

Oznaczanie frakcji wymiarowych aerozolu w świetle nowych definicji

Cz. 1. Przyrządy do pobierania próbek frakcji wymiarowych aerozolu zawierającego metale i ich związki ¹

Determining size fractions of an aerosol in view of new definitions

Part 1. Instruments for size selective sampling of an aerosol containing metals and their compounds

mgr JOLANTA SURGIEWICZ
e-mail: josur@ciop.pl
Centralny Instytut Ochrony Pracy –
Państwowy Instytut Badawczy
00-701 Warszawa
ul. Czerniakowska 16

Słowa kluczowe: frakcje aerozoli, frakcja wdychalna, frakcja respirabilna, frakcja torakalna, metale, związki metali, metoda analityczna, narażenie zawodowe.

Keywords: aerosol fraction, inhalable fraction, respirable fraction, metals, metal compounds, analytical method, occupational exposure.

Streszczenie

Projekt rozporządzenia ministra pracy i polityki społecznej wprowadza nowe definicje frakcji aerozoli (wdychalnej, torakalnej i respirabilnej) w odniesieniu do wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń chemicznych i pyłowych czynników szkodliwych dla zdrowia w środo-

wisku pracy. W artykule przedstawiono możliwości pomiarowe poszczególnych frakcji aerozolu metali i ich związków, z wykorzystaniem dostępnej na rynku aparatury do pobierania próbek powietrza, która umożliwi ocenę narażenia.

¹ Publikacja opracowana na podstawie badań zrealizowanych w latach 2011-2012 w ramach działalności statutowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego, sfinansowanych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Summary

A proposal for a regulation of the Minister of Labour and Social Policy introduces new definitions of aerosols (inhalable fraction, thoracic and respirable fraction) in relation to the value of the maximum concentrations of harmful chemical and dust factors in the workplace. The article shows the measurement possibilities of individual aerosol fraction of metals and their compounds, using commercially available equipment for air sampling, equipment that will

enable the assessment of exposure. It presents current issues related to the definitions of aerosol fractions and measurement capabilities using commercially available equipment for personal dosimetry. The article presents aerosol fraction separators and their basic parameters and the parameters aspirators on the market. A wide range of equipment indicates the great potential of using it to determine the aerosol fraction of metals and their compounds.

WPROWADZENIE

Międzyresortowa Komisja ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń (NDS) i Najwyższych Dopuszczalnych Natężeń (NDN) przyjęła nowe, zgodne ze światowymi, definicje dla zawartych w powietrzu różnie zdyspergowanych frakcji aerozoli. Wyodrębniono frakcje: wdychalną, torakalną i respirabilną, dla których należy przeprowadzić ocenę narażenia. Powstał projekt rozporządzenia ministra pracy i polityki społecznej uwzględniający powyższe definicje frakcji aerozolu i ustalający wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń chemicznych i pyłowych czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy.

W okresie przejściowym, przeznaczonym na wprowadzenie nowych definicji (do 2015 r.), są przydatne wszystkie informacje dotyczące możliwości pomiarowych poszczególnych frakcji aerozolu, z wykorzystaniem dostępnych na świecie przyrządów do pobierania próbek powietrza i umożliwiających ocenę narażenia na zawarte w wydzielonych frakcjach aerozolu substancje szkodliwe. Aktualnie dostępne w handlu próbniki różnych typów i o różnorod-

nej konstrukcji z założenia spełniają wymagania dotyczące rozdziału aerozolu według definicji frakcji aerozolu.

W niniejszym artykule zostały omówione wybrane takie próbniki, jak: próbniki frakcji wdychalnej, próbniki – separatory frakcji (umożliwiające rozdział frakcji aerozolu wdychalnej i respirabilnej), próbniki – separatory multifrakcji, a także aspiratory niezbędne przy pobieraniu próbek powietrza zawierającego metale i ich związki z wykorzystaniem dozymetrii indywidualnej.

Możliwości w zakresie metod oznaczania wybranych metali i ich związków we frakcjach, z zastosowaniem omówionych próbników, zostaną omówione w kolejnym artykule.

