

ANTONI MURKOWSKI, ELŻBIETA SKÓRSKA

*Katedra Fizyki i Agrofizyki  
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Papieża Pawła VI nr 3, 71-459 Szczecin  
E-mail: eskorska@zut.edu.pl*

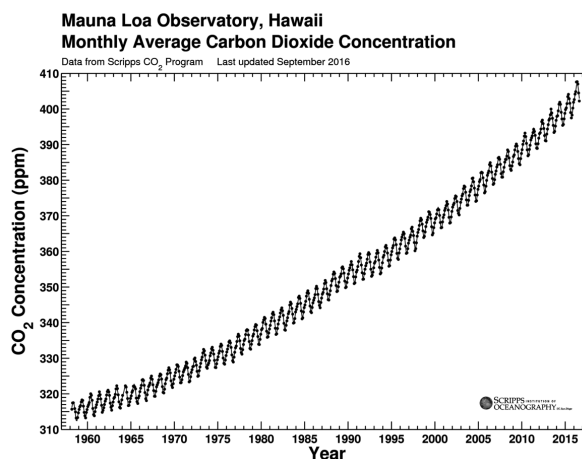
## CZY ZWIĘKSZONA ZAWARTOŚĆ DWUTLENKU WĘGLA W POWIETRZU MA WPLYW NA SPRAWNOŚĆ INTELEKTUALNĄ CZŁOWIEKA?

### WPROWADZENIE

Od właściwego składu oraz czystości powietrza zależy zdrowie i samopoczucie człowieka. Współcześni ludzie spędzają ponad 80% czasu w pomieszczeniach zamkniętych, w których panuje specyficzny mikroklimat, dość często odbiegający od optymalnego. Szczególnym składnikiem powietrza atmosferycznego jest dwutlenek węgla (ditlenek węgla), o wzorze sumarycznym  $\text{CO}_2$ , będący ważnym gazem cieplarnianym, a także głównym substratem fotosyntezy i produktem utleniania biologicznego. Szybki wzrost liczby ludności w XX w., dynamiczny rozwój środków produkcji oraz upowszechnienie motoryzacji są powodem systematycznego wzrostu stężenia dwutlenku węgla w powietrzu atmosferycznym. W czasach, przed rewolucją przemysłową, na początku XIX w., zawartość  $\text{CO}_2$  wynosiła 280 ppm (1 ppm ang. part per milion oznacza 0,000001), w połowie XX w. 310 ppm, a w 2015 r. przekroczyła wartość 400 ppm. Zmiany zawartości  $\text{CO}_2$  w powietrzu atmosferycznym przedstawia krzywa Keelinga (Ryc. 1), opracowywana w sposób ciągły od lat 60. XX w. przez obserwatorium zlokalizowane na Hawajach (SKÓRSKA i współaut. 2009).

Spowolnienie wzrostu zawartości  $\text{CO}_2$ , podobnie jak i pozostałych gazów cieplarnianych w powietrzu, jest jednym z głównych proekologicznych wyzwań naszego czasu, a można nawet uznać, że jest to warunek przetrwania cywilizacji w obecnym jej kształcie. Wysoce niepokojące są obserwowane liczne skutki zmian klimatu, zanik lo-

dowców górskich, cofanie granicy lodolodów i pokrywy lodowej mórz okołobiegunowych, a także wzrost poziomu wód oceanów oraz postępujące ich zakwaszenie. Na tle tych zjawisk umykają uwadze trudniej dostrzegalne negatywne skutki zdrowotne związane ze wzrostem zawartości dwutlenku węgla w naszym bliskim otoczeniu, na ulicach miast, w mieszkaniach, salach szkolnych i szpitalnych, a także w biurach i pomieszczeniach przeznaczonych dla osób wykonujących pracę umysłową. Wyniki badań wskazują bowiem, że poziom  $\text{CO}_2$  w pomieszczeniach mieszkalnych, szkolnych i przedszkolnych osiągał wartości sześciokrotnie przewyższające stę-



Ryc. 1. Krzywa Keelinga obrazująca stężenie  $\text{CO}_2$  w powietrzu, rejestrowane w obserwatorium Mauna Loa (<http://scrippsco2.ucsd.edu>, za zgodą Scripps  $\text{CO}_2$  Program).

