

Emisja substancji chemicznych z biurowych urządzeń drukujących i powielających

Emission of chemical substances from office equipment

Joanna Kowalska^(a, b), Małgorzata Szewczyńska^(a, b), Małgorzata Pośniak^(a, b)

Zakład Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa
Kierownik Zakładu Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych: dr M. Pośniak
Dyrektor CIOP-PIB: prof. dr hab. n. med. D. Koradecka

^(a) koncepcja

^(b) opracowanie tekstu i piśmiennictwa

STRESZCZENIE

Urządzenia biurowe mogą emitować szereg potencjalnie szkodliwych zanieczyszczeń. Drukarki i kserokopiarki są źródłem lotnych związków organicznych (LZO), które przynajmniej w części pochodzą z tonerów poddawanych ogrzewaniu podczas procesu drukowania oraz pyłów papieru. LZO zidentyfikowane podczas badania emisji z urządzeń drukujących obejmują toksyczne zanieczyszczenia powietrza, takie jak benzen, toluen, etylobenzen, ksylen, styren, a także formaldehyd. Biurowe urządzenia drukujące są uznawane za główne źródła emisji wewnętrznej bardzo drobnych cząstek aerozolu. Poziomy emisji niektórych zanieczyszczeń powietrza z urządzeń biurowych mogą być stosunkowo niskie w porównaniu do innych znanych źródeł, takich jak materiały budowlane. Jednak urządzenia biurowe są potencjalnie ważnym źródłem narażenia człowieka ze względu na niewielką odległość od ludzi, którzy je używają zarówno w domu jak i w biurze.

Słowa kluczowe: emisja, lotne związki organiczne, cząstki ultra drobne, urządzenia biurowe, powietrze wewnętrzne

ABSTRACT

A number of potentially harmful pollutants are emitted from office equipment. Printers and copiers are sources of volatile organic compounds (VOC), which at least partly, are generated from the heated toner and paper dust during printing process. Benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes, styrene, and formaldehyde were detected in the blended emissions emitted from printing devices. Office printing devices are recognized to be the major sources of indoor fine and ultrafine aerosol particles. The emissions of certain pollutants from office equipment may be at relatively low level compared to other known sources (e.g. building materials). However, office equipment is potentially the important source of human exposure due to the short distance for the people operating them both at home and in the office.

Key words: emission, VOCs, ultrafine particles, office equipment, indoor air

WSTĘP

W ciągu ostatnich dwudziestu lat postępy w technologii informatycznej zwiększyły ilość i zmieniły charakter urządzeń używanych na stanowiskach pracy. W 2011 r. odsetek przedsiębiorstw w Polsce wykorzystujących komputery wyniósł 95,7% [1]. Ponadto wzrasta wykorzystanie komputerów przenośnych (notebooków) obejmujące zarówno pracę jak i środowiska poza pracą. Coraz więcej pracowników spędza w pomieszczeniach wewnętrznych znaczną część dnia.

Docierające informacje na temat pogarszania się stanu zdrowia pracowników przejawiającego się niespecyficznymi objawami nazwanymi Syndromem Chorych Budynków (ang. SBS – *Sick Building Syndrome*) pod wpływem warunków pracy w budynkach biurowych, skłoniły badaczy do poszukiwania źródeł tych dolegliwości. Początkowo za zanieczyszczenia powietrza wewnętrznego uważano dwutlenek węgla, parę wodną, kurz, pył, nieprzyjemne zapachy oraz mikroorganizmy. Ich źródłem miało być powietrze zewnętrzne zanieczyszczone w wyni-

ku działań przemysłowych człowieka. Badania zanieczyszczeń powietrza pomieszczeń wewnętrznych wykazały obecność w powietrzu wewnętrznym około 800 związków chemicznych [2]. Dotychczasowe badania wskazują, że najczęściej syndrom SBS, wywołują lotne związki organiczne (ang. *Volatile Organic Compounds* – VOCs) oraz bioaerozole – głównie, jako zawieszony w powietrzu grzyby mikroskopijne i bakterie [3, 4]. Tylko niektórym z tych czynników przypisuje się działanie chorobotwórcze, ale wiele z nich podejrzewanych jest o powodowanie objawów ze strony górnych dróg oddechowych (podrażnienia błon śluzowych, suchość gardła), podrażnienie oczu, zmęczenia, osłabienia koncentracji, bóle głowy.

