

dr MAŁGORZATA POŚNIAK
mgr IVAN MAKHNIASHVILI
mgr EWA KOZIEŁ
dr inż. ELŻBIETA JANKOWSKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Zanieczyszczenia chemiczne w pomieszczeniach pracy biurowej – ocena narażenia

Wprowadzenie

Lotne związki organiczne, m.in. węglowodory alifatyczne i aromatyczne, estry, chlorowcopolodne, związki karbonylowe, fenol i jego pochodne, ponadto ozon, tlenki azotu oraz ditlenek węgla, mają istotny wpływ na jakość powietrza w pomieszczeniach pracy biurowej. Ze względu na jednoczesne występowanie wielu czynników, najczęściej w niskich stężeniach, ocena narażenia na czynniki chemiczne występujące w pomieszczeniach biurowych jest zagadnieniem niezwykle trudnym metodycznie.

Źródła substancji chemicznych w pomieszczeniach pracy biurowej to przede wszystkim:

- zastosowane materiały budowlane i wykończeniowe, m.in. farby, tapety, materiały ociepleniowe, wykładziny podłogowe
- podstawowy sprzęt biurowy – biurka, regały, krzesła, fotele itd. znajdujące się w pomieszczeniu
- zanieczyszczenia chemiczne powietrza atmosferycznego wprowadzane przez funkcjonujące w pomieszczeniach systemy wentylacyjne
- kosmetyki stosowane przez personel
- palenie tytoniu.

Dodatkowym źródłem zanieczyszczeń, szczególnie w biurowych pomieszczeniach pracy, mogą być także użytkowane w nich takie urządzenia, jak kserokopiarki czy drukarki laserowe.

Badania chemicznych zanieczyszczeń powietrza w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej są od szeregu lat przedmiotem prac badawczych w różnych ośrodkach, przede wszystkim w Kanadzie i USA, jak również w państwach UE. Problem ten jest również przedmiotem prac badawczych realizowanych w Polsce, m.in. przez Zakład Ochrony Środowiska Instytutu Techniki Budowlanej, Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Warszawskiej, Państwowy Zakład Higieny. Od wielu lat również jednostki nadzoru sanitarnego wykonują

chemiczne zanieczyszczenia powietrza mają istotny wpływ na jakość powietrza w pomieszczeniach pracy biurowej. W artykule omówiono wyniki badań i oceny narażenia na lotne związki organiczne w 50 pomieszczeniach budynków biurowych. Przeprowadzone badania identyfikacyjne wykazały obecność wieloskładnikowych mieszanin związków chemicznych. Związki te występowały w stężeniach, które mogą mieć wpływ na występowanie zespołu chorego budynku SBS u pracowników, szczególnie w budynkach nie klimatyzowanych. Ze względu na brak w przepisach krajowych kryteriów umożliwiających ocenę czystości powietrza i oceny narażenia na substancje chemiczne w pomieszczeniach pracy biurowej, zaproponowano stosowanie jako wartości dopuszczalnej – stężenie TVOCs – 200 µg/m³. Przeprowadzone badania wykazały przekroczenie tej wartości w 58% badanych pomieszczeń w budynkach z systemem wentylacji naturalnej oraz w 45% badanych pomieszczeń w budynkach klimatyzowanych.

Volatile organic compounds in office buildings – assessment of exposure

Assessment of exposure to volatile organic compounds (VOCs) in office buildings was the aim of this study. Identification and determination of VOCs in the working environment were carried out in 50 offices, twice over the period of a year. A multicomponent mixture of chemical compounds was detected in the indoor air of the investigated offices. Because of the absence of health-based indoor air quality standards for the office working environment, either in Poland or in other countries, VOC exposure assessment was carried out in accordance with the limit value for total volatile organic compounds – 200 µg/m³ – recommended by Molhave. The experimental results showed that VOC concentrations in 58% of offices with natural ventilation systems, and 45% with air conditioning, exceeded the recommended level.

ekspertyzy dotyczące oceny poziomu stężeń substancji chemicznych w tego typu pomieszczeniach [1–4]. Na podstawie dotychczasowych wyników badań nie jest możliwa ocena stanu chemicznego zanieczyszczenia powietrza w budynkach na terenie całego kraju, ze względu na fakt, że wyniki te nie były efektem stałego monitoringu. Były to głównie wyniki badań wykonanych na skutek skarg mieszkańców lub pracowników (ponad 65% analiz), dające obraz stanu jakości powietrza w pomieszczeniach budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej jedynie przybliżony do stanu rzeczywistego.