żenie zewnętrzne (CHMIELEWSKI 2011, GŁADY-SZEWSKA-FEDORUK 2011, CICHOWICZ i współaut. 2015, MAINKA i ZAJUSZ-ZUBEK 2015), w niewentylowanych audytoriach uczelnianych 7000 ppm (CICHOWICZ i współaut. 2014), a w kabinach samochodów, w zależności od liczby pasażerów i czasu przebywania bez otwierania okien, nawet do 10.000 ppm (CONSTANTIN i współaut. 2016). Niestety nawiew i kontrolowane kondycjonowanie powietrza do celów klimatyzacyjnych jest kosztowne i w Polsce jeszcze mało popularne. Sytuację paradoksalnie pogarsza lepsza jakość okien o regulowanej szczelności (CHMIELEWSKI 2012). W chłodne dni szczelność przeciwdziała ochłodzeniu pomieszczenia, a w porze zwiększonego ruchu izoluje od hałasu miejskiego. Dotyczy to szczególnie szkół, w których drastycznie pogorszyła się jakość powietrza, gdy z powodu przeprowadzanych remontów nastąpiła wymiana okien, a nowe szczelne framugi, zapewniające dobrą izolację cieplną i akustyczną, stwarzają pokusę, aby w imię pozornej oszczędności minimalizować wietrzenia klas szkolnych. Dwutlenek węgla ma gęstość większą od tlenu i azotu, głównych składników powietrza, zatem jego stężenie w powietrzu miejskim może być kilkakrotnie wyższe niż na otwartej przestrzeni, co ma wpływ na mniejszą efektywność wietrzenia pomieszczeń. Celem pracy jest zasygnalizowanie problemu zbyt wysokiego stężenia dwutlenku węgla w pomieszczeniach mieszkalnych, biurowych, użyteczności publicznej, szczególnie w klasach szkolnych i innych placówkach edukacyjnych, gdzie nadmiar tego gazu może obniżyć sprawność intelektualną i ograniczać zdolność do pracy koncepcyjnej.

#### JAKIE STĘŻENIE DWUTLENKU WĘGLA MOŻE BYĆ TOLEROWANE W POMIESZCZENIACH?

Według ustaleń europejskiego oddziału Światowej Organizacji Zdrowia (WHO 2000) i Amerykańskiego Stowarzyszenia Inżynierów Ogrzewnictwa, Chłodnictwa i Klimatyzacji (ASHRAE 2007), dopuszczalne stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniach zamkniętych wynosi 1000 ppm (0,1%), stanowiąc wymóg tzw. minimum higienicznego. W Polsce nie ma specjalnych ustaleń prawnych dotyczących dopuszczalnego poziomu CO<sub>2</sub> w pomieszczeniach mieszkalnych, dlatego zaleca się tę samą wartość (CICHOWICZ i współaut. 2014). Informacje o maksymalnym stężeniu CO<sub>2</sub> znajdują się w rozporządzeniu dotyczącym dopuszczalnych stężeń czynników szkodliwych w środowisku pracy (Dz.U. 2014). Określono w nim najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) wynoszące 9000 mg·m<sup>-3</sup> (odpowiada ono wartości 5000 ppm) oraz najwyż-

Tabela 1. Jakość powietrza w budynkach niemieszkalnych (PKN 2008).