Oznaczane poziomy stężenie lotnych związków organicznych (LZO) w powietrzu pomieszczeń biurowych są wyższe w porównaniu z powietrzem atmosferycznym, zewnętrznym. Stąd sądzi się, że połowa związków organicznych obecnych w powietrzu pomieszczeń pochodzi z wewnętrznej emisji z materiałów wykończeniowych wewnątrz oraz przedmiotów/urządzeń niezbędnych pracownikom banków, giełdy, firm ubezpieczeniowych, prawniczych, notarialnych, podatkowych, doradczych, informatycznych, administracji państwowej [5]. Poziom stężenie związków w powietrzu na stanowiskach pracy zależy także od aktywności pracowników: znacznie maleje po opuszczeniu przez nich pomieszczeń biurowych.

Ze względu na szybkie tempo zmian technologicznych na rynku oferującym wyposażenie biurowe prowadzona jest systematyczna ocena emisji zanieczyszczeń z urządzeń biurowych spowodowana także zwiększeniem wykorzystania sprzętu biurowego przez pracowników, w połączeniu z troską o ich zdrowie.

METODY BADANIA EMISJI

Zazwyczaj, aby ocenić produkt pod względem emisji substancji szkodliwych do powietrza pomieszczeń wewnętrznych bada się materiały służące do wykańczania wewnątrz lub gotowe produkty w komorach badawczych lub celkach pomiarowych. Do oceny emisji z urządzeń biurowych stosuje się komory pomiarowe wystarczająco duże, aby pomieścić gotowy produkt – o objętości 1 i 5 m³ a nawet powyżej 50 m³ z ustaloną temperaturą i wilgotnością względną powietrza, są to najczęściej: temperatura pokojowa (21–23° C) i średnie warunki wilgotności (45–55% ww.) [6, 7].

W trakcie badania prowadzone są pomiary emisji pojedynczych związków chemicznych charaktery-

stycznych dla danego typu grupy materiałów. Następnie obliczane są wielkości specyficzne: powierzchniowa lub masowa szybkość emisji [8]. Ze względu, na obecność wielu lotnych związków organicznych (LZO, z ang. VOCs) w badanych próbkach powietrza do oceny wielkości emisji wyliczana jest także suma emitowanych lotnych związków (TLZO, z ang. TVOCs) – suma stężeń zidentyfikowanych i niezidentyfikowanych lotnych związków organicznych występujących w eluacie z kolumny między n-heksanem a n-heksadekanem, wraz z nimi [8]. Wielkość TLZO jest traktowana jako czynnik specyficzny dla badanego produktu i używana do porównania produktów o podobnym profilu emisji LZO.

W piśmiennictwie [3, 5–7] znaleźć można wskaźniki emisji dla następujących grup zanieczyszczeń: lotne związki organiczne, ozon, pył i średnio lotne związki organiczne (SLZO, z ang. SVOCs). Ta ostatnia kategoria obejmuje estry kwasu ftalowego, bromowane środki zmniejszające palność, fosforoorganiczne środki zmniejszające palność i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA, z ang. PAHs).

Do oceny stężeń poszczególnych substancji chemicznych powietrze z komory pomiarowej kierowane jest do próbników, w których związki są zatrzymywane i zatężane. Takimi próbnikami dla lotnych związków organicznych są rurki wypełnione sorbentami np. Tenaxem TA, węglem aktywnym. LZO po zakończonych badaniach komorowych są odzyskiwane z sorbentów w wyniku np. desorpcji termicznej lub ekstrakcji rozpuszczalnikiem i analizowane z zastosowaniem metody chromatografii gazowej połączonej ze spektrometrią mas (GC/MS).

W celu oznaczania aldehydów i ketonów, próbki powietrza pobierane są na żel krzemionkowy modyfikowany 2,4-dinitrofenylohydrazyną (2,4-DNFH) i oznaczane metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) z detektorem diodowym. Metoda HPLC wykorzystywana jest także do oznaczania poziomu wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w analizowanym powietrzu.

Do oznaczania stężeń drobnych cząstek wykorzystywać można próbki typu PEM2,5 (Personal Environmental Monitor) dla frakcji respirabilnej oraz PEM10 dla frakcji torakalnej, w których drobne cząstki osadzają się na filtrach teflonowych. Różnice mas filtrów przed pomiarami i po pomiarach pozwalają ilościowo ocenić udział drobnych cząstek o średnicy aerodynamicznej poniżej 2,5 µm (PM_{2,5}) i 10 µm (PM₁₀).

