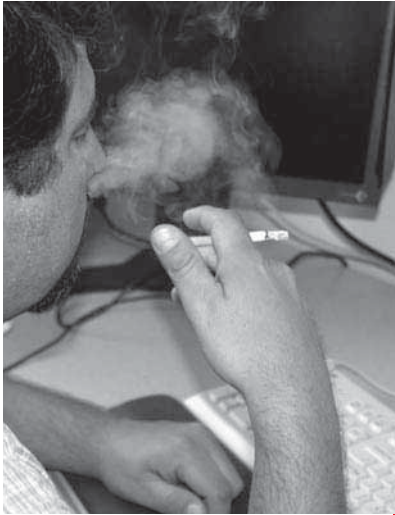


dr inż. ELŻBIETA JANKOWSKA  
dr MAŁGORZATA POŚNIAK  
mgr EDYTA WALICKA

Centralny Instytut Ochrony Pracy  
– Państwowy Instytut Badawczy

# Zanieczyszczanie powietrza w pomieszczeniach biurowych dymem papierosowym



W artykule przedstawiono wyniki badania stężenia, rozkładu wymiarowego i składu chemicznego cząstek w powietrzu w pomieszczeniu z dozwolonym paleniem papierosów w ciągu dnia pracy. Przedstawiono również wyniki badania stężenia liczbowego i masowego oraz rozkładu wymiarowego cząstek w pomieszczeniu bez dozwolonego palenia papierosów. Badania wykazały, że podczas palenia papierosów są przede wszystkim emitowane cząstki o wymiarach 0,107-0,124  $\mu\text{m}$ , a więc cząstki nanometryczne. Zawartość sumy WWA we frakcji drobniejszej dymu  $\text{PM}_{0,25}$  była większa w porównaniu do frakcji  $\text{PM}_{10}$ .

## Contamination of the air in office rooms with cigarette smoke

The article presents results of an investigation of the concentration, size distribution and chemical compound of particles suspended in the air in a room in which cigarette smoking is permitted during the working day. Also presented are results of an investigation of the number and mass concentration, and size distribution of particles in the air of a room in which smoking is not permitted. Investigations showed that during cigarette smoking it was primarily particles 0.107-0.124  $\mu\text{m}$  in diameter, i.e., nanoparticles, that were emitted. The content of PAHs in the measured fractions indicated that the fraction of  $\text{PM}_{0,25}$  contained more PAHs than the fraction of  $\text{PM}_{10}$ .

## Wprowadzenie

Dym tytoniowy jest powszechnym zanieczyszczeniem powietrza w mieszkaniach i domach, a także obiektach użyteczności publicznej. Znacznie więcej substancji toksycznych wdycha się w zadymionym pokoju niż na ulicach wielkiego miasta w godzinach szczytu. Pod względem fizykochemicznym jest to heterogeny aerrozol, powstający wskutek niecałkowitego spalania tytoniu. Składa się z fazy gazowej i rozproszonych w niej cząstek stałych. Z uwagi na fakt, że procesowi spalania towarzyszy wytwarzanie ciepła, składniki dymu tytoniowego ulegają pirolizie, a aktywne cząstki łączą się ze sobą w procesie piro-syntezy. W konsekwencji wśród składników dymu tytoniowego występuje ponad 4000 substancji mających szkodliwe działanie na organizm.

Głównymi składnikami dymu tytoniowego są: azot, tlen, cyjanowodor, tlenki azotu, akrylaldehyd, amoniak i ditlenek węgla, wchodzące w skład fazy gazowej. Pozostałe składniki to faza cząstek stałych, tzw. substancje smoliste, czyli cząstki dymu tytoniowego pozbawione nikotyny i wilgoci zawierające substancje chemiczne, m.in. substancje o działaniu rakotwórczym:

- wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), w tym benzo[a]piren dibenzo[a,h]antracen
- N-nitrozonornikotyna, nitrozopiperidyna, nitrozopirrolidyna, di-n- $\beta$ -butylnitrozoamina
- związki niklu, kadmu i arsenu, polon-210
- $\beta$ -naftyloamina, aminofluoren, aminostyloben, o-toluidyna, n-nitrotoluen [1].

