



EMISJA LOTNYCH ZWIĄZKÓW ORGANICZNYCH Z URZĄDZEŃ BIUROWYCH – AKTUALNY STAN WIEDZY ORAZ PLAN BADAŃ

Małgorzata SZYMKOWIAK^{1*}, Dariusz HEIM¹, Jerzy SOWA²

¹Politechnika Łódzka, Katedra Inżynierii Środowiska

ul. Wólczajska 213, 90-924 Łódź, e-mail: 800862@edu.p.lodz.pl, dariusz.heim@p.lodz.pl

²Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska
ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, e-mail: jerzy.sowa@is.pw.edu.pl

Streszczenie: W pracy dokonano przeglądu aktualnego stanu wiedzy na temat źródeł emisji lotnych związków organicznych w pomieszczeniach biurowych. Omówiono wyniki badań przeprowadzonych w Stanach Zjednoczonych, Iranie oraz na Tajwanie. Autorzy wykonali także badania zawartości lotnych związków organicznych w pomieszczeniu biurowym budynku Politechniki Łódzkiej. Badania wykonano po okresie intensywnej pracy dwóch zestawów komputerowych w pomieszczeniu o kubaturze 33,8 m³ i obniżonej wentylacji. Na podstawie analizy z wykorzystaniem techniki chromatografii gazowej zidentyfikowano 4 substancje z grupy lotnych związków organicznych – LZO. Dokonano wstępnej oceny możliwego wpływu zidentyfikowanych związków na zdrowie i samopoczucie użytkowników. W ostatniej części pracy przeanalizowano dotychczasowe doświadczenia w stosowaniu wypraw malarskich z ditlenkiem tytanu do utylizacji zanieczyszczeń powietrza oraz bardziej szczegółowo omówiono planowany eksperyment polegający na wykorzystaniu zjawiska fotokatalitycznego utleniania do rozkładu LZO.

Słowa kluczowe: chromatografia gazowa, formaldehyd, etylobenzen, ftalan dibutyli, fotokataliza

1. WPROWADZENIE

Problematyka zanieczyszczenia powietrza, a tym samym jakości powietrza wewnętrznego w miejscach pracy, w tym pracy biurowej jest zagadnieniem niezwykle aktualnym w kontekście ciągłego dążenia do poprawy charakterystyki energetycznej budynków. Jest ono powiązane bezpośrednio ze skutecznością działania systemów wentylacji, na co uwagę zwracali autorzy wielu prac. Sowa [1] podkreśla, że „Podczas projektowania systemów przyjmuje się często minimalną intensywność wentylacji pozwalającą spełnić wymagania prawne”. Również sposób przygotowania, doprowadzenia i usuwania powietrza z pomieszczeń ma niezwykle istotny wpływ na występowanie i poziom stężenia

zanieczyszczeń, których źródłem mogą być zarówno czynniki zewnętrzne, jak i wewnętrzne. W celu usunięcia zanieczyszczeń z pomieszczenia najprostszym sposobem jest zapewnienie odpowiedniego strumienia powietrza wentylacyjnego. Jednak z uwagi na oszczędność energii (ciepła i energii pomocniczej) systemy wentylacji włączane są okresowo na przykład jedynie na czas obecności użytkowników. Okres ten zazwyczaj pokrywa się z czasem, gdy w budynku następuje podwyższona emisja zanieczyszczeń, choć w wielu przypadkach urządzenia będące ich źródłem pracują w cyklu 24 godzinnym, np. stacje robocze. Może to skutkować okresowym wzrostem stężenia zanieczyszczeń, lecz przede wszystkim ich adsorpcją [2] na elementach wyposażenia pomieszczeń i wystroju wewnątrz w okresie poza czasem użytkowania. Natomiast wzrost strumienia powietrza wentylacyjnego, który następuje najczęściej w momencie pojawienia się użytkowników powodować będzie z kolei desorpcję szkodliwych związków do powietrza wewnętrznego. Opisany problem wydaje się być na tyle znaczący, iż istotnym wydaje się podjęcie badań w obszarze oceny skuteczności innych, wybranych metod eliminacji zanieczyszczeń w pomieszczeniach biurowych.