Wykorzystywane są także metody pomiaru bezpośredniego do monitorowania emisji np. ozonu lub cząstek drobnych (PM₁₀) w sposób ciągły [9].

EMISJA Z URZĄDZEŃ BIUROWYCH

Prowadzone są intensywne prace nad oceną jakościową i ilościową emisji z elementów stanowisk komputerowych. Według doniesień światowej literatury emisja lotnych związków organicznych, średnio lotnych związków organicznych, ozonu i cząstek jest związana z działaniem sprzętu tj. komputera, telefonów, faksów, skanerów drukarek i kserokopiarek [10, 11]. LZO, SLZO i cząstki mogą być również emitowane z papieru przetworzonego podczas drukowania i kopiowania [11]. Obecność ozonu i cząstek pyłu w powietrzu wewnętrznym została powiązana z występowaniem objawów chorobowych, takich jak podrażnienie oczu, nosa i gardła, ból głowy i zmęczenie [12, 13].

W pracy Berriosa i wsp. podczas badania wyposażenia biurowego (w tym: komputerów osobistych, drukarek, kopiarek, biurek, krzeseł, szaf i wykładzin) wykorzystywano trzy komory pomiarowe o różnych pojemnościach (4,6; 17,8; 54,4 m³) [7]. Sprzęt elektryczny był oceniany w trakcie pracy a także podczas spoczynku. Poziom emisji był od 10 do 120 razy większy dla urządzeń pracujących (w trybie „on”). Wszystkie komputery osobiste emitowały do powietrza m- i p-ksylen (do 237 µg/h·jednostkę), pentadekan (do 59 µg/h·jednostkę), fenol (do 125 µg/h·jednostkę) i toluen (do 270 µg/h·jednostkę). Przebadane drukarki były źródłem ponad 3-krotnie większej emisji toluenu podczas pracy w porównaniu z komputerami.

Publikacja Yoon i Hong poświęcona jest kontroli emisji formaldehydu i LZO z gotowych produktów tj. zestawy komputerowe (stacja dysków z klawiaturą i monitorem), trzy drukarki laserowe i drukarka atramentowa [6]. W celu odizolowania badanego urządzenia stosowano komory pomiarowe o objętości 1 i 5 m³ z ustalonymi warunkami klimatycznymi i przy wymianie powietrza 1,0 wymiana/h. Badano sprzęt przez 8 godzin, a próbki powietrza pobierano do analizy w 2., 4., 6. i 8. godzinie testu. Do komory pomiarowej z zestawów komputerowych emitowane były takie związki jak: toluen (do 59 µg/m³), etylobenzen (do 50 µg/m³), ksyleny (do 75 µg/m³), 1,3,5- i 1,2,4-trimetylobenzen (do 14 µg/m³). Wielkość TVOC mieściła się w zakresie od 0,34 do 1,5 µg/m³. W emisji LZO z pracujących drukarek dominowały: toluen (44,2 ÷ 442,8 µg/m³), benzen (1,5 ÷ 221,0 µg/m³), etylobenzen (5,6 ÷ 14,3 µg/m³), ksyleny (2,8 ÷ 29,7 µg/m³) i styren (7,6 ÷ 99,7 µg/m³). Wielkość sumy LZO obliczona dla pracujących drukarek była wyższa w porównaniu z urządzeniami w trybie czuwania (nawet do 6 razy np. z 0,7 do 4,5 mg/h·jednostkę). Największą emisję formaldehydu zaobser-

wowano dla jednej z kolorowych drukarek laserowych (ponad 386 µg/h·jednostkę).

W Niemczech badano zagrożenia stwarzane przez drukarki laserowe z wykorzystaniem urządzeń (mających na swoim koncie od 100 do ponad 1000 odbitek) z oryginalnymi tonerami [14]. Podczas wydruku ok. 200 kartek przez każdą drukarkę mierzono sumę lotnych związków organicznych oraz stężenia niektórych aromatycznych związków organicznych (benzen – do 23 µg/m³, toluen – do 21 µg/m³, ksyleny – do 511 µg/m³, styren – do 255 µg/m³). Tylko w jednym przypadku odnotowano emisję ok. 40 µg/m³ ozonu z drukarki laserowej.