Ilościowa ocena narażenia osób przebywających w pomieszczeniu, w którym dopuszcza się palenie papierosów jest trudnym do realizacji zadaniem, przede wszystkim z uwagi na małe wymiary cząstek dymu papierosowego oraz skomplikowany ich skład chemiczny. Metody filtracyjno-wagowe, stosowane rutynowo do pomiarów stężeń pyłów na typowych stanowiskach pracy nie mogą być często wykorzystywane do oceny narażenia na cząstki dymu papierosowego ze względu na niewystarczającą dokładność tych metod w odniesieniu do frakcji pyłów drobnych. Również pełna analiza ilościowa szkodliwych substancji chemicznych emitowanych do powietrza podczas palenia papierosów jest w zasadzie niemożliwa do wykonania. Z tego względu do pomiarów stężeń i rozkładu wymiarowego cząstek zawartych w dymie tytoniowym jest konieczne stosowanie metod optycznych i ograniczenie oceny zagrożeń chemicznych do związków najbardziej niebezpiecznych dla zdrowia, np. wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych stanowiących w dymie papierosowym liczną grupę związków o działaniu rakotwórczym.

Celem badań przedstawionych w artykule było określenie wpływu palenia papierosów w pomieszczeniach pracy z dozwolonym paleniem papierosów na poziom stężeń i rozkład wymiarowy cząstek zawieszonych w powietrzu oraz porównanie głównych niebezpiecznych substancji chemicznych zawartych we frakcjach  $\text{PM}_{10}$  i  $\text{PM}_{0,25}$  pyłów.

Badania przedstawione w tym artykule są kontynuacją prac, których wyniki zostały opublikowane we wcześniejszej publikacji [2].

## Stężenie, rozkład wymiarowy i skład chemiczny cząstek w powietrzu w pomieszczeniu z dozwolonym paleniem papierosów

Pomiary stężenia i rozkład wymiarowy cząstek określono za pomocą metod optycznych z zastosowaniem następujących przyrządów:

- licznika kondensacyjnego P-TRAK – pomiar stężenia liczbowego cząstek o wymiarach od 0,02  $\mu\text{m}$  do 1  $\mu\text{m}$
- fotometru DUST-TRAK – pomiar stężenia masowego dla cząstek o wymiarach od 0,1  $\mu\text{m}$  do 10  $\mu\text{m}$
- systemu analizy wymiarowej cząstek SMPS – pomiar stężeń liczbowych i masowych oraz rozkładów wymiarowych cząstek o wymiarach od 0,017  $\mu\text{m}$  do 0,604  $\mu\text{m}$ .

Przeprowadzono cztery serie badań w jednodzinnych odstępach czasu. Sondy do pomiaru stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek za pomocą metod optycznych umieszczono w środku pomieszczenia. W celu wyeliminowania wpływu parametrów powietrza zewnętrznego na parametry powietrza wewnętrznego, podczas badań w pomieszczeniu były zamknięte okna i w miarę możliwości drzwi.

W celu określenia wpływu palenia papierosów na stężenia cząstek zawieszonych w powietrzu w pomieszczeniu z dozwolonym paleniem papierosów wykonano również badania stężenia liczbowego i masowego oraz rozkładu wymiarowego cząstek w pomieszczeniu bez dozwolonego palenia papierosów.

Z zastosowaniem pompek SKC 100-3000 oraz próbników Sioutas Cascade Impactor (pomiar frakcji  $PM_{10}$ ,  $PM_{0,25}$ ) pobierano próbki powietrza w celu oznaczenia głównych niebezpiecznych substancji chemicznych zawartych w pyłach. Frakcja  $PM_{10}$  jest to frakcja zawierająca cząstki o średnicy aerodynamicznej równej lub mniejszej niż  $10 \mu m$ , natomiast frakcja  $PM_{0,25}$  – frakcja zawierająca cząstki o średnicy aerodynamicznej mniejszej lub równej  $0,25 \mu m$  [3, 4].

Analizę ilościową substancji chemicznych – wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych wykonano stosując chromatograf cieczkowy firmy Gynkotek z detektorem spektrofotometrycznym model UVD 170S, autosamplem oraz komputerem [5].