Przedstawione propozycje pobierania próbek powietrza, metod oznaczania oraz zaprezentowany przegląd możliwości przyrządów do pobierania próbek aerozoli we frakcjach mogą być użyteczne przy ocenie narażenia na poszczególne frakcje aerozolu metali i ich związków w akredytowanych laboratoriach higieny środowiska pracy.

AKTUALNE DEFINICJE DOTYCZĄCE FRAKCJI AEROZOLU

Do oceny narażenia na aerozol zawarty w powietrzu stosowano początkowo pojęcie pyłu całkowitego, którym obejmowano wszystkie cząstki zawieszane w powietrzu. Pobieranie próbek aerozoli w środowisku pracy najczęściej prowadzono z wykorzystaniem urządzeń jednostopniowych, a pobrane próbki analizowano w celu oznaczenia stężenia masowego wszystkich cząstek – pyłu całkowitego lub stężenia masowego wybranych składników aerozolu. Z czasem zdefiniowano biologicznie ważną frakcję pyłu, która została nazwana frakcją inspirabilną (wdychalną), przyjmując, że jest to frakcja pyłu całkowitego, która w procesie oddychania wnika do układu oddechowego przez nos i usta. Ponadto stwierdzono, że dla pyłów pylicotwórczych największe znaczenie ma ta frakcja aerozolu, która ulega retencji na dłuższy okres w pęcherzykach płucnych.

W American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) powołano Committee on Air Sampling Procedures (ASP) w celu opracowania jednakowego podejścia do frakcji wymiarowych aerozolu (*Więcek* 2011). Przewodniczący grupy ASP zaproponował: ACGIH, ISO i CEN, zmodyfikowanie kryteriów frakcji wymiarowych, które w 1993 r. przyjęto w ACGIH (*Soderholm* 1989). Zmodyfikowane kryteria zostały również przyjęte przez ISO oraz CEN i wprowadzone do norm europejskich i międzynarodowych (1998 r.), (EN 481: 1998).

Opracowana przez Komitet techniczny CEN/TC 137 *Assessment of workplace exposure* norma EN 481 uzyskała status polskiej normy.

Norma PN-EN 481:1998 Atmosfera miejsca pracy. Określenie składu ziarnowego dla pomiaru cząstek zawieszonych w powietrzu – jest jedyną normą dotyczącą zagadnień i definicji wymiarów cząstek aerozolu w powietrzu na

stanowiskach pracy (PN-EN 481:1998). Zgodnie z wytycznymi zawartymi w tej normie i stosowanym nazewnictwem przedstawiono wymagania dotyczące zasad pobierania próbek oraz rozkładu ziarninowego cząstek zawieszonych w powietrzu na stanowisku pracy. Rozkłady ziarninowe określono dla frakcji: wdychanej, tchawiczej i respirabilnej.

Na posiedzeniu Międzyresortowej Komisji ds. NDS i NDN wnioskowano o zmianę nazw frakcji aerozolu opisanych w normie PN-EN 481. Międzyresortowa Komisja do spraw Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynn timerów Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy przedłożyła wniosek ministrowi pracy i polityki społecznej w celu wprowadzenia do rozporządzenia i załącznika nr 1 części A i B (z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy) wykazu nowych definicji frakcji: wdychalnej, torakalnej i respirabilnej, obecnie, jako frakcji aerozolu.

Definicje frakcji wymiarowych aerozolu podane w normie PN-EN 481 zostały określone jako:

- frakcja wdychalna – frakcja aerozolu wnika jąca przez nos i usta, która po zdeponowaniu w drogach oddechowych stwarza zagrożenie dla zdrowia
- frakcja torakalna – frakcja aerozolu wnika jąca do dróg oddechowych w obrębie klatki piersiowej, która stwarza zagrożenie dla zdrowia po zdeponowaniu w obszarze tchawiczo-oskrzelowym i obszarze wymiany gazowej
- frakcja respirabilna – frakcja aerozolu wnika jąca do dróg oddechowych, która stwarza zagrożenie dla zdrowia po zdeponowaniu w obszarze wymiany gazowej.