N. Kagi i wsp. oznaczali w komorze pomiarowej stężenia ozonu, styrenu i ksylenów, które wzrosły podczas drukowania, do poziomu odpowiednio 60 µg/m³, 380 µg/m³ i ponad 2300 µg/m³, dla jednej z drukarek laserowych [15]. Badanie drukarki atramentowej wykazało emisję głównie pentanolu (do 300 µg/m³). Równocześnie wykonano badania, które wykazały obecność styrenu wśród związków emitowanych z próbki tonera ogrzanej do temperatury 175° C.

Wśród identyfikowanych przez różnych badaczy lotnych związków organicznych emitowanych z pracujących urządzeń biurowych znalazły się m.in.: benzen, toluen, etylobenzen, ksyleny, styren, trimetylobenzeny, formaldehyd – związki działające w większości drażniąco przez skórę i toksycznie podczas wdychania, a także żrące lub nawet o działaniu rakotwórczym i mutagennym (benzen).

Szczególnym wyzwaniem związanym z kompleksowym badaniem emisji z urządzeń biurowych są trudności pomiaru emisji średnio lotnych związków organicznych ze względu na ich tendencję do osadzania się na powierzchniach w komorze.

Urządzenia elektroniczne, w tym urządzenia biurowe, zawierają i mogą emitować różne środki zmniejszające palność, takie jak etery polibromowego difenyłu (PBDE). Wśród innych średnio lotnych związków organicznych (SLZO) emitowanych z komputerów można wyróżnić fosforany trifenylu i estry kwasów fosforoorganicznych zawarte w plastikowych obudowach [16]. Elektroniczne podzespoły utrzymywane w podwyższonej temperaturze (ok. 60° C) zostały uznane za źródło emisji kilku PBDE (emisja na poziomie ng/m³). Fosforoorganiczne środki opóźniające palenie były oznaczane podczas działania jednostek komputerowych, ale bromowane antypireny, które adsorbowały się na ścianach komory były wykrywane dopiero po zakończeniu pracy komputera metodą desorpcji termicznej po podgrzaniu komory do 120° C [17].

W badaniach toksykologicznych związków opóźniających palenie opisuje się ich szkodliwe właści-

wości: i tak fosforan trifenyli powodował toksyczność hemolityczną i alergię kontaktową u ludzi [16]. PBDE, które są przez Rudel i wsp. klasyfikowane jako związki powodujące zaburzenia endokrynologiczne [18], okazały się kumulować w mleku kobiecym [19]. Trzynaście kongenerów PBDE i tetrabromobisfenol A były ilościowo oznaczone w surowicy krwi pobranej od 19 techników komputerowych [20]. Stąd w Europie zrezygnowano z produkcji i stosowania związków PBDE, także Japonia dobrowolnie ograniczyła produkcję i wykorzystywanie polibromowanych bifenyli (PBBs) oraz eterów heksabromodifenyli i tetrabromodifenyli [21].

Także podczas badań prowadzonych przez Salthamer i wsp. oznaczono średnio lotne związki organiczne, głównie polisiloksany i homologi alkanów o długich łańcuchach od C-21 do C-45 [22]. Związki krzemu mogą powstawać w procesie drukowania odpornych na grzanie smarów dodawanych do wkładów drukujących.

Podczas ostatnich kilku lat obserwuje się wzrost zainteresowania badaczy emisją drobnych cząstek podczas drukowania oraz jej wpływem na jakość powietrza wewnętrznego. Wiele publikacji dotyczy nowoczesnych drukarek laserowych, jako znaczącego źródła emisji wewnętrznej bardzo drobnych cząstek aerozolu [9,15, 23–28].

Bardzo drobne cząstki pochodzące z drukarek laserowych są wtórnymi cząstkami powstającymi przez kondensację lotnych związków organicznych na cząstkach papieru i tonerów. W szczegółowych badaniach Morawska i wsp. [24] oraz Wensing i wsp. [27] wskazują na wpływ temperatury wałka drukarki laserowej, jako kluczowego parametru odpowiedzialnego za powstawanie cząstek.

Szereg prac prowadzonych w ostatnich latach pokazuje, że bardzo drobne cząstki mogą przyczynić się do niekorzystnych skutków zdrowia w układzie oddechowym człowieka. Wynika to z faktu, że cząstki średnicy aerodynamicznej poniżej 100 nm są skutecznie deponowane w pęcherzykach płucnych [29]. Znajomość charakterystyki emisji cząstek z takich źródeł jak urządzenia drukujące i powielające stanowi istotną rolę w ocenie narażenia pracowników biurowych na cząstki drobne.