Celem niniejszej pracy jest podsumowanie stanu wiedzy w przedmiotowym temacie. Ponadto autorzy dokonali analizy występowania różnych lotnych związków organicznych (LZO) w powietrzu wewnętrznym pomieszczenia biurowego wraz ze wstępną oceną wpływu występujących związków na zdrowie i samopoczucie użytkowników. Zaproponowano także sposób badania skuteczności techniki fotokatalizy wspomagananej lampami UV w kontekście neutralizacji LZO w okresie nocnym oraz projekt stanowiska badawczego.

* Autor korespondencyjny, e-mail: 800862@edu.p.lodz.pl

2. WYNIKI BADAŃ PROWADZONYCH W WYBRANYCH KRAJACH

2.1. Emisja LZO z urządzeń drukujących

Badania przeprowadzone w Stanach Zjednoczonych przez Stefaniaka i współautorów [3] polegały na ocenie narażenia na ekspozycję lotnych związków organicznych pracowników trzech punktów ksero. Wykryte zostały 54 różne lotne związki organiczne występujące w powietrzu wewnętrznym w pobliżu kserokopiarek. Różnorodność wykrytych związków wiąże się przede wszystkim z właściwościami kserokopiarki: szybkością kopiowania, typem tonera, bębna lub wałka a także związana jest z eksploatacją kserokopiarki przez pracowników. Natomiast w obszarze oddychania pracowników wykryto 38 związków lotnych, których stężenie wynosiło od 0,1 ppb (1,1-bifenyl, p-dichlorobenzen, styren, tetrachloroetylen) do 689,6 ppb (toluen) [3].

W literaturze znaleźć można wiele wyników badań emisji zanieczyszczeń z różnego rodzaju sprzętu biurowego prowadzonych w komorach badawczych. Okazuje się, że największą emisję wykazują takie lotne związki organiczne jak: toluen, etylobenzen, m(p)-ksylen oraz styren. Leovic i współpracownicy [4] opisali szczegółowe badania 4 modeli kopiarek. W przypadku trzech z nich występowały bardzo duże różnice w emisji LZO w zależności od trybu pracy kopiarka (druk/oczekiwanie) (nawet o dwa rzędy wielkości). Warto jednak zauważyć, że w przypadku jednego z modeli emisja zanieczyszczeń była w przybliżeniu stała. Badania Lee i współautorów [5] pokazały, że całkowity sumaryczny poziom emisji lotnych związków organicznych mieści się w zakresie od 0,2 µg/stronę (drukarka atramentowa) do 7,0 µg/stronę (drukarka laserowa). Wykazano, że drukarki laserowe emitują wyższe stężenia lotnych związków organicznych, co związane jest z ich sposobem działania oraz użytym typem tonera.

W siedmiu wybranych typowych punktach ksero na Tajwanie zostały przeprowadzone badania na obecność i stężenie lotnych związków organicznych. Miały one na celu określenie stopnia narażenia pracowników na skutki zdrowotne spowodowane obecnością tych substancji w powietrzu wewnętrznym. Pomieszczenia punktów ksero miały kubaturę między 110 a 168 m³ i w każdym pracowało minimum 7 kserokopiarek. Podczas pomiarów stwierdzono wysokie stężenia takich związków jak benzen, toluen, etylobenzen, ksylen i styren. Pomiary potwierdziły wyniki badań kserokopiarek w komorach, wykazujących, że toluen, etylobenzen i ksylen są głównymi związkami przez nie emitowanymi. Jednakże średnie stężenia styrenu i benzenu były 18 i 138 razy większe niż stężenia w punktach ksero zmierzone w Stanach Zjednoczonych. Wysokie stężenia lotnych związków organicznych mogą przyczyniać się do pogorszenia stanu zdrowia pracowników i rozwoju u nich chorób nowotworowych [6]. Podobne badania zostały

przeprowadzone w terminie późniejszym w dwunastu punktach ksero na Tajwanie. W powietrzu wewnętrznym zaobserwowano występowanie LZO, takich jak benzen, toluen, styren, etylobenzen, ksylen, acetofenon oraz alkanany i aldehydy, które emitowane są przez tonery, utrwalacz oraz papier nagrzewany w kserokopiarence. Źródłem LZO w punktach ksero mogą być również drukowane dokumenty, rozpuszczalniki, wyposażenie biurowe, materiały budowlane i wykończeniowe oraz pozostały sprzęt biurowy [7].