Ponadto, przyjęto istotne założenia, w konsekwencji których można odnieść wartości NDS i NDSCCh do nowo wprowadzonych definicji:

- frakcja wdychalna odpowiada definicji pyłu całkowitego
- frakcja respirabilna odpowiada definicji pyłu respirabilnego.

Stwierdzono, że do pobierania próbek aerozoli we frakcjach: wdychalnej, torakalnej oraz

respirabilnej należy stosować przyrządy spełniające wymagania przyjętych definicji.

Zadecydowano ponadto, że do 2015 r. pobieranie próbek frakcji aerozoli w środowisku pracy może być również wykonywane z zastosowaniem przyrządów stosowanych wcześniej do pobierania próbek pyłu całkowitego oraz pyłu respirabilnego (*Skowroń* 2012).

METODY POBIERANIA PRÓBEK AEROZOLI W ŚRODOWISKU PRACY

Sposób przeprowadzenia pomiarów obejmujący: strategię pomiarową, dozymetrię indywidualną i pomiary stacjonarne zamieszczono w normie polskiej PN-Z-04008-7: 2002, w celu oceny zgodności warunków pracy z wartościami NDS oraz obliczania wskaźników narażenia. Jest to norma podstawowa i obowiązująca do stosowania w zakresie pobierania próbek powietrza.

Pomoc w opracowaniu metod pobierania próbek powietrza, z wyodrębnieniem frakcji aerozolu, stanowią wytyczne dotyczące metodyki prowadzenia pomiarów i oceny narażenia zawodowego na czynniki chemiczne oraz zalecenia i wskazówki dotyczące pobierania próbek powietrza zawarte w normie polskiej PN-EN 689:2002. W normie tej przedstawiono takie zagadnienia, jak: rozpoznanie zagrożeń, pomiary rozpoznawcze, wybór warunków pomiarów, pomiary reprezentatywne, pomiary najgorszego przypadku czy pomiary okresowe.

Należy jednak pamiętać, że zgodnie z przepisami prawa polskiego, przy planowaniu częstości pomiarów wykonywanych do oceny narażenia, priorytetowym dokumentem jest

rozporządzenie ministra zdrowia oraz, że należy się kierować zasadami, które to rozporządzenie reguluje (DzU 2011 r., nr 33, poz. 166).

Wytyczne i zalecenia opisane w publikacji: „Pomiary i ocena narażenia stężeń czynników chemicznych i pyłów w środowisku pracy” (*Gromiec* 2004) pomagają w prawidłowej interpretacji zagadnień zawartych w wymienionych normach.

Wytyczne dotyczące strategii pomiarów czynników chemicznych w powietrzu na stanowiskach pracy, a także procedury pomiarów czynników chemicznych zawiera również druga, ważna norma PN-EN 482:2012. W normie tej przedstawiono: szczegółowe dane dotyczące uśredniania czasu pobierania próbki, zapewnienia jednoznaczności wyniku stężenia czynnika chemicznego oraz wytyczne dotyczące walidacji procedury pomiarowej i wyznaczania budżetu niepewności.

Wymienione normy są podstawą konstruowania metod pobierania i oznaczania substancji chemicznych, a także oznaczania metali i ich związków zawartych w powietrzu we frakcjach aerozolu.

WYMAGANIA DOTYCZĄCE PRZYRZĄDÓW DO POBIERANIA PRÓBEK POWIETRZA

Zestaw przyrządów do pobierania próbek powietrza zależy od rodzaju zanieczyszczeń powietrza i rodzaju oznaczanych substancji, a także od postaci, w jakiej występują. W przypadku aerozolu, w zależności od jego rodzaju i wielkości pobieranej frakcji, zestaw przyrządów składa się z próbnika lub separatora frakcji zawierającego filtr do zbierania zawartych w powietrzu związków oraz aspiratora (pompy). Stosowana do pobierania próbek aparatura powinna być skalibrowana, niezbędne są więc kalibratory przepływu powietrza oraz zestaw przyborów pomocniczych (np. kasety do transportu filtrów z pobranymi substancjami chemicznymi).