W ostatnich latach coraz więcej jest dostępnych ilościowych informacji dotyczących rozkładu wymiarowego cząstek emitowanych przez urządzenia biurowe. Wensing i wsp. [30] badali rozkład wymiarowy cząstek aerozoli (o średnicy aerodynamicznej między 7 nm a 20 μm) emitowanych przez 10 różnych urządzeń biurowych (drukarki laserowe i urządzenia wielofunkcyjne). Bardzo drobnymi cząstkami (< 100 nm) w każdym przypadku było najwięcej: dla cząstek

> 7 nm zmierzone ilości były w zakresie 500–343.000 cząstek w cm^3 , ale znacząco mniej (6–38.000 cząstek/ cm^3) było cząstek o wymiarach powyżej 100 nm. Mieszaninę różnorodnych drobnych cząstek zidentyfikowano podczas badań emisji z drukarek laserowych prowadzonych w innych niezależnych zespołach badawczych [18, 22, 28, 31]. Obecnie prowadzone prace dotyczą głównie drobnych i ultradrobnych cząstek oraz ich składu pierwiastkowego [32]. Barthel i wsp. prowadzili analizę elementarną cząstek i identyfikację Si, S, Cl, Ca, Cr, Ti, i Fe, Ni i Zn w różnych frakcjach aerozolu podczas drukowania z dziesięciu różnych laserowych drukarek [32]. W celu określenia potencjalnych źródeł pierwiastków analizowane były również materiały, wykorzystywane w procesie drukowania, takie jak toner, papier i strukturalne elementy drukarek. Za główne źródło tych pierwiastków uznano toner i papier.

Dostępne są także wyniki badań stężeń aerozoli przenoszonych drogą powietrzną wewnątrz pomieszczeń (biura, rezydencje, szkoły, zakłady recyklingu), gdzie obecny sprzęt biurowy został uznany za główne źródło zanieczyszczeń. Podczas badania jakości powietrza w punktach kserograficznych na Tajwanie obserwowano emisję drobnymi i ultradrobnych cząstek [33]. Oznaczano także stężenia niektórych lotnych związków organicznych w 12 objętych badaniami punktach usługowych. Pomiarzy stężenia drobnymi cząstkami materii o średnicy aerodynamicznej $\leq 2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) zawierały się w zakresie od 10 do 83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Przeprowadzone badania rozkładu średnic emitowanych cząstek wykazały, że mierzone cząstki były znacznie mniejsze niż wielkość cząstek proszku w tonerze. Najwięcej było cząstek o średnicach aerodynamicznych < 100 nm. Znaczący wzrost drobnymi i ultra drobnymi cząstkami zidentyfikowano w powietrzu w czasie pracy i po procesie drukowania w ponad sześćdziesięciu pomieszczeniach biurowych w Niemczech – wyposażonych w drukarki laserowe (ok. 94%) i urządzenia kopiujące [34]. Frakcje cząstek pomiędzy 0,23 a 20 μm emitowanych przez maszyny biurowe podczas drukowania 500 stron istotnie wpływają na stężenia masowe cząstek, stężenia $\text{PM}_{0,23-20}$, $\text{PM}_{2,5}$ i PM_{10} wzrosły w 43 z 62 ocenianych pomieszczeń biurowych.

Badania substancji szkodliwych prowadzone w rzeczywistych pomieszczeniach wskazują, że nie można poprawnie odnieść wyników otrzymanych metodami komorowymi do rzeczywistych warunków bez uwzględnienia algorytmów matematycznych. Narażenie indywidualne ludzi zaś może być większe niż oszacowane z pomiarów stężeń zanieczyszczeń w pomieszczeniach, ze względu na bliskość użytkowników od źródeł przez dłuższe okresy czasu.

PODSUMOWANIE

Urządzenia drukujące i powielające stanowią nieodłączny element wyposażenia komputerowych stanowisk pracy w pomieszczeniach biurowych, a także coraz częściej w pomieszczeniach mieszkalnych. Urządzenia te są źródłem emisji lotnych, średnio lotnych związków organicznych i cząstek pyłu respirabilnego, które choć w śladowych ilościach – emitowane w sposób długotrwały – mogą wpływać na pogorszenie komfortu pracy (życia) ludzi przebywających w tych pomieszczeniach. Nadal istnieje potrzeba określania stopnia narażenia pracowników na stanowiskach komputerowych (praca biurowa, tele-praca) na substancje emitowane z drukarek laserowych i atramentowych, ze względu na różnorodność dostępnych urządzeń, szybki rozwój nowych technologii, a także zmienność warunków pracy.