Kategoria	Różnica pomiędzy wartością CO <sub>2</sub> wewnątrz pomieszczenia i na zewnątrz w powietrzu [ppm]
1	<400
2	400–600
3	600–1000
4	>1000

sze dopuszczalne stężenie chwilowe (NDSch) o wartości 27.000 mg·m<sup>-3</sup> (15.000 ppm). Najwyższa dopuszczalna wartość (5000 ppm) rzadko występuje w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej, gdzie głównym źródłem CO<sub>2</sub> są ludzie. Podane normy mają ograniczyć szkodliwe oddziaływanie na ludzi dwutlenku węgla wydzielającego się w procesach produkcyjnych, podczas gdy normy ASHRAE i WHO podają dopuszczalne stężenie CO<sub>2</sub>, które w tym przypadku jest wskaźnikiem jakości powietrza w pomieszczeniach, gdzie głównym źródłem tego gazu są ludzie. Mimo iż stężenie dwutlenku węgla w ilościach wydzielanych podczas oddychania zwykle nie przekracza progu szkodliwości, to może stanowić bardzo dobry wskaźnik jakości powietrza w typowych pomieszczeniach bytowych, szkolnych, biurowych i in. Wykorzystując pomiar stężenia gazu jako wskaźnika jakości powietrza wewnętrznego, bardzo istotne jest powiązanie jego wartości ze stężeniem dwutlenku węgla w powietrzu zewnętrznym. Już w 1858 r. niemiecki fizjolog Max von Pettenkofer zaproponował graniczną wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych i użyteczności publicznej na poziomie 1000 ppm, jako akceptowalny przez ludzi limit dobrej jakości powietrza (PETTENKOFER 1858). Dopuszczał on więc trzykrotnie wyższe stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniu, w stosunku do jego ówczesnej zawartości w powietrzu atmosferycznym. Konsekwencją takiego założenia jest ustalenie niezbędnej ilości powietrza wentylacyjnego potrzebnego do rozcieńczenia wydalanego przez człowieka dwutlenku węgla (w zamkniętym pomieszczeniu) do postulowanej wartości 1000 ppm. Zakładając, że człowiek wydziela 18 dm<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>, zawartość w powietrzu zewnętrznym wynosi 400 ppm, a dopuszczalne jego stężenie w powietrzu wewnętrznym ustalimy na 1000 ppm, to niezbędna ilość powietrza wentylacyjnego wynosi  $V=0,018 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1} / (0,001-0,0004)=30 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Polski Komitet Normalizacyjny, zgodnie z dyrektywą Unii Europejskiej, opracował wytyczne dotyczące jakości powietrza wewnątrz budynków niemieszkalnych (Tabela 1), wpro-

Tabela 2. Oddziaływanie dwutlenku węgla w pomieszczeniach zamkniętych na zdrowie człowieka (opracowanie własne).

Stężenie CO <sub>2</sub> [ppm]	Wpływ na organizm człowieka
1000	Minimum higieniczne
~ 5000	Poczucie zmęczenia i dyskomfortu
~ 15 000	Zaburzenia równowagi kwasowo-zasadowej krwi i oddychania
~ 30 000	Zawroty i ból głowy, mdłości
~ 50 000	Utrudnione oddychanie, zaburzenie widzenia
~ 100 000	Utrata przytomności, a nawet śmierć

wadząc 4 kategorie na podstawie wartości określających różnicę stężenia CO<sub>2</sub> wewnątrz i na zewnątrz pomieszczenia ( $\Delta\text{CO}_2$ ).

#### JAK ZWIĘKSZONE STĘŻENIE CO<sub>2</sub> DZIAŁA NA ORGANIZM CZŁOWIEKA?

Ludzie wydychają powietrze wzbogacone w dwutlenek węgla (2–3%). Jeżeli znajdują się w małym lub słabo wentylowanym pomieszczeniu, a osób jest dużo, to stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu szybko wzrasta (CONSTANTIN i współaut. 2016). Gdy wdychamy takie powietrze, zawarty w nim dwutlenek węgla rozpuszcza się we krwi i reagując z wodą tworzy kwas węglowy (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Ten zaś dysocjuje na jony: wodorowy [H<sup>+</sup>] i wodorowęglanowy [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]. Wzrost ilości jonów wodorowych prowadzi z kolei do zakwaszania krwi i zaburzenia równowagi elektrolitów, a w efekcie do pogorszenia naszego samopoczucia i obniżenia aktywności. Już przy stężeniu CO<sub>2</sub> większym niż 5000 ppm nasila się poczucie zmęczenia, depresji i ogólnego dyskomfortu, stajemy się otepiali i mniej skłonni do wysiłku intelektualnego i fizycznego (CHMIELEWSKI 2011). Przy stężeniu CO<sub>2</sub> powyżej 15.000 ppm oddychanie jest utrudnione, a powyżej 30.000 ppm mogą wystąpić zawroty lub bóle głowy i mdłości (JONES 1999). Utrudnione oddychanie, zaburzenia widzenia mogą się pojawiać przy stężeniu 50.000 ppm, a przy 10.000 ppm może nastąpić utrata przytomności, a nawet śmierć (VERCRUYSEN i współaut. 2007). Opisane objawy zestawiono w Tabeli 2.