Wymagania dotyczące pobierania próbek powietrza za pomocą przyrządów zostały określone w normie polskiej PN-EN 13205:2004. W normie tej zawarto procedury badawcze i typy oceny, aby umożliwić producentom i użytkownikom wspólne podejście do walidacji próbnika, a także schemat oceny funkcjonowania próbnika w odniesieniu do normy polskiej PN-EN 481 i PN-EN 482. W normie PN-EN 13205 przedstawiono wymagania dotyczące takich cech przyrządów, jak: dokładność, zmienność między egzemplarzami, stabilność, przepływy powietrza, bezpieczeństwo kształtu, bezpieczeństwo elektryczne, stabilność temperaturowa czy stabilność w czasie. W normie tej podano zestaw czynników, które, w przypadku przyrządów do pobierania próbek aerozoli, wywierają wpływ na ich funkcjonowanie: wymiar cząstek prędkości wiatru, kierunek wiatru, skład aerozolu, masa pobieranego aerozolu, obłożenie aerozolem, zmienność między egzemplarzami, zmiany przepływu, obróbka powierzchni. Cechy te powinny być brane pod uwagę przy profesjonalnym przeglądzie przyrządów. Ponadto, przy pobieraniu próbek powinny być brane pod uwagę takie

czynniki, jak: temperatura, ciśnienie, wilgotność, drgania, ruch próbnika oraz jego ukięrkowania, a także jego podatność elektryczna. W normie uwzględniono identyfikację wszystkich środowiskowych i innych czynników, które mogą wpływać na skuteczność pobierania próbek.

W normie PN-EN 13205 określono sposób wyznaczania wydajności pobierania dla wszystkich wymiarów cząstek aerozolu, a także odniesienia do idealnego przyrządu pobierającego aerozol. Badania, wymienione w normie do przeprowadzenia w warunkach laboratoryjnych, zaleca się wykonywać w tunelu aerodynamicznym z zastosowaniem manekina o naturalnych wymiarach człowieka. Przedstawiono również procedurę porównywania przyrządów w warunkach terenowych.

Przywołana norma przypomina, że mimo iż na producencie spoczywa obowiązek poinformowania o funkcjonowaniu próbnika w warunkach laboratoryjnych, to jednak na użytkownika spoczywa obowiązek zapewnienia, że próbnik spełnia wymagania dotyczące całkowitej niepewności określone w normie polskiej PN-EN 482 w rzeczywistych warunkach użytkowania.

Kolejnym aktem normatywnym jest opracowana przez Komitet Techniczny CEN/TC norma, która uzyskała statut normy krajowej, zgodnie z przepisami CEN/CENELEC dla państw członkowskich CEN. W normie tej przedstawiono wymagania stawiane aspiratorom (pompkom) do pobierania próbek metodą dozymetrii indywidualnej do oznaczania czynników chemicznych w powietrzu na stanowiskach pracy

W normie PN-EN 1232 określono metody badań laboratoryjnych stosowane do wyznaczania charakterystyk sprawnościowych w ustalonych warunkach laboratoryjnych, doty-

czące pompek o nominalnych strumieniach objętości 5 ml/min ÷ 5 L/min do pobierania: gazów par, pyłów i dymów oraz mgieł i włókien (PN-EN 1232:2002). Norma dotyczy pompek o stałym przepływie i pompek tłokowych o stałej objętości skoku tłoka. Pompy sklasyfikowano jako dwa typy:

- P – do dozymetrii indywidualnej umożliwiającej pobieranie aerozoli
- G – do dozymetrii indywidualnej umożliwiającej pobieranie gazów i par.