Badania przeprowadzone przez Kagi i współautorów [8] miały na celu monitoring lotnych związków organicznych, ozonu i pyłu zawieszonego w powietrzu wewnętrznym pomieszczenia z zainstalowaną drukarką laserową oraz atramentową. Poszczególne drukarki były także badane w komorze testowej. Pomiary wykazały emisję styrenu, m(p)-ksylenu i o-ksylenu podczas procesu drukowania drukarką laserową oraz pentanolu przy drukowaniu drukarką atramentową. Źródłem styrenu jest toner, pentanol natomiast emitowany jest przez tusz. Z kolei źródłem ksyleny mogą być materiały z jakich wykonana jest sama drukarka. Ozon generowany przez drukarki nie powoduje narastania jego stężenia w powietrzu, gdyż posiada on zdolność utleniania LZO do innych substancji. Dlatego poza monitorowaniem LZO emitowanych przez urządzenia biurowe należy również monitorować stężenie możliwych produktów reakcji takich jak formaldehyd, kwas mrówkowy i aldehyd octowy.

Sarkhosh i inni [9] wykonali badania jakości powietrza wewnętrznego w czterech punktach ksero w Teheranie, Iran. Pomiary były przeprowadzone w sezonie wiosennym i zimowym. Podczas pracy kserokopiarek stężenie lotnych związków organicznych w pomieszczeniu wzrastało. Wzrost był wyższy w sezonie zimowym niż wiosennym. W pobranych próbkach wykryto 19 różnych lotnych związków organicznych. Najwyższe stężenia posiadały benzen i toluen. Kowalska i inni [10] opisali badania emisji lotnych chlorowcowanych związków organicznych w środowisku biurowym. Emisję zanieczyszczeń generowanych przez siedem wybranych urządzeń biurowych, takich jak drukarki, mierzono w komorze badawczej. Wykazano, że przetestowane urządzenia emitują substancje chemiczne szkodliwe dla zdrowia, w tym benzen i trichloroetylen. Związki te zostały zaklasyfikowane przez IARC do grupy związków rakotwórczych dla ludzi. Wśród emitowanych lotnych związków organicznych 2% stanowiły lotne chlorowcowe związki organiczne, takie jak chlorobenzen, 1,2-dichlorobenzen, 1,4-dichlorobenzen, tetrachloroetylen, 1,2,4-trichlorobenzen i trichloroetylen.

2.2. Emisja LZO z komputerów i monitorów

W ciągu ostatnich kilku lat prowadzone są badania nad oceną jakościową i ilościową emisji ze stanowisk komputerowych. Zgodnie z dotychczas przeprowadzonymi badaniami emisja lotnych związków organicznych związana jest z działaniem

sprzętu komputerowego, skanerów, kserokopiarek i drukarek. Zgodnie z badaniami Berriosa i współpracowników [11] dotyczących wyposażenia biurowego, w tym komputerów osobistych, okazało się, że poziom emisji lotnych związków organicznych był wyższy od 10 do 120 razy dla urządzeń pracujących niż będących w spoczynku. Ponadto symulacje wykazały, że praca drukarek, kserokopiarek i komputerów osobistych znacząco przyczynia się do emisji zanieczyszczeń LZO w typowym biurze. Wszystkie przebadane komputery osobiste emitowały związki takie jak m-i p-ksylen, pentadekan, fenol i toluen. Zestawy komputerowe składające się ze stacji dysków wraz z monitorem i klawiaturą zostały w komorach badawczych przebadane przez Yoon i współautorów [13]. Pomiar wykazały emisję z zestawów komputerowych do powietrza: toluenu, etylobenzenu, ksyleny, 1,3,5-trimetylobenzenu oraz 1,2,4-trimetylobenzenu. Badania wpływu sprzętu komputerowego na jakość powietrza przeprowadzone zostały w pomieszczeniu badawczym (laboratorium urządzone jak biuro) przez Bako-Biro i współpracowników [13]. Jednocześnie w pomieszczeniu przebywało 6 losowo wybieranych młodych kobiet (z grupy 30) które możliwie realistycznie symulowały pracę biurową. Zgodnie z planem eksperymentu niezależnie od komputerów używanych przez uczestniczki eksperymentu za ekranem czasami umieszczano także 6 dodatkowych PC. Po pewnym czasie następowała ocena jakości powietrza i odczuwalnej jakości przez osoby biorące udział w badaniu. Wyniki wykazały, że komputery osobiste mogą być silnym emitorem zanieczyszczeń powietrza (stwierdzono ok. 3,5 razy większą emisję zanieczyszczeń zapachowych z 1 komputera niż emisja pochodząca od standardowej osoby) i mogą wpływać na odczuwanie dolegliwości tzw. Syndromu Chorego Budynku.

