₂ w audytorium A przy ustawieniu mikrochromatografu na wysokości +0,90 m i +3,90 m

Fig. 2. CO₂ concentration changes in auditorium A at microchromatograph set at +0.90 m and +3.90 m height

ciągach komunikacyjnych i pomieszczeniach użytkowanych przez studentów i pracowników uczelni: w przedsionku i sekretariacie dziekanatu oraz wybranym holu uczelni. Najwyższe stężenie CO₂ odnotowano w przedsionku dziekanatu, będącym swego rodzaju poczekalnią (ok. 1 535 ppm), gdzie wewnątrz podczas wykonywania pomiarów znajdowało się 10 osób, a najniższe w holu (ok. 685 ppm), gdy w momencie pomiaru nie przebywała tam żadna osoba.

Dyskusja

Obecnie coraz więcej zaawansowanych rozwiązań systemów wentylacyjnych posiada czujniki do monitorowania stężenia CO₂, jednak liczne instytucje użyteczności publicznej nadal wyposażone są w przestarzałe mechanizmy wentylacyjne, a ich zarządcy/właściciele nie przywiązują zbytnej wagi do jakości powietrza wewnątrz tych obiektów. Literatura dotycząca badanej problematyki jest dość uboga, co świadczy o bardzo niskim zainteresowaniu trudnym do oszacowania zjawiskiem, jakim jest spadek percepcji umysłowej studentów/uczniów w pomieszczeniach o przekroczonym – niekiedy wielokrotnie – poziomie minimum sanitarnego dla dwutlenku węgla. Niedostrzeganie tego zjawiska przez gospodarzy budynków szkolnych/universyteckich może wynikać z obawy przed zakwestionowaniem funkcjonalności i bezpieczeństwa tychże obiektów. W obecnym badaniu we wszystkich analizowanych pomieszczeniach system mechanicznej wentylacji na czas pomiaru został wyłączony. W polskim prawodawstwie jakość powietrza wewnątrz pomieszczeń pod względem obecności dwutlenku węgla jest określona przez normę PN-EN 13779 [7]. Norma ta jedynie informuje, że do projektowania instalacji wentylacji mechanicznej można wykorzystać poziom stężenia CO₂ oraz podaje jaki strumień powietrza zewnętrznego należy dostarczyć do pomieszczenia aby zapewnić w nim odpowiednią jakość powietrza. Według tej normy większość analizowanych pomieszczeń posiadało trzecią bądź czwartą kategorię jakości powietrza [7]. Są to pomieszczenia określane jako pomieszczenia klasy średniej, bądź niskiej (charakterystyczne przedziały wartości stężeń CO₂: 600-1000 ppm oraz >1000 ppm, odpowiednio dla 3. i 4. kategorii), co zdaniem autorów obecnej pracy nie powinno mieć miejsca w przypadku pomieszczeń przeznaczonych do celów naukowych.

Także w badaniach Norbäck i wsp. stężenie CO₂ w powietrzu pracowni komputerowych przekraczało wartość 1 000 ppm. Dodatkowo zaobserwowano, że wzrost wentylacji z 7 L/s do 10-13 L/s na osobę może nie tylko poprawić jakość powietrza, ale także zwiększyć jego komfort termiczny. Również odpowiednio wysoki wskaźnik przepływu powietrza miał znaczenie dla osiągnięcia optymalnych parametrów powietrza wewnątrz pomieszczeń [8].

Wyniki obecnego badania mogą zostać wykorzystane do określenia dopuszczalnego stężenia CO₂ w powietrzu pomieszczenia w zależności od rozmiaru jego powierzchni, kubatury oraz liczby osób w nim przebywających. Uzyskane dane mogą pomóc w określeniu optymalnych parametrów wentylacji powietrza na uczelniach, w tym liczby wymian powietrza w ciągu 1 godziny [9, 10]. Zastosowanie przenośnego mikrochromatografu gazowego umożliwiło precyzyjny i natychmiastowy pomiar CO₂ w wybranych pomieszczeniach. Otrzymane rezultaty potwierdziły negatywny wpływ braku włączonego systemu wentylacyjnego na wartości stężenia CO₂ w analizowanych próbkach powietrza wraz z upływającym czasem, nawet przy względnie stałej liczbie osób wewnątrz badanego lokum. Obecne dane mogą być użyteczne nie tylko w dydaktyce czy procesie edukacyjnym, ale głównie przy projektowaniu instalacji wentylacyjnej, w której lokalizacja czerpni świeżego powietrza, czy też rozmieszczenie nawiewników jest zasadnicze dla optymalnego działania całego systemu. Dostrzega się potrzebę kolejnych badań w podobnych jak w niniejszej pracy warunkach, ale np. przy włączonej wentylacji. Wyniki licznych prac wskazują na wysoką częstość występowania wzrokowych i nosowo-gardłowych objawów, duszności, bólów głowy i zmęczenia u studentów przebywających wewnątrz pomieszczeń o przekroczonym stężeniu CO₂ [11]. Jednak odpowiednio działający system wentylacyjny redukuje częstość chorób przenoszonych drogą powietrzną i tym samym wpływa na skrócenie czasu ewentualnego urlopu chorobowego wśród danej grupy pracowników [12]. Obecne badanie może być także punktem startowym i niejako zachętą do włączenia badań biochemicznych u stałych użytkowników danych pomieszczeń do gru-