#### WPŁYW ZWIĘKSZONEJ ZAWARTOŚCI CO<sub>2</sub> W POWIETRZU NA PRACĘ UMYSŁOWĄ

Do niedawna uważano, że umiarkowanie podwyższone stężenie dwutlenku węgla (do

około 5000 ppm) powoduje jedynie przejściowy dyskomfort (ból głowy, złe samopoczucie, niepokój) bez istotnego wpływu na zdrowie, jakość wykonywanej pracy i funkcje umysłowe. Badacze węgierscy (KAJTAR i współaut. 2006) zakwestionowali taki pogląd, wykazując w dwóch doświadczeniach, że poddanie ludzi kontrolowanej ekspozycji na CO<sub>2</sub> o zawartości od 3000 ppm do 5000 ppm miało niekorzystny wpływ na czytanie tekstu ze zrozumieniem, jednak w krótkim doniesieniu konferencyjnym autorzy nie podali szczegółów. W innym eksperymencie, przeprowadzonym na 10 osobach, autorzy wykazali negatywny wpływ CO<sub>2</sub> o stężeniu 3000 ppm w ciągu 2–3 h na wyniki testów polegających na czytaniu ze zrozumieniem, ponadto zaobserwowali zwiększone ciśnienie rozkurczowe krwi oraz zmiany w rytmie pracy serca związane ze zwiększonym poziomem stresu i podnieceniem (KAJTAR I HERCZEG 2012).

SATISH i współaut. (2012) wykazali związek zwiększonego stężenia CO<sub>2</sub> z pogorszeniem się wyników pracy, zwiększeniem zaburzeń zdrowotnych i gorszą oceną jakości powietrza. Na 22 uczestnikach (6 grup) sprawdzano bezpośredni wpływ CO<sub>2</sub> o wartościach 600 ppm, 1000 ppm i 2500 ppm na zdolność podejmowania decyzji (testy w 9 wariantach o różnych rodzajach działań). Badano ich w specjalnie przystosowanym do tego celu pomieszczeniu biurowym. Każda grupa przebywała tam w trzech 2,5 godzinnych sesjach; wszystkie odbywały się jednego dnia, przy zachowaniu odpowiedniej kolejności grup. Dwutlenek węgla o stężeniu 600 ppm pochodził z oddychania uczestników i był uzupełniany z zewnętrznego źródła. Wydajność wentylacji i temperatura były stałe. W każdym wariantcie uczestnicy wypełniali test wymagający podejmowania decyzji i ankietę dotyczącą samopoczucia i jakości powietrza. Testy podzielono na 9 kategorii: aktywność podstawowa, aktywność stosowana, aktywność skupiona, orientacja zadaniowa, inicjatywa, wyszukiwanie informacji, wykorzystanie informacji, rozległość dostępu i podstawowa strategia. Uczestnicy nie byli informowani o poziomie stężenia CO<sub>2</sub>. Przy 600 ppm i 1000 ppm, CO<sub>2</sub>, umiarkowane (ale statystycznie istotne) pogorszenie wyników nastąpiło tylko w kategorii – wyszukiwania informacji. Przy 2500 ppm CO<sub>2</sub> zaobserwowano znaczne, statystycznie istotne pogorszenie aż w 7 kategoriach testów. Bezpośredni, niekorzystny wpływ zwiększonego stężenia CO<sub>2</sub> na pracę ludzi może mieć ważny aspekt ekonomiczny i może limitować pozorne oszczędności uzyskane na ograniczeniu zużycia energii wydatkowanej na klimatyzację i wentylację