Naukowcy podkreślają także konieczność jednoczesnych oznaczeń ilości oraz składu chemicznego emitowanych bardzo drobnych cząstek z urządzeń drukujących i powielających.

Do oceny narażenia pracowników biurowych zaleca się korzystanie z wartości dopuszczalnych ustalonych dla grup związków różniących się toksycznością m.in. węglowodorów aromatycznych, alifatycznych, związków karbonylowych, estrów, sumy lotnych związków organicznych [35]. Wartości dopuszczalnych stężeń dla tych grup związków mieszczą się w zakresie od 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (dla estrów) do 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (dla sumy LZO). Spełnienie tych zaleceń ma zapewnić komfort pracownikom w pomieszczeniach pracy biurowej.

Jak wynika z przeprowadzonych eksperymentów i uzyskanych danych wielkość emisji uzależniona jest od wielu czynników np. typu, rodzaju i klasy drukarki, rodzaju tonera, co oznacza, że nawet drukarki typu laserowego mogą znacznie różnić się emisją cząstek stałych, jak również substancji chemicznych. Znaczą rolę odgrywa tu oczywiście rodzaj i wydajność wentylacji na stanowiskach pracy.

Publikacja opracowana w ramach II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” finansowanego w latach 2011–2013 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

PIŚMIENNICTWO

1. Społeczeństwo Informacyjne w Polsce. Wyniki badań statystycznych z lat 2007-2011. GUS. Informacje i Opracowania Statystyczne, Warszawa 2012: 39.
2. Zabiegała B., Przyjazny A., Namieśnik J.: Passive dosimetry as a technique alternative to dynamic enrichment of organic pollutants of in-door air prior to their final determination. *J Environ Path Toxicol Oncol* 1999; 18(1): 47-59.
3. Guo H., Lee S.C., Chan L.Y., et al: Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments. *Environ Res* 2004; 94: 57-66.
4. Wang B.L., Takigawa T., Yamasaki Y., et al: Symptom definitions for SBS (sick building syndrome) in residential dwellings. *Int J Hyg Environ Health* 2008; 211: 114-120.
5. Destailats H., Maddalena R.L., Singer B.C., et al: Indoor pollutants emitted by office equipment: A review of reported data and information needs. *Atmos Environ* 2008; 42: 1371-1388.
6. Yoon D., Hong S., Kang H., et al: A measurement on chemicals emitted from computers and printers using test chamber method: REHVA World Congress Clima 2007 WellBeing Indoors, 2007: 1307.
7. Berrios I.T., Zhang J.S., Guo B., et al: Volatile organic compounds (VOCs) emissions from sources in a partitioned office environment and their impact on IAQ. *Proceedings from 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate Beijing, China 2005: 1-6.* <http://energysystems.syr.edu/pdf/Officeenvironment-abstract.pdf>
8. PN-EN ISO 16000-9:2009 Powietrze wewnątrz – Część 9: Oznaczanie emisji lotnych związków organicznych z wyrobów budowlanych i wyposażenia – Badanie emisji metodą komorową.
9. 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* 2001; 36 (7): 837-842.
10. Selway M.D., Allen R.J., Wadden R.A.: Ozone production from photocopying machines. *Am Ind Hyg Assoc J* 1980; 41: 455-9.
11. Wolkoff P., Wilkins C.K., Clausen P.A., et al: Comparison of volatile organic compounds from processed paper and toners from office copiers and printers. *Indoor Air* 1993; 3(3): 113-23.
12. Mendell M.J., Fisk W.J., Kreiss K., et al: Improving the health of workers in indoor environments: priority research needs for a national occupational research agenda. *Am J Public Health* 2002; 92: 1430-1440.
13. Wolkoff P., Wilkins C.K., Clausen P.A., et al: Organic compounds in office environments—sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry. *Indoor Air* 2006; 16: 7-19.
14. Smola T., Georg H., Hohensee H.: Health hazards from laser printers?“. *Gefahrstoffe Reinhaltung Der Luft* 2002; 62(7-8): 295-301.
15. Kagi N., Fujii S., Horiba Y., et al: Indoor air quality for chemical and ultrafine particle contaminants from printers. *Building and Environment* 2007; 42: 1949-1954.
16. Carlsson H., Nilsson U., Ostman C.: Video display units: an emission source of the contact allergenic flame retardant triphenyl phosphate in the indoor environment. *Environ Sci Technol* 2000; 34 (18): 3885-3889.
17. Hoshino K., Ogawa S., Kato S., et al: Measurement of SVOCs emitted from building materials and electric appliances using thermal desorption test chamber method. In: *Proceedings of the International Conference on Energy-efficient Healthy Buildings 2003, Singapore.*
18. Rudel, R.A., Camann D.E., Spengler J.D., et al: Phthalates, alkylphenols, pesticides, polybrominated diphenyl ethers, and other endocrine disrupting compounds in indoor air and dust. *Environ Sci Technol* 2003; 37(20): 4543-4553.