*Wyniki badania stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek w powietrzu*

Wyniki badania stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek z użyciem mierników optycznych (P-TRAK, DUST-TRAK, SMPS) przedstawiono na rys. 1-6. Wartości podane na rysunkach są wartościami uśrednionymi uzyskanymi z co najmniej trzech pomiarów jednostkowych. Temperatura powietrza w pomieszczeniu z dozwolonym paleniem papierosów wahała się w ciągu dnia pracy w zakresie  $24-27^\circ C$ , wilgotność względna w zakresie  $39-43\%$ , a prędkość powietrza

w zakresie  $0,01-0,05 m/s$ . Warunki badań w pomieszczeniu bez dozwolonego palenia papierosów były następujące: temperatura  $24^\circ C$ , wilgotność względna  $53\%$  i prędkość powietrza  $0,05 m/s$ .

Przy tych zmianach parametrów powietrza oraz różnej liczbie osób palących papierosy (od 1 do 4 osób) w różnych odstępach czasu w ciągu dnia w pomieszczeniu zaobserwowano następujące zmiany stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek w powietrzu.

W środku typowego pomieszczenia biurowego z dozwolonym paleniem papierosów stężenia zmierzone z użyciem wszystkich mierników optycznych wykazywały podobne tendencje zmian podczas pomiarów wykonanych o godz. 11:30, 12:30, 13:30 i 14:30 (rys. 1-6).

Wartości stężeń masowych cząstek o wymiarach od  $0,1$  do  $10 \mu m$  określone z zastosowaniem miernika DUST-TRAK wahały się w ciągu dnia w zakresie  $2,9-4,2 mg/m^3$ , podczas gdy wartość stężenia w pomieszczeniu bez dozwolonego palenia papierosów wynosiła  $0,2 mg/m^3$  (rys. 1.).

Wartości stężeń liczbowych cząstek o wymiarach od  $0,02$  do  $1 \mu m$  (P-TRAK) zmieniały się w ciągu dnia w zakresie  $6,0-11,2 \times 10^{10} \#/m^3$ , podczas gdy wartość stężenia liczbowego w pomieszczeniu bez dozwolonego palenia wynosiła  $1,3 \times 10^{10} \#/m^3$  (rys. 2.).

Z analizy przebiegów zależności stężeń liczbowych i stężeń masowych (SMPS) wynika, że:

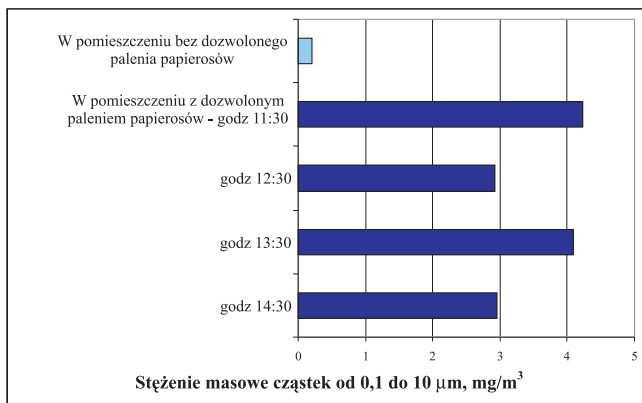
– wraz ze wzrostem wartości stężenia liczbowego w poszczególnych pomiarach, maksimum krzywych przesuwało się w kierunku cząstek o mniejszych wymiarach (rys. 3.) i występowało w odniesieniu do cząstek o wymiarach  $0,107-0,124 \mu m$

– w przypadku stężeń masowych, maksimum krzywych występowało dla cząstek o wymiarze  $0,294 \mu m$ , niezależnie od wartości tych stężeń (rys. 5.).

Określając masy pyłów metodą filtracyjno-wagową stwierdzono, że badany dym papierosowy zawierał przede wszystkim cząstki drobne:  $91-97\%$  cząstek o wymiarach poniżej  $2,5 \mu m$ ,  $85-94\%$  poniżej  $1 \mu m$ ,  $73-90\%$  poniżej  $0,5 \mu m$  i  $60-72\%$  cząstek poniżej  $0,25 \mu m$ .