(SATISH i współaut. 2012). W 2013 r. FISK i współaut. przeprowadzili podobny eksperyment, którego uczestnicy brali udział w teście decyzyjnym – komputerowej grze symulującej zarządzanie organizacją przechodzącą serię problemów i kryzysów. Test składał się z trzech części, trwających po 2,5 godziny, przeprowadzanych w losowej kolejności w identycznych warunkach. Zmieniało się jedynie stężenie CO<sub>2</sub> (600 ppm, 1000 ppm lub 2500 ppm). Okazało się, że już przy stężeniu 1000 ppm zarejestrowano obniżenie zdolności intelektualnych, a przy 2500 ppm inicjatywa i myślenie strategiczne uczestników zmniejszyły się do poziomu dysfunkcjonalnego. Podobnie zmniejszyła się zdolność wykorzystywania dostępnych informacji i integralna ocena problemu. Z kolei, ALLEN i współaut. (2015) 24 uczestników poddali 8-godzinemu działaniu CO<sub>2</sub> w stężeniach: 550 ppm, 945 ppm i 1400 ppm. Wykazali, że przy stężeniu 945 ppm i 1400 ppm w kilku kategoriach wykonywanych testów nastąpiło istotne pogorszenie wyników, w porównaniu z wynikami przy 550 ppm. Oznacza to, że negatywny wpływ długotrwałego oddziaływania zwiększonego stężenia CO<sub>2</sub> był rejestrowany przy poziomie niższym, niż w badaniach SATISH i współaut. (2012).

W swoich badaniach ZHANG i współaut. (2015), przez ponad 4 godz., poddawali 25 studentów działaniu dwutlenku węgla o stężeniu 500 ppm, 1000 ppm i 3000 ppm w specjalnych kamerach. Studenci rozwiązywali proste testy w kilku kategoriach, których wyniki pogarszały się w miarę wzrostu stężenia CO<sub>2</sub>. Ci sami badacze (ZHANG i współaut. 2016) nie stwierdzili jednak wpływu podwyższonego stężenia CO<sub>2</sub> o wartości 5000 ppm (względem 500 ppm) w ciągu 2,5 godz. badań na grupie 10 studentów, którzy nie sygnalizowali zmiany jakości powietrza ani pogarszania samopoczucia. Sugerowano więc, że uzyskane rezultaty mogą stanowić podstawę do weryfikacji aktualnie rekomendowanego limitu CO<sub>2</sub> na poziomie 5000 ppm, jednak podczas ekspozycji nie dłuższej niż 2,5 godz. w przypadku typowych prac biurowych.

PACURAR i CERNAZANU (2013), badając 18 studentów węgierskiej politechniki podczas ćwiczeń seminaryjnych w okresie letnim (czerwiec i lipiec), wykazali zależność między uzyskanymi ocenami a wzrastającym stężeniem CO<sub>2</sub> w sali seminaryjnej, w której podczas eksperymentu nie włączono wentylacji. W ciągu 3 godz. zajęć, stężenie CO<sub>2</sub> wzrosło od 400 ppm do 2200 ppm. Studenci uzyskali oceny tym niższe, im wyższy był poziom stężenia dwutlenku węgla. Autorzy podkreślili znaczenie wentylacji i kontroli stężenia dwutlenku węgla w salach dydaktycznych..

BAKÓ-BIRÓ i współaut. (2011) opisali eksperyment przeprowadzony w ośmiu angielskich szkołach podstawowych na grupie ponad 200 uczniów łącznie. W każdej szkole stężenie CO<sub>2</sub> było monitorowane przez trzy tygodnie w dwóch wybranych pomieszczeniach i wynosiło od 1000 ppm do 5000 ppm. Wyniki testów, polegających na zapamiętywaniu obrazów lub rozpoznawaniu wyrazów, wykonanych w salach o niższym poziomie CO<sub>2</sub> (włączona wentylacja) były lepsze od 8% do 15% niż w pozostałych salach.