Badania przeprowadzone przez JEITA (Japan Electronics and Information Technologies Industries Association) [14] w 2014 r. dotyczyły pomiarów emisji LZO przez komputery stacjonarne, laptopy oraz tablety. Pomiarów sprzętu dokonano w komorach badawczych. Okazało się, że najwyższe stężenia emisji wykazują komputery nowe. Natomiast po około 10 dniach emisja ustala się na niskim różnym poziomie. Sprzęt komputerowy emitował: toluen, etylobenzen, ksylen, styren, formaldehyd oraz acetaldehyd. Następnie wykonano symulacje emisji dla klasy szkolnej, w której pracowałyby 40 zestawów komputerowych. Miały one za zadanie sprawdzić maksymalny poziom emisji tych sześciu substancji. Wyniki symulacji potwierdziły, że zestawy komputerowe mogą przyczyniać się do wzrostu stężenia lotnych związków organicznych w powietrzu wewnętrznym.

2.3. Podsumowanie przeglądu literatury

Lotne związki organiczne, takie jak: benzen, toluen, etylobenzen, ksylen, styren, a także formaldehyd zostały

zidentyfikowane w badaniach emisji z urządzeń drukujących. Wszystkie te związki należą do toksycznych zanieczyszczeń powietrza i mogą negatywnie wpływać na zdrowie ludzi. W związku z tym urządzenia biurowe powinny być traktowane jako źródło emisji szeregu potencjalnie szkodliwych substancji, głównie lotnych związków organicznych. LZO pochodzą głównie z tonerów poddawanych ogrzewaniu podczas procesu drukowania, a także pyłów z papieru. Oprócz emisji LZO z drukarek i kserokopiarek następuje również emisja z komputerów, która jest jednak niższa niż ze sprzętu drukującego.

3. BADANIA WŁASNE

3.1. Badania zawartości LZO w powietrzu

W związku z tym, iż lotne związki organiczne mogą być emitowane przez sprzęt wyposażenia biurowego zostały podjęte próby zidentyfikowania problemu ich występowania w wybranym pomieszczeniu biurowym. Pomieszczenie badawcze jest miejscem pracy dwóch osób, zaś jego wymiary wynoszą 4,12 m × 2,56 m × 3,20 m. Pomieszczenie posiada indywidualny system wentylacji zapewniający przepływ powietrza poprzez zamontowane w ścianie zewnętrznej kanałowe urządzenie wentylacji rewersyjnej, jak również przez nie szczelności w stolarnie okiennej i drzwiowej. Na potrzeby badania poziomu stężenia lotnych związków organicznych w tym pomieszczeniu system wentylacji został wyłączony. Przez okres nocy w pomieszczeniu pracowały dwa komputery stacjonarne.

Tabela 1. Wyniki pomiarów LZO w pomieszczeniu
Table 1. The results of measurements of VOCs in the office room

Lp.	Związek chemiczny	Stężenie
1	Formaldehyd	31 µg/m ³
2	Etylobenzen	46 µg/m ³
3	Styren	9 µg/m ³
4	Ftalan dibutyli	61 µg/m ³

W godzinach porannych nastąpiło pobranie próbki powietrza, dla której dokonano analizy za pomocą techniki chromatografii gazowej. Otrzymane wyniki przedstawiono w Tabeli 1.

3.2. Ocena występowania wybranych związków pod względem zdrowotnym

Głównymi chemicznymi zanieczyszczeniami powietrza wewnętrznego są lotne związki organiczne, pół-lotne związki organiczne, radon oraz tlenek i ditlenek węgla.