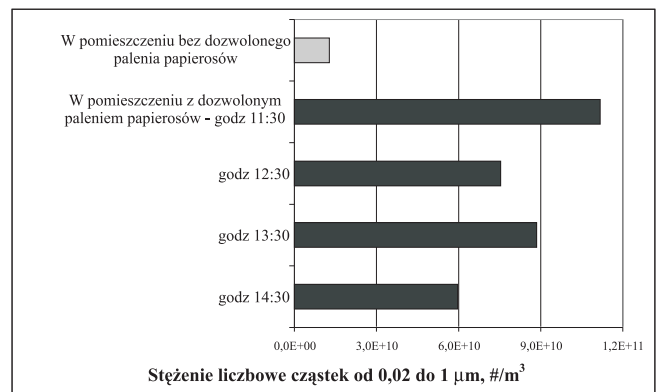
*Wyniki badania głównych niebezpiecznych substancji chemicznych we frakcjach pyłów*

Zestawienie wyników oznaczania wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych we frakcji  $PM_{10}$  i  $PM_{0,25}$  pyłów w pomieszczeniu biurowym z dozwolonym paleniem papierosów podano w tabeli. Badania te wykazały, że WWA – benzo[a]antracen, chryzen, benzo[b]fluoranten, benzo[k]fluoranten, benzo[a]piren, dibenzo[ah]antracen i indeno[1,2,3-cd]piren występowały zarówno we frakcji



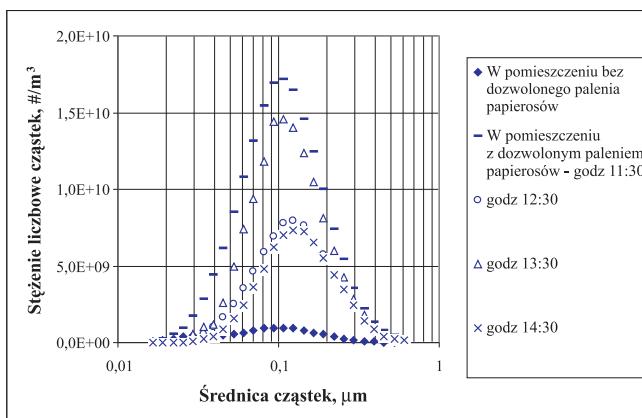
Rys. 1. Stężenie masowe cząstek z zakresu od  $0,1$  do  $10 \mu m$  (DUST-TRAK) występujących w powietrzu w pomieszczeniu bez/z dozwolonym paleniem papierosów

Fig. 1. Number concentration of particles from the  $0.1-10 \mu m$  range (DUST-TRAK) suspended in the air of a room in which cigarette smoking is not/is permitted



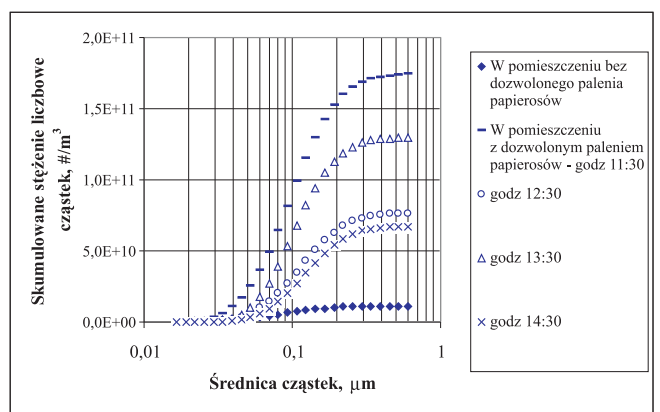
Rys. 2. Stężenie liczbowe cząstek z zakresu od  $0,02$  do  $1 \mu m$  (P-TRAK) występujących w powietrzu w pomieszczeniu bez/z dozwolonym paleniem papierosów

Fig. 2. Number concentration of particles from the  $0.02-1 \mu m$  range (P-TRAK) suspended in the air of a room in which cigarette smoking is not/is permitted



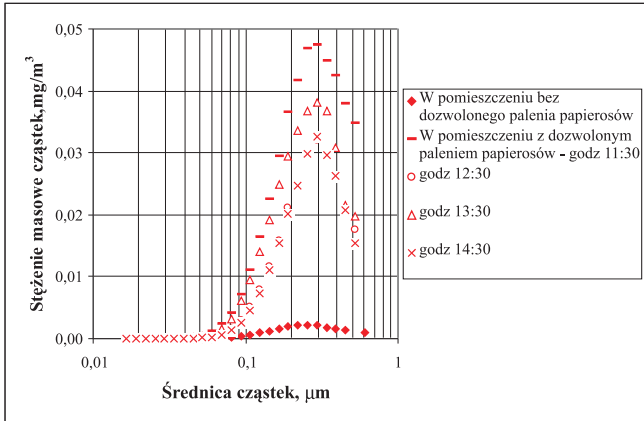
Rys. 3. Stężenie liczbowe cząstek (SMPS) występujących w powietrzu w pomieszczeniu bez/z dozwolonym paleniem papierosów