py niezbędnych badań przy analizie wpływu stężenia CO₂ wewnątrz budynku na tzw. dobrostan (*well-being*) u pracujących w nim osób.

Wnioski

Wartości stężenia CO₂ w obecnych badaniach nieznacznie przekroczyły dopuszczalny poziom minimum higienicznego dla CO₂ równy 1 000 ppm w pomieszczeniach takich, jak pracownia komputerowa (nawet tuż przed zakończeniem zajęć), pokój wykładowcy, czy przedsiónek dziekanatu. Natomiast maksymalne wartości stężeń CO₂ (znacznie powyżej 1 000 ppm) stwierdzono we wszystkich analizowanych audytoriach przy wyłączonym systemie wentylacyjnym, co mogło powodować zmęczenie i senność u osób pozostających wewnątrz, a co nie powinno mieć miejsca w obiektach przeznaczonych do nauki. Wyniki badania wskazują, że w pomieszczeniach typu audytorium bez działającej wentylacji mechanicznej nie powinny odbywać się żadnego rodzaju zajęcia, zwłaszcza jeśli dodatkowo wewnątrz sali nie można otworzyć lub jest brak okien, których uchylenie mogłoby zapewnić odpowiednią liczbę wymian powietrza w pomieszczeniu. Wiedza na temat poziomu zanieczyszczeń w powietrzu wewnątrz budynków wydaje się być istotna przy projektowaniu właściwie działających systemów wentylacyjnych.

Chcielibyśmy złożyć podziękowania Panu mgr inż. Jakubowi Banatowi oraz Pani mgr inż. Annie Cłapie za ich wkład przy wykonywaniu pomiarów próbek powietrza oraz pomoc techniczną przy oprawie graficznej pracy.

Piśmiennictwo / References

1. Cichowicz R, Banat J. Concentration of carbon dioxide measured in selected university classrooms. *Instal* 2012, 10(333): 38-42.
2. Kaiser K. Tlenek i dwutlenek węgla w pomieszczeniach. *Rynek Instal* 2010, 9: 90-96.
3. Chmielewski K. Świeże powietrze w domu, szkole i pracy. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*. Politechn Białostocka, Białystok 2011: 446.
4. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. *Dz.U.* nr 217, poz. 1833 ze zm.
5. Catalogue card of microchromatograph VEGA GC. Pollution S.p.A
6. Witkiewicz Z, Hepter J. *Chromatografia gazowa*. WNT, Warszawa 2009, 15-19.
7. PN-EN 13779: Wentylacja budynków niemieszkalnych – Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji. 2008.
8. Norbäck D, Nordström K. An experimental study on effects of increased ventilation flow on students' perception of indoor environment in computer classrooms. *Indoor Air* 2008, 18(4): 293-300.
9. Clifford JM, Cooper CD. A 2009 Mobile Source Carbon Dioxide Emissions Inventory for the University of Central Florida. *J Air Waste Manag Assoc* 2012, 62(9): 1050-60.
10. Norbäck D, Nordström K, Zhao Z. Carbon dioxide (CO₂) demand-controlled ventilation in university computer classrooms and possible effects on headache, fatigue and perceived indoor environment: an intervention study. *Int Arch Occup Environ Health* 2012, 86(2): 199-209.
11. Norbäck D, Nordström K. Sick building syndrome in relation to air exchange rate, CO₂, room temperature and relative air humidity in university computer classrooms: an experimental study. *Int Arch Occup Environ Health* 2008, 82(1): 21-30.
12. Seppänen OA, Fisk WJ. Summary of human responses to ventilation. *Indoor Air* 2004, 14 Suppl 7: 102-18.