Do istotnych cech, którymi powinny charakteryzować się pompy, należą:

- masa pompy łącznie z bateriami i wbudowanym uchwytem nie powinna przekraczać 1,2 kg
- pompa powinna być wyposażona we wskaźnik wadliwego działania, który przy pobieraniu wskazuje, że przepływ powietrza został zmniejszony albo zatrzymany lub zatrzymujący pompkę w przypadku zmniejszenia czy przerwania przepływu
- pompa powinna mieć bezpiecznik lub wyłącznik ograniczający prąd, który przerywa lub ogranicza prąd w obwodzie elektrycznym w przypadku zwarcia
- pompa powinna mieć urządzenie umożliwiające regulację strumienia objętości tego rodzaju, aby wykluczyć nieumyślną zmianę nastawienia objętości strumienia w trakcie użytkowania
- pompy typu P powinny mieć automatyczną regulację utrzymującą strumień

objętości na stałym poziomie przy zmianie ciśnienia zwrotnego

- pompy typu G powinny mieć automatyczną regulację utrzymującą strumień objętości na stałym poziomie, powinny umożliwiać określenie objętości pobranego powietrza (np. licznik skoków tłoka)
- pulsacja dla pompek typu P nie powinna przekraczać 10% strumienia
- stabilność strumienia objętości przy wzrastającym ciśnieniu zwrotnym (dla pompek z kontrolowanym strumieniem objętości) w ramach nominalnego zakresu nie powinna różnić się więcej niż $\pm 5\%$ dla każdej zmierzonej zależności ciśnienia zwrotnego od przepływu, dla pompek typu P dla pięciu punktów z zakresu 1000 ÷ 5000 ml/min i dla pompek typu G dla pięciu punktów z zakresu 5 ÷ 300 ml/min
- wytrzymałość mechaniczna pompy powinna być taka, aby po wstrząsie nie nastąpiły uszkodzenia mechaniczne ani elektryczne, a zmierzony strumień objętości nie powinien się różnić od początkowej wartości więcej niż 5%.

Wymagania stawiane przyrządom do pobierania próbek powietrza są pomocne przy wyborze zarówno próbników, jak i pompek dostępnych w handlu, stosowanych do pobierania próbek powietrza z zastosowaniem dozymetrii indywidualnej w celu oceny narażenia na substancje szkodliwe występujące w środowisku pracy.

PRZYRZĄDY DO POBIERANIA AEROZOLI WE FRAKCJACH

W ostatnich latach przyrządy przeznaczone do pobierania próbek powietrza są bardzo wnikliwie badane pod kątem spełniania wymagań rozdziału frakcji aerozolu. Zostały również opracowane nowe próbki dostosowane do pobierania frakcji: wdychalnej, torakalnej i

respirabilnej, zgodnie z zaakceptowanymi przez wiele państw i obecnie obowiązującymi definicjami opisanymi w rozdziale: „Wymagania dotyczące przyrządów do pobierania próbek powietrza” (EN 481: 1993). Producenci tak dopracowali parametry próbników, aby

przy określonej geometrii i ustalonym przepływie powietrza uzyskać odpowiednią frakcję. Inne ważne cechy próbników to materiał, z którego są wykonane (aluminium, stal, przewodzące tworzywo oraz wielkość filtrów, jakie można zastosować do zbierania poszczególnych frakcji). Istotna jest również cena próbniaka, gdyż znacząco wpływa ona na ostateczny koszt analizy powietrza. Parametrem krytycznym jest jednak ściśle określony przepływ powietrza, od którego zależy wielkość zbieranych cząstek danej frakcji aerozolu. Aby można było uzyskać selektywny podział frakcji, użytkownicy powinni bezwzględnie zachowywać zalecane przez producenta wielkości przepływu – strumień objętości powietrza powinien być taki, jaki stosowano do rozdziału frakcji w warunkach badania próbniaka.

Dostępne na rynku próbniaki, przeznaczone do pobierania frakcji wdychalnej (*inhalable*), mają 50-procentowy *cutpoint* (punkt odcięcia) dla średnicy aerodynamicznej cząstek 100 μm , co oznacza, że cząstki o wartości średnicy aerodynamicznej 100 μm są zatrzymywane w próbniku w 50%. Próbniki do pobierania frakcji torakalnej (*thoracic*) cząstek o wartości średnicy aerodynamicznej 10 μm zatrzymują cząstki w 50%, a próbniaki do wyodrębniania frakcji respirabilnej (*respirable*) zatrzymują cząstki o wartości średnicy aerodynamicznej 4 μm z 50-procentową skutecznością.