Fig. 3. Number concentration of particles (SMPS) suspended in the air of a room in which cigarette smoking is not/is permitted



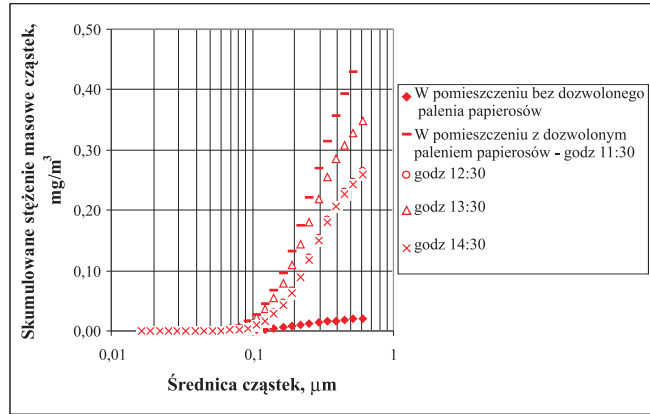
Rys. 4. Skumulowane stężenie liczbowe cząstek (SMPS) występujących w powietrzu w pomieszczeniu bez/z dozwolonym paleniem papierosów

Fig. 4. Cumulative number concentration of particles (SMPS) suspended in the air of a room in which cigarette smoking is not/is permitted



Rys. 5. Stężenie masowe cząstek (SMPS) występujących w powietrzu w pomieszczeniu bez/z dozwolonym paleniem papierosów

Fig. 5. Mass concentration of particles (SMPS) suspended in the air of a room in which cigarette smoking is not/is permitted



Rys. 6. Skumulowane stężenie masowe cząstek (SMPS) występujących w powietrzu w pomieszczeniu bez/z dozwolonym paleniem papierosów

Fig. 6. Cumulative mass concentration of particles (SMPS) suspended in the air of a room in which cigarette smoking is not/is permitted

PM<sub>10</sub> jak i PM<sub>0,25</sub> we wszystkich badanych próbkach. Sumaryczna zawartość WWA we frakcji PM<sub>10</sub> była w zakresie 0,036-0,140 µg/mg pyłu, a we frakcji PM<sub>0,25</sub> w zakresie 0,045-0,170 µg/mg. Porównanie procentowej zawartości sumy oznaczonych WWA w poszczególnych frakcjach wskazuje, że we frakcji drobniejszej PM<sub>0,25</sub> udział procentowy WWA jest większy w porównaniu do frakcji PM<sub>10</sub> (rys. 7).

Analiza lotnych związków organicznych wykazała obecność n-oktanu, toluenu, etylobenzenu, ksylenów w próbkach pobranych frakcji cząstek dymu tytoniowego oraz kilka niezidentyfikowanych związków. Łączną zawartość tych związków w odniesieniu do toluenu – TVOC we frakcji PM<sub>10</sub> wynosiła od 0 do 264,4 µg i w PM<sub>0,25</sub> od 0 – 163,4 µg. Badania te wykazały, że 60-90% tych związków jest zaadsorbowanych we frakcji PM<sub>0,25</sub> cząstek dymu tytoniowego.

W pyłach drobnych pobranych w pomieszczeniu biurowym nie wykryto metali, prawdopodobnie ze względu na bardzo niski poziom ich stężeń, poniżej oznaczalności zastosowanych metod.

**Podsumowanie**

W typowym pomieszczeniu biurowym z dozwolonym paleniem papierosów wartości stężeń masowych cząstek o wymiarach od 0,1 do 10 µm (DUST-TRAK) oraz stężeń liczbowych cząstek o wymiarach od 0,02 do 1 µm (P-TRAK) były od kilku do kilkunastu razy większe od stężeń określonych w pomieszczeniu bez dozwolonego palenia papierosów. Podczas palenia papierosów są przede wszystkim emitowane cząstki bardzo drobne o wymiarach 0,107-0,124 µm (SMPS), a więc o wymiarach nanometrycznych. Badany dym papierosowy zawierał przede wszystkim cząstki drobne: 91-97% cząstek poniżej 2,5 µm, 85-94% poniżej 1 µm, 73-90% poniżej 0,5 µm i 60-72 % cząstek poniżej 0,25 µm. Zawartość sumy WWA we frakcji drobniejszej dymu PM<sub>0,25</sub> była większa w porównaniu do frakcji PM<sub>10</sub>.