Z publikowanych krajowych danych dotyczących chemicznych zanieczyszczeń powietrza wynika, że niektóre substancje chemiczne – formaldehyd, toluen, ksyleny, fenol, naftalen występują w tych pomieszczeniach w stężeniach przekraczających wartości dopuszczalnych stężeń ustalonych w odniesieniu do pomieszczeń przeznaczonych na pobyt ludzi [5]. Mogą więc być przyczyną występowania objawów zespołu syndromu chorego budynku (SBS) u mieszkańców, jak również pracowników.

Jednym z celów realizowanego w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym zadania badawczego dotyczącego kształtowania jakości powietrza w pomieszczeniach biurowych była ocena

narażenia pracowników biurowych na lotne związki organiczne.

Metodyka badań i oceny narażenia

Badania związków organicznych przeprowadzono w 50 wytypowanych pomieszczeniach biurowych w pięciu budynkach A, B, C, D i E usytuowanych w różnych rejonach Warszawy, w tym w trzech budynkach nowo wybudowanych, posiadających systemy klimatyzacyjne lub wentylacyjne oraz w dwóch budynkach wybudowanych w latach pięćdziesiątych, wyposażonych w wentylację mechaniczną lub grawitacyjną.

Pomiary chemicznych zanieczyszczeń powietrza przeprowadzono dwukrotnie – w okresie wiosenno-letnim (I tura pomiarowa) oraz jesienno-zimowym (II tura).

Lotne związki organiczne po zaadsorbowaniu w rurkach pochłaniających z węglem aktywnym oznaczano, stosując metodę chromatografii gazowej z detekcją płomieniowo-jonizacyjną. Związki karbonylowe w postaci pochodnych – 2,4-dinitrofenylohydrazonów, oznaczano metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej z detekcją spektrofotometryczną.

Ocena narażenia pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy biurowej jest trudnym zagadnieniem, przede wszystkim ze względu na brak jednolitych kryteriów tej oceny w Polsce, jak również w innych państwach Unii Europejskiej.

Wytyczne UE, dotyczące oceny jakości powietrza w pomieszczeniach biurowych, zalecają do oceny narażenia wykorzystywanie wartości dopuszczalnych stężeń w powietrzu atmosferycznym [6]. Proponują również wykorzystywanie zalecanych przez Seiferta [3] i Molhave [2] dopuszczalnych wartości dla grup związków organicznych, które umożliwiają objęcie oceną narażenia większości występujących w powietrzu substancji organicznych. Podstawowym kryterium do ustalenia tych wartości dopuszczalnych było zapewnienie komfortu w pomieszczeniach pracy biurowej.

Wykorzystanie do oceny narażenia pracowników w pomieszczeniach biurowych dopuszczalnych wartości odnoszących się do powietrza atmosferycznego jest nieprawidłowe, ponieważ odnoszą się one do okresu dobowego lub dłuższego. Również wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń ustalone dla środowiska pracy [7], pomimo że pomieszczenia biurowe stanowią miejsce pracy zatrudnionych w nich osób, nie są odpowiednim kryterium oceny zagrożeń dla ich zdrowia, przede wszystkim ze względu na fakt, że nie występują w nich technologiczne źródła emisji substancji chemicznych, poza pomieszczeniami, w których pracują kserokopiarki wydzielające ozon i tlenki azotu.

Z tego względu ocenę narażenia na substancje chemiczne w objętych badaniami pomieszczeniach biurowych przeprowadzono w odniesieniu do:

- dopuszczalnego stężenia lotnych związków organicznych przeliczonych na toluen (TVOCs) – $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ proponowanego przez Molhave [2]

- dopuszczalnych stężeń odnoszących się do grup związków różniących się toksycznością (węglowodory aromatyczne – $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, węglowodory alifatyczne – $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, związki karbonylowe – $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, estry – $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oraz dla TVOCs – $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ proponowanych przez Seiferta [3].