Wymienione związki chemiczne mają niewątpliwie wpływ na obniżenie jakości powietrza wewnętrznego. Prowadzi to do spadku wydajności pracy oraz efektywności przyswajania wiedzy. Każdy z zidentyfikowanych związków w badanym pomieszczeniu biurowym może niekorzystnie wpływać na zdrowie użytkowników tego pomieszczenia.

Formaldehyd klasyfikowany jest jako substancja szkodliwa i toksyczna. W 2006 r. Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem IARC uznała formaldehyd za rakotwórczy dla ludzi i zaklasyfikowała go do grupy 1. Ekspozycja na formaldehyd powoduje powstawanie nowotworów w obrębie nosa i gardła. Substancja ta działa drażniąco na błony śluzowe dróg oddechowych, spojówki oczu, skórę, powoduje nadreaktywność oskrzeli oraz zaburzenia czynności płuc [15]. Etylobenzen może działać depresyjnie na ośrodkowy układ nerwowy a także podrażniać oczy, gardło oraz błony śluzowe górnych dróg oddechowych. Ponadto obserwuje się uszkodzenia wątroby i nerek. Do tej pory nie przypisuje mu się działania teratogennego i mutagennego [16]. Jednakże wg IARC etylobenzen uznany jest za substancję przypuszczalnie rakotwórczą dla ludzi.

Styren powoduje podrażnienie śluzówki nosa, gardła i krtani oraz oczu. Może również wywoływać zaburzenia ze strony ośrodkowego układu nerwowego w postaci zmian neurobehawioralnych, upośledzenia narządu wzroku i słuchu. Przy długotrwałym narażeniu na styren możemy zaobserwować zmiany hematologiczne, endokrynologiczne i immunologiczne. Styren wykazuje działanie genotoksyczne, jednak nie ma potwierdzonego działania rakotwórczego. Zgodnie z klasyfikacją IARC został on zaklasyfikowany jako potencjalnie rakotwórczy, tak jak etylobenzen [17].

Ftalan dibutyli jest związkiem o potwierdzonym szkodliwym działaniu na rozrodczość i dziecko w łonie matki. Zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 ftalan dibutyli jest zaklasyfikowany jako substancja działająca szkodliwie na rozrodczość, kategoria zagrożeń 1B, z przypisanym zwrotem wskazującym rodzaj zagrożenia H360Df – może działać szkodliwie na dziecko w łonie matki; podejrzewa się, że działa szkodliwie także na płodność [18].

4. PRZEGLĄD BADAŃ NAD SKUTECZNOŚCIĄ FOTOKATALITYCZNYCH WYPRAW MALARSKICH

Zadaniem farb jest konserwacja oryginalnego stanu i wyglądu podłoża, dekoracja powierzchni przez zmianę lub odnowienie wyglądu oraz ochrona podłoża przed zniszczeniem. Kilkadziesiąt lat temu zaobserwowano, że możliwe jest dodawanie do farb specjalnych substancji, które wywołują efekt fotokatalitycznego utleniania. Fotokataliza jest procesem polegającym na przyspieszeniu reakcji chemicznych pod wpływem światła. Zjawisko

zachodzi zarówno przy świetle bezpośrednim, odbitym, rozproszonym słonecznym i sztucznym, aczkolwiek intensywność tego procesu jest silnie zmienna w zależności od parametrów oświetlenia. Obecnie jako katalizator do wypraw malarskich dodaje się najczęściej nanocząsteczki ditlenku tytanu (TiO_2). Nanocząsteczki TiO_2 mają rozmiary ok. 0,02 μm i są o rząd wielkości mniejsze od standardowych rozmiarów cząsteczek ditlenku tytanu dodawanych wcześniej jako pigment (0,2÷0,4 μm) [19]. Farby z dodatkiem nanocząsteczek TiO_2 działających jako katalizator posiadają zdolności do: czynnego samooczyszczenia powierzchni, dezodoryzacji, oczyszczania powietrza ze szkodliwych oparów i gazów oraz ograniczenie rozwoju bakterii, pleśni i innych organizmów. Farby fotokatalityczne z wyglądu i sposobu użytkowania nie różnią się od zwykłych farb [20,21]. Charakteryzują się gładkimi, trwałymi powłokami, są śnieżnobiałe lub barwne oraz odporne na zmywanie na mokro. W farbach zawierających nanocząsteczki tytanu duży wpływ na skuteczność rozkładu zanieczyszczeń powietrza ma porowatość. Jej zwiększenie można uzyskać poprzez zastosowanie domieszki węgla wapnia (CaCO_3). Niestety zbyt wysokie stężenia TiO_2 oraz CaCO_3 mogą powodować zmniejszenie trwałości matrycy farby [19].