## PODSUMOWANIE

W globalnym wzroście stężenia gazów cieplarnianych prym wiedzie dwutlenek węgla, którego zawartość w atmosferze przekroczyła rekordowy od 0,8 miliona lat poziom 400 ppm. Konsekwencjami tych zmian w składzie atmosfery są zmiany klimatu również o zasięgu globalnym. Niewiele osób zdaje sobie jeszcze sprawę, że współczesny model życia i działalności zawodowej, w połączeniu ze zmianami mikroklimatu miejskiego, stwarza nowe zagrożenia także dla sprawności intelektualnej. Upowszechnienie motoryzacji i znaczne zagęszczenie ludności na obszarach miast spowodowało kilkakrotny wzrost stężenia dwutlenku węgla w powietrzu miejskim, w porównaniu ze średnią wartością globalną. W celu utrzymania w pomieszczeniach stężenia CO<sub>2</sub> poniżej 1000 ppm (minimum higieniczne), niezbędna jest właściwie funkcjonująca instalacja wentylacyjna lub tradycyjne wietrzenie, którego efektywność maleje wraz ze wzrostem zewnętrznego stężenia CO<sub>2</sub> oraz wzrostem koncentracji toksycznych zanieczyszczeń gazowych i pyłowych. Znać jest ogólne przekonanie o negatywnym wpływie niewietrzonych pomieszczeń na samopoczucie i wydajność pracy umysłowej uczniów, pracowników biurowych, uczestników konferencji itp. Do niedawna uważano, że progiem wykrywalnej dysfunkcji intelektualnej jest stężenie CO<sub>2</sub> przekraczające 10.000 ppm, przy dopuszczalnym ustawowo w Polsce stężeniu 5000 ppm CO<sub>2</sub> (chwilowe nawet trzykrotnie wyższe). Ustawowe normy mają za zadanie ochronę przed trwałymi, ujemnymi zmianami w stanie zdrowia pracownika przy zachowaniu jego zdolności do wykonywania nieskomplikowanych czynności zawodowych. Na obecnym rynku pracy od większości zatrudnionych wymagane jest coraz lepsze przygotowanie do wykonywania czynności złożonych i wymagających sprawności intelektualnej. Nie jest przypadkiem, że w USA i innych krajach wysoko rozwiniętych zajęto się problemem oddziaływania podwyższonego stężenia CO<sub>2</sub> (w granicach

dopuszczalnej normy) na funkcje intelektualne. Badania były wykonywane głównie z udziałem studentów lub młodzieży szkolnej. Część badań miało charakter psycho-fizyczny i oprócz oceny sprawności umysłowej wprowadzono kontrolę stanu fizjologicznego uczestników. Testy były wykonywane z udziałem niewielkich zespołów, treści i zakres testów nie były standaryzowane, a eksperymetatorzy stosowali różne środki techniczne i programy badań. Z tych więc względów porównywanie opublikowanych wyników jest utrudnione i wymaga pewnej dozy krytycyzmu. Do najlepiej przygotowanych badań z profesjonalnie opracowanymi wynikami należą eksperymenty wykonane na uniwersytecie w Berkeley (USA) w latach 2011 i 2013. Badania prowadzono przy poziomach: 600 ppm, 1000 ppm i 2500 ppm CO<sub>2</sub>. Przy najwyższym stężeniu stwierdzono u badanych osób znaczne obniżenie zdolności do podejmowania inicjatywy i do oceny strategicznej.

Wyniki badań potwierdzono w eksperymencie wykonanym w 2013 r. w tym samym laboratorium i przy tych samych co poprzednio poziomach stężeń CO<sub>2</sub>, gdy uczestnicy brali udział w teście decyzyjnym symulującym zarządzanie organizacją w czasie kryzysu.