Wyniki oceny narażenia

Przeprowadzone pomiary organicznych zanieczyszczeń powietrza wykazały występowanie wieloskładnikowych mieszanin związków organicznych w powietrzu we wszystkich wytypowanych do badań pomieszczeniach biurowych w budynkach A, B, C, D i E zarówno w okresie wiosenno-letnim, jak również jesienno-zimowym.

Badania identyfikacyjne chemicznych zanieczyszczeń powietrza w pomieszcze-

SUBSTANCJE CHEMICZNE WYSTĘPUJĄCE W POWIETRZU POMIESZCZEŃ BIUROWYCH

Lp.	Nazwa związku	Numer CAS	Czas retencji, min
1.	3-Metylopentan	96-14-0	6,39
2.	<i>n</i> -Heksan	110-54-3	6,67
3.	Benzen	071-43-2	6,90
4.	2-Metylopropan-1-ol	78-83-1	6,99
5.	2-Metyloheksan	591-76-4	7,07
6.	3-Metyloheksan	589-34-4	7,22
7.	2,4-Dimetylopentan	108-08-7	7,34
8.	<i>n</i> -Heptan	142-82-5	7,64
9.	<i>n</i> -Butanol	71-36-3	7,93
10.	3,3-Dimetylopentan	562-49-2	8,04
11.	4-Metylopentanon	108-10-1	8,08
12.	1-Etoksypropan-2-ol	1569-02-4	8,40
13.	Toluen	121-46-0	8,87
14.	2-Metyloheptan	592-27-8	9,10
15.	3-Metyloheptan	589-81-1	9,29
16.	Octan butylu	123-86-4	9,90
17.	Heksametylocyklotrisiloksan	541-05-9	10,65
18.	Etylobenzen	100-41-4	11,34
19.	<i>m</i> - i <i>p</i> -Ksylen	108-38-3 106-42-3	11,60
20.	3-Metylooktan	2216-33-3	12,05
21.	Styren	100-42-5	12,11
22.	<i>o</i> -Ksylen	095-47-6	12,26
23.	<i>n</i> -Nonan	111-84-2	12,88
24.	Kumen	098-82-8	13,27
25.	α -Pinen	080-56-8	13,89
26.	<i>n</i> -Propylobenzen	103-65-1	14,17
27.	1-Etylo-2-metylobenzen	611-14-3	14,42
28.	1,2,4-Trimetylobenzen	095-63-6	14,65
29.	1,3,5-Trimetylobenzen	108-67-8	15,44
30.	1,3- i 1,4-Dichlorobenzen	541-73-1 106-46-7	15,74
31.	<i>n</i> -Dekane	124-18-5	16,04
32.	1,2,3-Trimetylobenzen	526-73-8	16,28
33.	2,3-Dihydroinden	496-11-7	16,63
34.	Limonen	138-86-3	16,74
35.	4-Metylodekane	2847-72-5	16,80
36.	<i>n</i> -Butylocykloheksan	1678-93-9	16,99
37.	1-Metylo-2-propylobenzen	1074-17-5	17,26
38.	4-Metylodekane	2847-72-5	17,95
39.	Izomer metylopropylobenzenu	–	18,07
40.	Izomer metylopropylobenzenu	–	18,28
41.	Izomer metylopropylobenzenu	–	18,89
42.	<i>n</i> -Undekane	1120-21-4	19,15
43.	1,2,4,5-Tetrametylobenzen	095-93-2	19,37
44.	Naftalen	91-20-3	19,89
45.	1,2-Dimetylo-4-etylobenzen	934-80-5	20,30
46.	1,2,3,4-Tetrahydro-naftalen	119-64-2	20,47
47.	Izomer metylobutylobenzenu	–	20,78
48.	<i>n</i> -Dodekane	112-40-3	22,11
49.	2,6-Dimetyloundekane	17301-23-4	22,56
50.	<i>n</i> -Tridekane	629-50-5	24,90
51.	<i>n</i> -Tetradekane	629-59-4	27,55
52.	1,4-Metyloazulan	475-20-7	27,84
53.	Oktakosan	630-02-4	41,39
54.	Ftalan dibutyli	84-74	45,14
55.	Flatan di(2-etyloheksylu)	117-81-7	52,16

niach biurowych, z zastosowaniem chromatografii gazowej połączonej ze spektrometrią masową, umożliwiły zidentyfikowanie 55 związków chemicznych spośród ok. 150 obecnych w pobranych próbkach powietrza (tabela). Obecność tych związków stwierdzono również w powietrzu atmosferycznym, ale w stężeniach niższych od stężeń oznaczonych w pomieszczeniach biurowych.