Badania przeprowadzone przez Auvinen i Wirtanen [22] pokazują, że obecnie dostępne farby fotokatalityczne są w stanie rozkładać tylko bardziej reaktywne lotne związki organiczne. Jednocześnie produktem procesu nie są tylko ditlenek węgla i woda, ale również przykładowo formaldehyd, aldehyd octowy czy aceton. W badaniu zwrócono także uwagę wpływ fotokatalizy na stabilność niektórych rodzajów organicznych dodatków do farb i substancji wiążących. Ich dekompozycja może prowadzić do istotnego wzrostu stężeń aldehydów oraz ketonów i w konsekwencji do pogorszenia jakości powietrza w pomieszczeniu. Geiss i współpracownicy [23] zbadali możliwości tworzenia się związków karbonylowych podczas utleniania związków organicznych przez farby fotokatalityczne. Wykazali, że w czasie procesu fotokatalizy powstają produkty uboczne, które mogą kumulować się w pomieszczeniu. Zidentyfikowane przez nich powstałe związki to głównie formaldehyd, aldehyd octowy, propanol i aceton. Powstawanie tych związków maleje w trakcie napromieniowania. Głównym źródłem powstawania związków karbonylowych są polimery organiczne będące składnikami farb.

W analizie przeglądowej Wang i współpracownicy [24] zestawili silnie zróżnicowane wyniki rozkładu kilku lotnych związków organicznych (głównie formaldehydu, benzenu, toluenu, ksylenu) z wykorzystaniem zjawiska fotokatalizy. Badania wykazały konwersję zanieczyszczeń do innych prostszych związków z zakresem od 4 do 100%. Tak silne różnice w wynikach autorzy częściowo tłumaczą różnymi warunkami w trakcie przeprowadzanych eksperymentów.

Używane farby charakteryzowały się różną zawartością TiO_2 (od 1 do 20%). Stosowano naświetlanie powierzchni promieniami ultrafioletowymi o różnej długości fali (352 do 365 nm), a stężenia początkowe analizowanych substancji także się mocno różniły (od 15 do 93 ppb). Omawiana analiza literaturowa opisuje jednocześnie ciekawe badania nad modyfikacją klasycznego katalizatora TiO_2 w celu uzyskania zadowolonych parametrów rozkładu LZO przy aktywacji światłem dziennym.

Innym sposobem intensyfikacji i stabilizacji efektu fotokatalizy jest budowa oczyszczaczy powietrza z wymuszonym przepływem [25]. W badaniach wykorzystujących fotokatalityczny oczyszczacz powietrza opisanych przez Kalarika i Wargockiego [26] wykazano dość ciekawe zjawisko. O ile stosowanie oczyszczacza zdecydowanie poprawiło odczuwalną jakość powietrza w pomieszczeniach testowych gdy były one zanieczyszczone przez materiały budowlane, używane filtry wentylacyjne, czy tradycyjne monitory komputerowe (typu CRT), to w odniesieniu do biozanieczyszczeń emitowanych przez ludzi zaobserwowano pogorszenie odczuwanej jakości powietrza.

Analiza przeprowadzona w niniejszym rozdziale wskazuje, że aby uzyskać wysoką skuteczność rozkładu fotokatalitycznego zanieczyszczeń powietrza we wnętrzach, należy bardzo starannie dobrać wyprawę malarską pod względem: wielkości cząsteczek TiO_2 , ich procentowego udziału w powłoce malarskiej, porowatości powierzchni, trwałości stosowanych dodatków wiążących, ewentualnych domieszek, długości fali promieniowania UV aktywującego proces fotokatalizy.