**PIŚMIENNICTWO**

[1] J. E. Zejda, M. Skiba, B. Jaźwiec-Kanyon, R. Złotkowska Środowiskowe narażenie na dym tytoniowy a stan układu oddechowego. „Medycyna Środowiskowa” 1998, 1, 53

[2] E. Jankowska Wpływ palenia papierosów na stężenia cząstek drobnych występujących w powietrzu w pomieszczeniu. „Bezpieczeństwo Pracy” 9(420)2006, 13-15

[3] <http://www.skinc.com>

[4] Ch. Misra, M. Singh, S. Shen, C. Sioutas, P. M. Hall Development and evaluation of a personal cascade impactor sampler (PCIS). „Aerosol Science” 2002, 33, 1027-1047

[5] S. Brzeźnicki Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne – metoda oznaczania. „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy”, 2000, 3(25), 159-164

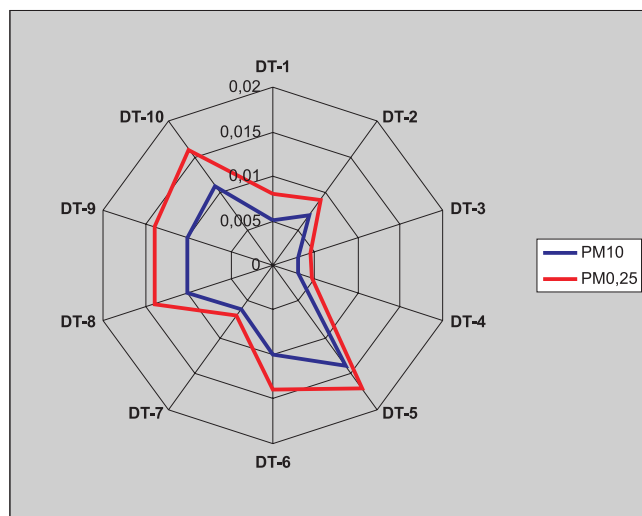
*Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach programu wieloletniego pn. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej”, dofinansowywanego w latach 2005-2007 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy*

Tabela

**ZAWARTOŚĆ WWA WE FRAKCJI PM<sub>10</sub> I PM<sub>0,25</sub> PYŁÓW POBRANYCH W POMIESZCZENIU Z DOZWOLONYM PALeniem PAPIEROSÓW**

Contents of PAHs in the fraction of PM<sub>10</sub> and PM<sub>0,25</sub> of dust sampled in an office room in which cigarette smoking is permitted

Nr próbki	Frakcja pyłu	Masa próbki [mg]	Sumaryczna zawartość WWA [µg]	Zawartość WWA w 1 mg pyłu [µg/mg]
1	PM <sub>0,25</sub>	1,74	0,079	0,045
	PM <sub>10</sub>	2,61	0,095	0,036
2	PM <sub>0,25</sub>	1,74	0,082	0,047
	PM <sub>10</sub>	2,59	0,098	0,038
3	PM <sub>0,25</sub>	0,37	0,063	0,170
	PM <sub>10</sub>	0,66	0,093	0,140
4	PM <sub>0,25</sub>	0,55	0,143	0,138
	PM <sub>10</sub>	0,92	0,175	0,100
5	PM <sub>0,25</sub>	0,69	0,049	0,062
	PM <sub>10</sub>	1,05	0,065	0,055
6	PM <sub>0,25</sub>	1,08	0,151	0,139
	PM <sub>10</sub>	1,59	0,160	0,100
7	PM <sub>0,25</sub>	1,02	0,140	0,137
	PM <sub>10</sub>	1,41	0,148	0,104
8	PM <sub>0,25</sub>	0,46	0,074	0,160
	PM <sub>10</sub>	0,71	0,082	0,110



Rys. 7. Procentowa zawartość WWA we frakcji PM<sub>10</sub> i PM<sub>0,25</sub> pyłów pobranych w pomieszczeniu biurowym z dozwolonym paleniem papierosów

Fig. 7. Contents of PAHs in the fraction of PM<sub>10</sub> and PM<sub>0,25</sub> of dust sampled in the air of a room in which cigarette smoking is permitted