Suma średnich stężeń ważonych oznaczonych węglowodorów alifatycznych w 50 pomieszczeniach budynków A, B, C,

D i E w I turze pomiarowej była w zakresie od $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a w II turze – od $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do $318 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najwyższe stężenia węglowodorów alifatycznych występowały w budynku A i D. Średnie stężenie ważone węglowodorów alifatycznych (z 10 objętych badaniami pomieszczeń) było najwyższe w budynku A w II turze pomiarowej i wynosiło $83,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (rys. 1.) i nie przekraczało dopuszczalnej wartości dla tej grupy związków – $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zalecanej przez Seiferta [3]. Przeprowadzone badania wykazały,

że poziom stężeń węglowodorów alifatycznych w poszczególnych budynkach był bardzo zróżnicowany. Mogło to być spowodowane różnym poziomem stężeń tych substancji w powietrzu atmosferycznym wprowadzanym do badanych pomieszczeń biurowych poprzez system wentylacyjno-klimatyzacyjny.

Węglowodory aromatyczne, pochodzące głównie z materiałów stosowanych do wykańczania pomieszczeń biurowych oraz z wyposażenia, ale również z powietrza atmosferycznego, występowały w każdym z objętych badaniami pomieszczeń we wszystkich budynkach. Średnie stężenia ważone sumy stężeń węglowodorów aromatycznych w 50 objętych badaniami pomieszczeniach budynków A, B, C, D i E były w I turze w zakresie od 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 582,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a w II turze – w zakresie od 4,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 150,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Średnie stężenia ważone węglowodorów aromatycznych w poszczególnych budynkach (obliczone z 10 pomieszczeń) były w I turze pomiarowej w zakresie od 37,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 229,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, w II turze od 21,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 65,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

(rys. 2.). Podobnie jak w przypadku węglowodorów alifatycznych najwyższe stężenia węglowodorów aromatycznych stwierdzono w budynku A, w którym w I turze pomiarowej stężenie ważne 4,5-krotnie przekraczało wartość dopuszczalnego stężenia dla tej grupy związków – 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wg Seiferta.

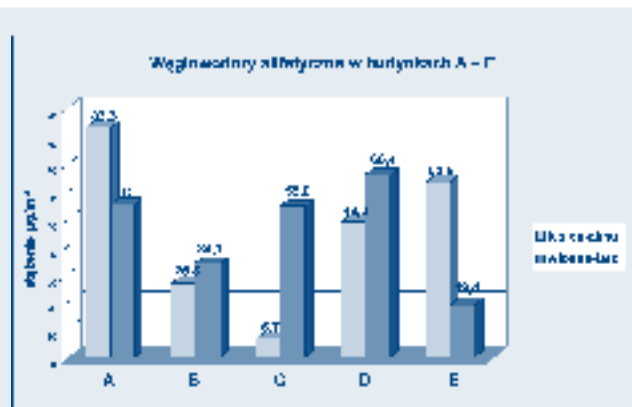
Obecność rakotwórczego benzenu stwierdzono w 27 pomieszczeniach zarówno w I turze jak również w II turze badań. Średnie stężenie ważne docho- dziło do 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (DS – 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Średnie stężenia związków karbonylowych (bez formaldehydu) w poszczególnych budynkach A, B, C, D i E były w zakresie od 36,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 206,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, w I turze pomiarowej, a w II turze od 11,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 51,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (rys. 3.). W I turze we wszystkich budynkach objętych badaniami związki karbonylowe występowały w stężeniach większych od wartości dopuszczalnej (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) proponowanej dla tej grupy związków przez Seiferta.