Ze względu na rozpoznawalność próbników w dalszej części artykułu zastosowano ich nazwy własne.

Próbniki do pobierania frakcji wdychalnej aerozolu

Istnieje kilka dostępnych typów próbników do pobierania frakcji wdychalnej aerozolu (*Shou-Nan Li i in. 2000*). Pierwszy na rynku był IOM „Personal Inhalable PM Sampler” stosowany przez wiele lat zarówno do analizy




grawimetrycznej, jak i chemicznej próbek powietrza. Jest to próbnik opracowany przez *Vincenta i Marka* (1980) i opatentowany w USA (USA 4675034). Próbnik jest produkowany z tworzywa antyelektrostatycznego oraz ze stali. Na licencji powstały próbniaki o identycznej geometrii wyprodukowane przez firmę Zefon. Podobny w konstrukcji do próbniaka IOM jest próbnik Typu „Sampler Button”, który dodatkowo ma ekran nad wlotem do zatrzymania dużych cząstek aerozolu. Próbnik ten jest produkowany ze stali nierdzewnej i również został opatentowany w USA (USA nr 5.954.845). Próbnik ten jest wykorzystywany do pobierania: metali ciężkich zawartych w powietrzu i próbek bioaerozoli. Inne próbniaki do pobierania frakcji wdychalnej (np. próbnik „Seven Hole Sampler” z siedmioma równomiernie rozmieszczonymi otworami wlotowymi) zostały opracowane i są powszechnie stosowane, częściej w Europie niż w Stanach Zjednoczonych. Do pobierania frakcji wdychalnej jest również stosowana kaseta „Air Sampling Cassette” (SKC, Zefon, Casella), wykonana z polistyrenu składająca się z dwóch lub trzech części. Może być stosowana jako integralny próbnik lub wykorzystywana w połączeniu z cyklonami do gromadzenia frakcji respirabilnej.

W Polsce opracowano i wyprodukowano próbniaki z tworzywa przewodzącego i kopolimeru acetalu (TWO-MET), które są powszechnie stosowane przez laboratoria higieny pracy. Obecnie jest bardzo duży wybór próbników dostępnych na polskim rynku.





W dalszej części artykułu przedstawiono wybrane próbniaki, które jak zapewniają producenci, można stosować w dozymetrii indywidualnej do pobierania frakcji wdychalnej aerozolu metali i ich związków zawartych w powietrzu na stanowiskach pracy.

Charakterystykę wybranych próbników do pobierania frakcji wdychalnej aerozolu przedstawiono w tabeli 1.





Tabela 1.
Charakterystyka wybranych próbników do pobierania frakcji wdychalnej aerozolu

Nazwa próbnika	Producent/ dystrybutor	Oznaczana frakcja, deklarowany 50-procentowy <i>cutpoint</i> ^a , zalecany strumień objętości powietrza	Sposób uzyskania frakcji w połączeniu z próbnikiem	Cechy próbnika
<p>„IOM Personal Inhalable PM Sampler“</p> 	SKC IOM ACGIH	wdychana (<i>inhalable</i>) 100 µm 2 L/min	filtr o średnicy 25 mm PVC 5,0 µm włókno szklane 1,0 µm MCE 0,8 µm poliwęglanowe 0,8 µm	wykonany z przewodzącego tworzywa lub stali; mały i lekki – 55 g; wytrzymały do 100 °C, a wersji stalowej do 200 °C; stosowany do analiz grawime- trycznych i chemicznych patent USA nr 4675034 (Carter 2012 r.)
<p>„Inhalable Dust Sampler“</p> 	Zefon EKO- -HIGIENA	wdychana (<i>inhalable</i>) 100 µm 2 L/min	filtr o średnicy 25 mm	wykonany z przewodzącego tworzywa; mały i lekki – 54 g replika próbnika IOM
<p>Głowica otwarta fi 37 mm z kasetą na filtr</p> 	TWO-MET	pył całkowity i włókna mineralne 100 µm wg normy PN-EN 481 1,9 L/min 2,0 L/min	filtr o średnicy 37 mm włókninowy, polipropylenowy lub inny zaleca- ny do metody oznaczania	wykonany z kopolimeru aceta- lu; mały i lekki stosowany do analiz grawime- trycznych i chemicznych pyłu całkowitego oraz włókien mineralnych

cd. tab. 1.