19. Noren K., Meironyte D.: Certain organochlorine and organobromine contaminants in Swedish human milk in perspective of past 20-30 years. *Chemosphere* 2000; 40: 1111-1123.
20. Jakobsson K., Thuresson K., Rylander L., et al.: Exposure to polybrominated diphenyl ethers and tetrabromobisphenol A among computer technicians. *Chemosphere* 2002; 46: 709-716.
21. Kemmlein S., Herzke D., Law R.J.: BFR-governmental testing programme. *Environmental International* 2003; 29: 781-792.
22. Salthammer T., Schripp T., Uhde E., et al.: Aerosols generated by hardcopy devices and other electrical appliances. *Environmental Pollution* 2012; 169: 167-174.
23. Fiedler J., Kura J., Moriske H.J., et al.: Freisetzung feiner and ultrafeiner partikeln aus laserdruckern unter realraumbedingungen. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 2009; 69: 77-82.
24. Morawska L., He C., Johnson G., et al.: An Investigation into the characteristics and formation mechanisms of particles originating from the operation of laser printers. *Environ Sci Technol* 2009; 43: 1015-1022.
25. Schripp T., Mulakampilly S.J., Delius W., et al.: Comparison of ultrafine particle release from hardcopy devices in emission test chambers and office rooms. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 2009; 69: 71-76.
26. Schripp T., Wensing M., Uhde E., et al.: Evaluation of ultrafine particle emissions from laser printers using emission test chambers. *Environ Sci Technol* 2008; 42: 4338-4343.
27. Wensing M., Schripp T., Uhde E., et al.: Ultra-fine particles release from hardcopy devices: sources, real-room measurements and efficiency of filter accessories. *Sci Total Environ* 2008; 407: 418-427.
28. He C., Morawska L., Taplin L.: Particle emission characteristic of office printers. *Environ Sci Technol* 2007; 41: 6039-6045.
29. Asgharian B., Price O.T.: Deposition of ultrafine (NANO) particles in the human lung. *Inhalation Toxicology* 2007; 19: 1045.
30. Wensing M., Pinz G., Bednarek M., et al.: Particle measurement of hardcopy devices. In: *Proceedings of the Healthy Building 2006; Conference, Lisbon, Portugal, vol. II: 461-464.*
31. Koivisto A.J., Hussein T., Niemelä R., et al.: Impact of particle emissions of New laser printers on modeled office room. *Atmospheric Environment* 2010; 44: 2140-2146.
32. Barthel M., Pedan V., Hahn O., et al.: XRF-analysis of fine and ultrafine particles emitted from laser printing devices. *Environ Sci Technol* 2011; 45(18): 7819-7825.
33. Lee C.W., Hsu D.J.: Measurements of fine and ultrafine particles formation in photocopy centers in Taiwan. *Atmospheric Environment* 2007; 41: 6598-6609.
34. Tang T., Hurraß J., Gminski R., et al.: Fine and ultrafine particles emitted from laser printers as indoor air contaminants in German offices. *Environ Sci Pollut Res* 2011; DOI: 10.1007/s11356-011-0647-5.
35. Pośniak M., Makhniashvili I., Kozieł E., i wsp.: Zanieczyszczenia chemiczne w pomieszczeniach pracy biurowej – ocena narażenia. *Bezpieczeństwo Pracy* 2004; 6: 21-25.

Adres do korespondencji:

Joanna Kowalska

Centralny Instytut Ochrony Pracy

Państwowy Instytut Badawczy CIOP-PIB

ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa,

tel. 48 22 623 46 76, fax 48 22 623 36 93

e-mail: jokow@ciop.pl