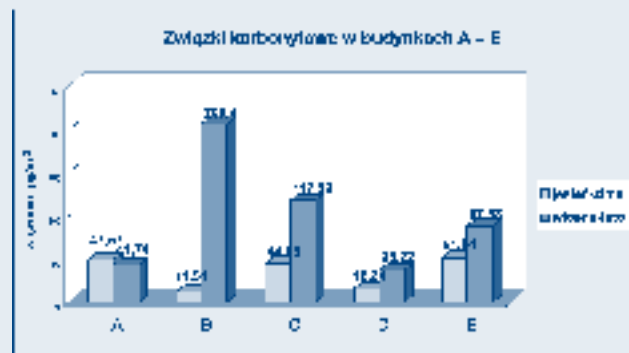
Formaldehyd – związek prawdopodobnie rakotwórczy dla ludzi, wydzielający się z zastosowanych w pomiesz-

czeniu wykładzin dywanowych, mebli, a także żywic i klejów zastosowanych na etapie wykańczania budynków, oznaczono we wszystkich pomieszczeniach objętych badaniami w I i II turze pomiarowej. Średnie stężenia ważone we wszystkich pomieszczeniach były wielokrotnie mniejsze od wartości dopuszczalnej ustalonej w krajowych przepisach (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). W I turze pomiarowej zakres średnich stężeń ważonych w poszczególnych pomieszczeniach budynku A, B, C, D i E wynosił od 2,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 32,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast w II turze stężenia te były mniejsze i wynosiły od 2,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 6,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (rys. 4.). Najwyższe stężenia stwierdzono w pomieszczeniach budynku E w I turze pomiarowej, ale były one ok. 5-krotnie mniejsze od wartości dopuszczalnej ustalonej w krajowych przepisach dla tego związku.

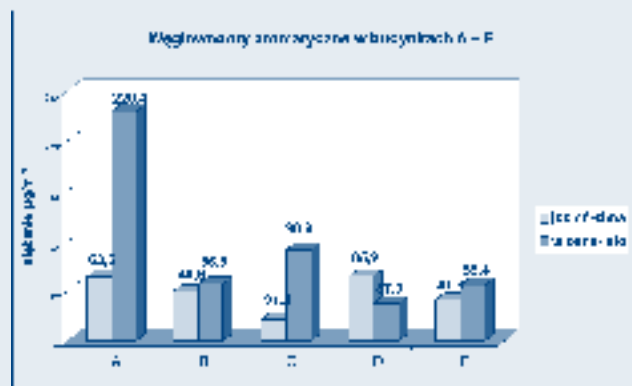
Suma lotnych związków organicznych w przeliczeniu na toluen (TVOCs) była w zakresie od 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 1314 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w I turze pomiarowej oraz od 21,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 527 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w II turze. Średnie stężenia ważone TVOCs od-



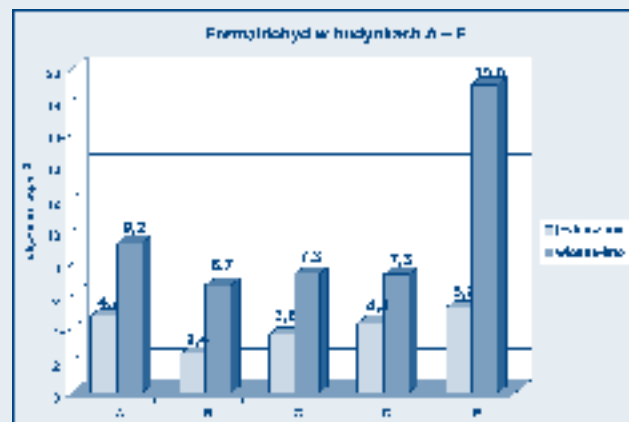
Rys. 1. Średnie stężenia ważone węglowodorów alifatycznych w budynkach A – E; I i II tura pomiarowa



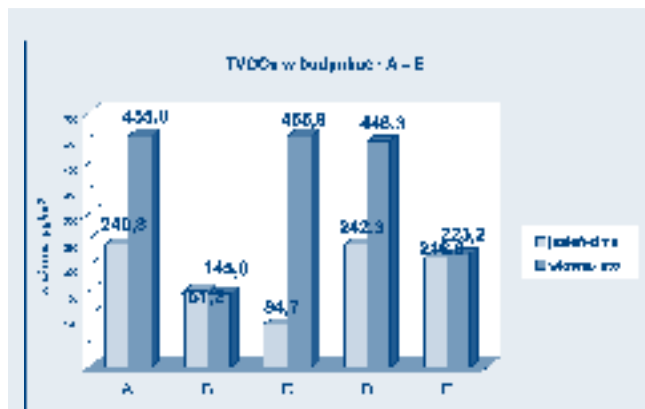
Rys. 3. Średnie stężenia ważone związków karbonylowych w budynkach A – E; I i II tura pomiarowa