#### Streszczenie

Szczególnym składnikiem powietrza atmosferycznego jest dwutlenek węgla, którego zawartość systematycznie wzrasta i w 2015 r. przekroczyła 400 ppm. Według norm europejskich i amerykańskich w pomieszczeniach zamkniętych zawartość CO<sub>2</sub> nie powinna przekraczać 1000 ppm. Pomiary wykonane w pomieszczeniach szkolnych i salach uczelnianych wykazywały wielokrotne przekroczenie tej wartości, osiągając nawet 7000 ppm. Do niedawna uważano, że umiarkowanie podwyższone stężenie dwutlenku węgla (do ok. 5000 ppm) powoduje jedynie przejściowy dyskomfort (ból głowy, złe samopoczucie, niepokój), bez istotnego wpływu na funkcje umysłowe i jakość wykonywanej pracy. Coraz liczniejsze badania wskazują jednak na obniżoną zdolność percepcji i sprawność intelektualną, gdy zawartość CO<sub>2</sub> w pomieszczeniach przekracza 1400 ppm. W bardzo starannie przeprowadzonych eksperymentach amerykańskich wykazano, że nawet przy umiarkowanie podwyższonym poziomie (2500 ppm CO<sub>2</sub>) może nastąpić upośledzenie działań decyzyjnych, zdolność do podejmowania inicjatywy i umiejętność myślenia strategicznego.

#### LITERATURA

- ALLEN J. G., MACNAUGHTON P., SATISH U., SANTANAM S., VALLARINO J., SPENGLER J. D., 2015. *Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: a controlled exposure study of green and conventional office environments*. Environ. Health Perspect. 124, 6, 805-812.
- ASHRAE, 2007. *Ventilation for acceptable indoor air quality. Standard 62.1*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- BAKÓ-BIRÓ Zs., CLEMENTS-CROOME D. J., KOCHHAR N., AWBI H. B., WILLIAMS M. J., 2011. *Ventilation rates in schools and pupils' performance*. Build. Environ. 48, 1-9.
- CHMIELEWSKI K., 2011. *Świeże powietrze w domu, szkole i pracy*. Bud. Inż. Środ. 2, 443-447.
- CHMIELEWSKI K., 2012. *Jakość powietrza w budynkach a wentylacja powietrza*. Install Reporter 3, 54-55.
- CICHOWICZ R., GAWRON-SKARBEB A., GODALA M., ZIMNA-WALENDZIK E., SABINIAK H., SZATKO F., 2014. *Ocena stężenia dwutlenku węgla w powietrzu wybranych pomieszczeń uczelni wyższej*. Probl. Hig. Epidemiol. 95, 287-291.
- CICHOWICZ R., SABINIAK H., WIELGOSIŃSKI G., 2015. *The influence of a ventilation on the level of carbon dioxide in a classroom at a higher university*. Ecol. Chem. Eng. S 22, 61-71.
- CONSTANTIN D., MAZILESCU C. A., NAGI M., DRAGHICI A., MIHARTESCU A. A., 2016. *Perception of cabin air quality among drivers and passengers*. Sustainability 8, 852.
- Dz.U., 2014. *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy*. Dz. U. RP z 23 czerwca 2014 r. poz. 817.
- FISK W. J., SATISH U., MENDEL M. J., HOTCHI T., SULLIVAN D., 2013. *Is CO<sub>2</sub> an indoor pollutant? Higher levels of CO<sub>2</sub> may diminish decision making performance*. REHWA 10, 63.
- GŁADYSZEWSKA-FEDORUK K., 2011. *Analysis of stack ventilation system effectiveness in an average kindergarten in north-eastern Poland*. Energy Build. 43, 2488-2493.
- JONES A. P., 1999. *Indoor air quality and health*. Atm. Environ. 33, 4535-4564.
- KAJTAR L., HERCZEG L., 2012. *Influence of carbon-dioxide concentration on human well-being and intensity of mental work*. Q. J. Hung. Meteorol. Serv. 116, 145-169.
- KAJTAR L., HERCZEG L., LANG E., HRUSTINZKY T., BANHIDI L., 2006. *Influence of carbon dioxide pollutant on human well-being and work intensity*. Proc. Int. Conf. 'Healthy Buildings 2006', Lisboa 4-8.07.2006, 1, 85-90.
- MAINKA A., ZAJUSZ-ZUBEK E., 2015. *Indoor air quality in urban and rural preschools in upper Silesia, Poland: particulate matter and carbon dioxide*. Int. J. Environ. Res. Public Health, 12, 7697-7711.
- PACURAR C., CERNAZANU C., 2013. *A study of CO<sub>2</sub> influence on student activity in classroom*. Rev. Română Ing. Civ. 4, 2, 79-88.
- PETTENKOFER M. V., 1858. *Über den Luftwechsel in Wohngebäuden*. München, Cotta'schenbuchhandlung.
- PKN, 2008. *Wentylacja budynków niemieszkalnych. Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji*. PN-EN 13779:2008. Polski Komitet Normalizacyjny.
- SATISH U., MENDELL M., SHEKHAR K., HOTCHI T., SULLIVAN D., STREUFERT S., FISK W., 2012. *Is CO<sub>2</sub> an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO<sub>2</sub> concentrations on human decision-making performance*. Env. Health Persp. 120, 1671-1677.
- SKÓRSKA E., BASHUTSKA U., STANKOWSKI S., 2009. *Measurements of carbon dioxide concentration [CO<sub>2</sub>] in atmosphere and influence of enhanced [CO<sub>2</sub>] on plants of wheat (Triticum aestivum L.)*. UNFU Sci. J. Ukraine 19.15, 198-205.
- VERCRUYSSSEN M., KAMON E., HANCOCK P. A., 2007. *Effects of carbon dioxide inhalation on psycho-*