5. STANOWISKO BADAWCZE DO OCENY SKUTECZNOŚCI NEUTRALIZACJI LZO

W celu sprawdzenia skuteczności usuwania lotnych związków organicznych z powietrza wewnętrznego za pomocą procesu fotokatalizy zaplanowano realizację stanowiska badawczego w skali rzeczywistej. Zostanie ono wykonane w jednym z budynków Politechniki Łódzkiej. Będzie ono mieściło się w pomieszczeniu badawczym, w którym wykonano badania składu powietrza wewnętrznego pod kątem ilości i składu LZO. Na czas badania planuje się wykonanie na powierzchni ściany powłoki malarskiej z farby fotokatalitycznej oraz źródła promieniowania UV. Lampa UV pozwoli na zainicjowanie w okresie nocnym procesu fotokatalizy. Wykonany zostanie monitoring ilości zanieczyszczeń LZO przed procesem fotokatalizy jak i po tym procesie. Na tej podstawie oceniona zostanie skuteczność neutralizacji lotnych związków za pomocą fotokatalitycznych wypraw malarskich.

6. WNIOSKI

W ciągu ostatnich kilku lat zaczęto zwracać większą uwagę na problem jakości powietrza wewnętrznego. Zauważono, że wentylacja ustawiona na usuwanie nadmiaru ditlenku węgla może być niewystarczająca do usunięcia innych występujących w pomieszczeniu zanieczyszczeń. Okazuje się, że istotnym problemem jest emisja lotnych związków organicznych do powietrza wewnętrznego. Może ona następować z materiałów budowlanych, wyposażenia oraz w głównej mierze, w pomieszczeniach biurowych, ze sprzętu komputerowego, drukarek i kserokopiarek. Badania jakości powietrza pod względem zawartości lotnych związków organicznych w pomieszczeniu badawczym na Politechnice Łódzkiej wykazały zawartość takich związków jak formaldehyd, etylobenzen, styren i ftalan dibutyli. Autorzy zaproponowali metodę neutralizacji LZO w pomieszczeniu za pomocą procesu fotokatalizy z wykorzystaniem fotokatalitycznych wypraw malarskich i sposób oceny skuteczności takiego procesu.

EMISSION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS FROM OFFICE EQUIPMENT – STATE OF THE ART

Summary: The paper reviews current knowledge on the sources of volatile organic compounds in office spaces. The results of studies conducted in the United States, Iran and Taiwan are discussed. The authors also performed studies on the content of volatile organic compounds in the office building of the Lodz University of Technology. The study was carried out after intensive work of two computer sets in a room with a cubature of 33.8 m³ and reduced ventilation. Based on the gas chromatography analysis, 4 volatile organic compounds (VOCs) have been identified. An initial assessment of the impact of the identified compounds on the health and well-being of users has been done. In the last part of the work we have analyzed the experiences with applying paint with titanium dioxide for reduction of indoor air pollutants' concentrations and we have discussed in more detail the planned experiment consisting in using photocatalytic oxidation to decompose VOC.

Literatura

- [1] Sowa J., *Wpływ badań nad jakością powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach na ewolucję poglądów dotyczących wymaganej intensywności wentylacji*, Problemy Jakości Powietrza Wewnętrznego w Polsce 2001, (Red. T. Jędrzejewska-Ścibak, J. Sowa), s. 303-312, Warszawa 2002.
- [2] Sowa J., *Wpływ adsorpcji zanieczyszczeń na jakość powietrza w pomieszczeniach*, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Tom 2, s. 253-256, Łódź, 2007.
- [3] Stefaniak A.B., Breyse P. N., Murray P.M., Rooney B.C. Schaefer J., *An evaluation of employee exposure to Volatile Organic Compounds in three photocopy centers*, Environmental Research Section A 83, 162-173, 2000