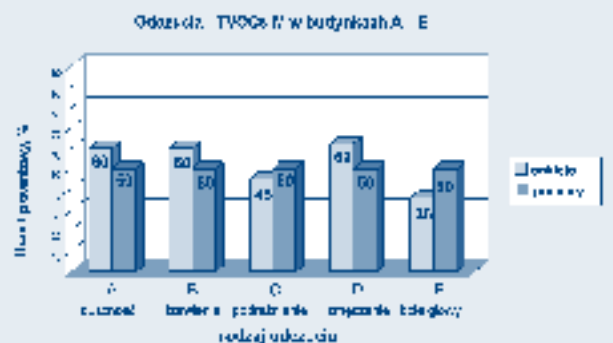
Rys. 2. Średnie stężenia ważone węglowodorów aromatycznych w budynkach A – E; I i II tura pomiarowa



Rys. 4. Średnie stężenia ważone formaldehydu w budynkach A – E; I i II tura pomiarowa



Rys. 5. Średnie stężenia ważone TVOCs w budynkach A – E; I i II tura pomiarowa



Rys. 6. Porównanie wyników pomiarów lotnych związków organicznych, dla których stwierdzono przekroczenie dopuszczalnego stężenia wg Molhave, z wynikami ankiety dotyczącej odczuć pracowników w budynkach A, B, C, D i E

noszące się do poszczególnych budynków (obliczone z 10 pomieszczeń) w budynkach A, C i D przekraczały wartość dopuszczalnego stężenia – 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zalecaną przez Seiferta. Natomiast wartość dopuszczalna – 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ proponowana przez Molhave była przekroczona dodatkowo w budynku E (rys. 5.).

Przeprowadzone badania i ocena narażenia na lotne związki organiczne w pomieszczeniach biurowych w budynkach A – E wykazały bardzo duże rozbieżności uzyskanych wyników oceny narażenia na lotne związki organiczne w przeliczeniu na toluen, w porównaniu do kryteriów proponowanych przez Molhave i Seiferta.

W przypadku przyjęcia kryteriów proponowanych przez Molhave stężenia TVOCs w 62% pomieszczeń w I turze pomiarowej i 38% pomieszczeń w II turze pomiarowej przekraczały dopuszczalną wartość, a więc mogły być przyczyną syndromu chorego budynku (SBS). Natomiast liczba pomieszczeń oceniona w odniesieniu do dopuszczalnego stężenia proponowanego przez Seiferta dla TVOCs była mniejsza i wynosiła w I turze – ok. 36% i w II turze 16%.

W celu wyboru odpowiedniego kryterium, które należy wykorzystywać do oceny czystości powietrza w pomieszczeniach biurowych, jak również w innych przeznaczonych na pobyt ludzi, została przeprowadzona analiza porównawcza wyników obiektywnych (wyników po-

miarów) z wynikami subiektywnymi (wynikami badań ankietowych).

Porównano procentowy udział pomieszczeń, w których występowało przekroczenie dopuszczalnych stężeń proponowanych przez Seiferta oraz Molhave w badanych budynkach A – E, z procentowym udziałem pracowników ankietowanych odczuwających dolegliwości – duszność, bóle głowy, zmęczenie, podrażnienie górnych dróg oddechowych, łzawienie oczu. Wyniki oceny narażenia na TOVCs w odniesieniu do propozycji Seiferta były znacznie niższe w porównaniu do wyników ankiety w przypadku wszystkich pięciu odczuwanych przez pracowników dolegliwości, w niektórych przypadkach nawet dwukrotnie niższe. Dobrą zgodność wyników pomiarów z subiektywną oceną pracowników uzyskano w przypadku oceny narażenia dokonanej w odniesieniu do dopuszczalnego stężenia proponowanego przez Molhave (rys. 6.), co sugeruje, że wartość dopuszczalnego stężenia 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla TOVCs jest właściwszym kryterium oceny od wartości 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ proponowanej przez Seiferta.