- motor and mental performance during exercise and recovery.* Int. J. Occupat. Safety Ergon. 13, 15-27.
- WHO, 2000. *Air Quality Guidelines for Europe.* World Health Organization Regional Office for Europe Copenhagen WHO Regional Publications. European Series 91.
- ZHANG X., WARGOCKI P., LIAN Z., 2015. *Effects of exposure to carbon dioxide and human bioeffluents on cognitive performance.* Proc. Eng. 121, 138-142.
- ZHANG X., WARGOCKI P., LIAN Z., 2016. *Human responses to carbon dioxide, a follow-up study at recommended exposure limits in non-industrial environments.* Build. Environ. 100, 162-171.

#### PODZIĘKOWANIE

Autorzy dziękują Panu Ralfowi Keelingowi z Scripps CO<sub>2</sub> Program za wyrażenie zgody na zamieszczenie w artykule aktualnej krzywej Keelinga.

#### KOSMOS Vol. 65, 4, 631–636, 2016

ANTONI MURKOWSKI, ELŻBIETA SKÓRSKA

*Department of Physics and Agrophysics, Faculty of Environment Management and Agriculture, West Pomerania University of Technology in Szczecin, Papieża Pawła VI, 71-459 Szczecin, e-mail: eskorska@zut.edu.pl*

#### DOES THE INCREASED CARBON DIOXIDE CONTENT IN THE AIR HAVE AN EFFECT ON HUMAN INTELLECTUAL PERFORMANCE?

##### Summary

Carbon dioxide is a specific component of atmospheric air, its content steadily increases, and in 2015 it exceeded 400 ppm. According to European and American standards indoor CO<sub>2</sub> content should not exceed 1000 ppm. Measurements taken in school classrooms and university auditoria showed that this value was exceeded multifold, reaching reaching even 7000 ppm. Until recently it was thought that a moderately elevated levels of carbon dioxide (up to approx. 5000 ppm) cause only temporary discomfort (headaches, feeling unwell, anxiety), without significantly affecting the quality of work and mental functions. Increasing number of observations indicate a decreased ability of perception and intellectual performance, when the CO<sub>2</sub> content in the room exceeds 1400 ppm. Very carefully conducted experiments in USA have demonstrated that even moderately elevated levels (2500 ppm CO<sub>2</sub>) can impair decision-making activities, the ability to take initiative and ability to think strategically.