- [4] Leovic, K., Sheldon, L., Whitaker, D., Hetes, R., Calcagni, J., Baskir, J. Measurement of indoor air emissions from dry-process photocopier machines. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 1996, 46(9), 821-829.
- [5] Lee S.C., Lam S., Fai H.K., *Characterization of VOCs, ozone, and PM10 emissions from office equipment in an environmental chamber*, *Building and Environment* 36, 2001, 837-842
- [6] Lee CW., Dai YT., Chien CH., Hsu DJ., *Characteristics and health impacts of volatile organic compounds in photocopier centers*, *Environmental Research* 100, 139-149, 2006
- [7] Lee CW., Hsu DJ., *Measurements of fine and ultrafine particles formation in photocopier centers in Taiwan*, *Atmospheric Environment* 41, 6598-6609, 2007
- [8] Kagi N., Fujii S., Horiba Y., Namiki N., Ohtani Y., Emi H., Tamura H., Kim Y.S., *Indoor air quality for chemical and ultrafine particle contaminants from printers*, *Building and Environment* 42, 1949-1954, 2007
- [9] Sarkhosh M., Mahvi A.H., Zare M.R., Fakhri Y., Shamsolahi H.R., *Indoor contaminants from Hardcopy Devices: Characteristics of VOCs in photocopier centers*, *Atmospheric Environment* 63, 307-312, 2012
- [10] Kowalska J., Szewczyńska M., Pośniak M., *Measurements of chlorinated volatile organic compounds emitted from office printers and photocopiers*, *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 5241-5252, 2015
- [11] Berrios I.T., Zhang J.S., Guo B., Smith J., Zhang Z., *Volatile Organic Compounds (VOCs) emissions from sources in a partitioned office environment and their impact on IAQ*, 2005, https://www.researchgate.net/publication/237231988_VOLATILE_ORGANIC_COMPOUNDS_VOCS_EMISSIONS_FROM_SOURCES_IN_A_PARTITIONED_OFFICE_ENVIRONMENT_AND_THEIR_IMPACT_ON_IAQ
- [12] Yoon D., Hong S., Kang H., et al: *A measurement on chemicals emitted from computers and printers using test chamber method*, *Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors*, 2007
- [13] Bako-Biro Z., Wargocki P., Weschler C.J., Fanger P.O., *Effects of pollution from personal computers on perceived air quality, SBS symptoms and productivity in offices*, *Indoor Air* 2004, 14, 178-187, 2004
- [14] Japan Electronics and Information Technologies Industries Association (JEITA), *VOC Emission Rate Specification For Personal Computers And Tablet Devices* (ver. 1), Japan, January 2014
- [15] Skowroń J., *Zagrożenia dla zdrowia stwarzane przez formaldehyd*, *Przemysł Chemiczny* 92/2, 181-185, 2013
- [16] Soćko R., Czerczak S., *Etylobenzen - Dokumentacja dopuszczalnych wielkości narażenia zawodowego*, *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 2010, nr 2(64), s. 109-130
- [17] Starek A., *Styren - Dokumentacja dopuszczalnych wielkości narażenia zawodowego*, *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 2012, nr 3(73), s. 101-135
- [18] Pałaszewka – Tkacz A., Czerczak S., *Ftalan dibutyli – frakcja wdychalna*. *Dokumentacja dopuszczalnych wielkości narażenia zawodowego*, *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 2012, nr 3(73), s. 37-70
- [19] Allen N.S., Edge M., Verran J., Stratton J., Maltby J., Bygott C., *Photocatalytic titania based surfaces: Environmental benefits*, *Polymer Degradation and Stability* 93, 1632-1646, 2008
- [20] Kuczyńska H., *Nowości na rynku farb budownictwa w Polsce – cz. II*, 2011, http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materiały_i_tehnologie,artykuł,nowosci_na_rynk_u_farb_dla_budownictwa_w_polsce_-cz_ii,4759, dostęp 03.2017
- [21] <http://www.liderbudowlany.pl/artykuł/64/fotokatalityczne-farby-titanium>, dostęp 03.2017
- [22] Auvinen J., Wirtanen L., *The influence of photocatalytic interior paints on indoor air quality*, *Atmospheric Environment* 42, 4101-4112, 2008
- [23] Geiss O., Cacho C., Barrero-Moreno J., Kotzias D., *Photocatalytic degradation of organic paint constituents-formation of carbonyls*, *Building and Environment* 48, 107-112, 2012
- [24] Wang S., Ang H. M., Tade, M. O. *Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation: state of the art*. *Environment International*, (2007). 33(5), 694-705.
- [25] Mo, J., Zhang, Y., Xu, Q., Lamson, J. J., Zhao, R. *Photocatalytic purification of volatile organic compounds in indoor air: a literature review*. *Atmospheric Environment*, 2009. 43(14), 2229-2246.
- [26] Kolarik, J., Wargocki, P., *Can a photocatalytic air purifier be used to improve the perceived air quality indoors?*. *Indoor Air*, . 2010. 20(3), 255-262.