Ocena narażenia na lotne związki organiczne w odniesieniu do dopuszczalnej wartości zaproponowanej przez Molhave wykazała przekroczenie tej wartości w 45% badanych pomieszczeń w budynkach klimatyzowanych lub wentylowanych (budynki A – C) oraz w 58% badanych pomieszczeń w budynkach nie klimatyzowanych (budynki D – E).

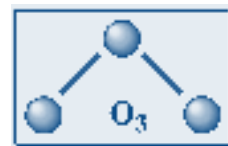
Podsumowanie

Analiza wyników badań i oceny narażenia na związki organiczne w pomieszczeniach biurowych w objętych badaniami budynkach A – E wskazuje, że związki te występują w stężeniach, które mogą mieć wpływ na występowanie syndromu chorego budynku SBS u pracowników, szczególnie w budynkach nie klimatyzowanych. Obecność benzenu i formaldehydu w powietrzu badanych pomieszczeń, ze względu na ich działanie rakotwórcze, może być niebezpieczna dla przebywających tam osób.

Ze względu na brak w przepisach krajowych kryteriów umożliwiających ocenę czystości powietrza i ocenę narażenia na substancje chemiczne w pomieszczeniach pracy biurowej, proponujemy stosować jako dopuszczalną wartość dla TVOCs – 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zalecaną przez Molhave.

W celu uzyskania właściwej czystości powietrza w odniesieniu do substancji chemicznych jest konieczne eliminowanie źródeł ich emisji, a przede wszystkim właściwy wybór materiałów budowlanych i wyposażeniowych na etapie budowania, wykańczania oraz remontów i modernizacji pomieszczeń, a także właściwe ich użytkowanie. Istotny wpływ na poziom stężeń substancji chemicznych w powietrzu pomieszczeń biurowych mają instalacje wentylacyjne

doc. dr hab. ZBIGNIEW MAKLES
dr inż. MAGDALENA GALWAS-ZAKRZEWSKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy



i klimatyzacyjne. Należy utrzymywać instalacje wentylacyjne i klimatyzacyjne we właściwym stanie higienicznym, zapewniającym bezpieczeństwo zdrowia ludzi oraz w stanie technicznym, zapewniającym sprawność i niezawodność działania systemów.

PIŚMIENNICTWO

[1] Łubkowska J., Kowalewski J. *Zanieczyszczenia chemiczne powietrza w budynkach przeznaczonych dla dzieci, na tle ogólnego zanieczyszczenia wewnętrznego powietrza*. Materiały konferencyjne – *Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce. Jakość powietrza w budynkach edukacyjnych*. Warszawa 2001

[2] Molhave L. *The Sick Building Syndrome Caused by Exposure to Volatile Organic Compounds*. In Weeks D. M., Gammage R. B. (Eds.) *The Practitioner's Approach to Indoor Air Quality Investigation*, 1-18, 1990. American Industrial Hygiene Association, Arkon, Ohio

[3] Seifert B. *Regulation Indoor Air*. Indoor Air '90, 5, 35-49. International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Ottawa 1990

[4] Sowa J. *Wentylacja a jakość powietrza w budynkach szkolnych*. Materiały konferencyjne – *Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce. Jakość powietrza w budynkach edukacyjnych*. Warszawa 2001

[5] Zarządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 12 marca 1996 r. w sprawie dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia, wydzielanych przez materiały budowlane, urządzenia i elementy wyposażenia w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi. Mon. Pol. nr 19, poz. 231

[6] *A review of indoor air quality and its impact on the health and well-being of office workers*. Report EUR 14029, EN Directorate-General Employment, Industrial Relations and Social Affairs, Brussels-Luxembourg, 1992

[7] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 217, poz. 1833

Publikacja opracowana na podstawie wyników badań objętych projektem celowym zamawianym nr PCZ 15-21 pt. „System kształtowania jakości powietrza w budynkach biurowych” (profilaktyka tzw. zespołu chorego budynku) dofinansowywanym przez Komitet Badań Naukowych i Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej w latach 2001-2004. Wykonawca: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Ozon – bezpieczeństwo ludzi i środowiska

Ozon odgrywa fundamentalną rolę w zachowaniu życia na Ziemi. Jego obecność w stratosferze zapobiega destruktywnemu oddziaływaniu promieniowania ultrafioletowego na przyrodę ożywioną, ma również wpływ na warunki pogodowe w różnych strefach geofizycznych globu ziemskiego. W materiale przedstawiono informacje o tym połączeniu, jego gospodarczym znaczeniu i wykorzystaniu oraz o czynnikach chemicznych zubożających warstwę ozonową, a także o zagrożeniach dla ludzi i środowiska powodowanych zmniejszaniem się zawartości ozonu w atmosferze ziemskiej. Podano również przepisy prawne związane z ogólnie pojętą ochroną środowiska.

Ozone – the safety of people and the environment

Ozone is an essential matter in life on Earth. Its presence in the stratosphere protects the living nature from the destructive effect of ultraviolet radiation. It affects weather conditions in various geophysical zones. In this paper we report on the economic importance of information about the impact of ozone on nature, ozone utilization and the effect of chemical substances depleting the ozone layer. In addition, we present regulations related to the environment and consequently to the protection of the atmosphere.

Atmosfera ziemska jest mieszaniną różnych gazów, których pochodzenie nie zostało jeszcze wyjaśnione. Istnieją różne hipotezy powstania atmosfery ziemskiej. Obecność gazów szlachetnych jest wiązana z przestrzenią kosmiczną i wyzwaniem się ich z roztopionej magmy. Dytlenek węgla w dużych stężeniach wprowadzony został do atmosfery w trakcie zachodzenia procesów wulkanicznych, natomiast tlen swoje pochodzenie w atmosferze zawdzięcza przemianom chemicznym przebiegającym w wierzchnich warstwach ziemi, a także po ukształtowaniu się biosfery, w wyniku procesów zachodzących z udziałem żywych organizmów. Obecny skład chemiczny atmosfery (azot 78%, tlen 20,94%, argon 0,9%, sumarycznie neon, hel, krypton, wodór, metan 0,1%, para wodna do 4%, ditlenek węgla 0,03%, reszta – ditlenek siarki, chlorek sodu, aerozole, pyły) ustalił się 1,6 ÷ 1,7 miliarda lat temu. Stężenie tlenu najważniejszego życiodajnego pierwiastka na ziemi podlega ustawicznym wahaniom. Jest ono zmniejszane przez procesy oddychania żywych organizmów oraz pochłaniania chemicznego przebiegającego na powierzchni skał, a uzupełniane głównie na drodze fotosyntezy.

Tlen jako pierwiastek występuje w dwóch odmianach alotropowych. W odróżnieniu od dwuatomowej cząsteczki (O₂) istnieje jeszcze jego odmiana trójatomowa (O₃), zwana ozonem. W normalnych warunkach ozon jest

ostro pachnącym wybuchowym gazem barwy błękitnej o silnych właściwościach utleniających. Gazowy ozon skrapla się poniżej temperatury – 111,9 °C, została poniżej temperatury – 192,7 °C.

Najbardziej prawdopodobną budową cząsteczki ozonu jest forma z dwoma jednakowymi wiązaniami tlen-tlen o długości 0,1278 ± 0,003 nm i kącie między nimi 116° 49' ± 30" [1-3].

Ozon charakteryzuje się dwiema cechami – nietrwałością i silnymi właściwościami utleniającymi. W niskich temperaturach i stężeniach czysty rozkłada się wolno. W wyższych temperaturach szybkość rozpadu wzrasta. Mechanizm rozpadu, w którym uczestniczą procesy homogeniczne i heterogeniczne, jest złożony. Przyspieszają go niektóre gazy (tlenek azotu, chlor) i metale (platyna) oraz tlenki srebra, miedzi, żelaza, chromu, niklu. Przy dużych stężeniach ozonu proces rozpadu przebiega wybuchowo. W stanie ciekłym i stałym ozon może być stosowany jako materiał wybuchowy i inicjujący.

Ozon jest wykorzystywany w wielu dziedzinach gospodarki, m.in. do:

- uzdatniania wody do picia i celów gospodarczych
- uzdatniania wód chłodniczych
- bielenia włókien, papieru, wełny, słomy, juty, jedwabiu i innych materiałów
- oczyszczania ścieków przemysłowych
- konserwacji i ochrony żywności w chłodniach, fabrykach konserw,