Nazwa próbnika	Producent/ dystrybutor	Oznaczana frakcja, deklarowany 50-procentowy <i>cutpoint</i> ^a , zalecany strumień objętości powietrza	Sposób uzyskania frakcji w połączeniu z próbnikiem	Cechy próbnika
Głowica fi 37 mm 	EKO- -HIGIENA	do pyłu całkowitego 100 µm 2 L/min	filtr o średnicy 37 mm	głowica otwarta z kasetą we- wnętrzną; wykonana z przewodzącego tworzywa
„Button Aerosol Sampler SKC” 	SKC	wdychana (<i>inhalable</i>) < 100 µm 4 L/min	filtr o średnicy 25 mm PVC 5,0 µm włókno szklane PTFE 3,0 µm MCE 1,2 µm	wykonany z aluminium; zakrzywiony wlot zmniejsza wrażliwość na kierunek i prędkość wiatru; stosowany do analiz grawime- trycznych chemicznych i biolo- gicznych; nieodpowiedni dla krzemionki patent USA nr 5.954.845 i 5.958.111
„Seven Hole Head” 	SKC	wdychana (<i>inhalable</i>) 100 µm 2 L/min	filtr o średnicy 25 mm PVC 5,0 µm włókno szklane 1,0 µm MCE 0,8 µm poliwęglanowe 0,8 µm	próbnik wykonany z przewodzącego tworzywa; mały i lekki – 55 g; wytrzymały do 100 °C stosowany do analiz grawime- trycznych i chemicznych
Głowica fi 25 mm z 1 otworem z kasetą na filtr 	TWO-MET	pył całkowity i włókna mineralne 100 µm wg normy PN-EN 481 2 L/min	filtr o średnicy 25 mm	wykonany z kopolimeru aceta- lu; mały i lekki; wytrzymały do 100 °C, a w wersji stalowej do 200 °C; stosowany do pomiarów stęże- nia pyłów: radioaktywnych, spawalniczych i ołowiu

cd. tab. 1.

Nazwa próbnika	Producent/ dystrybutor	Oznaczana frakcja, deklarowany 50-procentowy <i>cutpoint</i> ^a , zalecany strumień objętości powietrza	Sposób uzyskania frakcji w połączeniu z próbnikiem	Cechy próbnika
Głowica fi 37 mm z 1 otworem z kasetą na filtr 	TWO-MET	pył całkowity i włókna mineralne 100 µm wg normy PN-EN 481 2 L/min	filtr o średnicy 37 mm	wykonany z kopolimeru acetalu; mały i lekki; zalecany do pyłów: radioak- tywnych, spawalniczych i ołowiu
Głowica fi 25 mm z 7 otworami, z kasetą na filtr 	TWO-MET	pył całkowity i włókna mineralne 100 µm wg normy PN-EN 481 2 L/min	filtr o średnicy 25 mm	wykonany z kopolimeru acetalu; mały i lekki; wytrzymały do 100 °C; stalowa wersja do 200 °C; stosowany do analiz: grawime- trycznych i chemicznych pyłu całkowitego oraz włókien mineralnych
Głowica fi 37 mm z 19 otwora- mi, z kasetą na filtr 	TWO-MET	pył całkowity i włókna mineralne 100 µm wg normy PN- EN 481 2 L/min	filtr o średnicy 25 mm	wykonana z kopolimeru acetalu; mały i lekki; wytrzymały do 100 °C, stalowa wersja do 200 °C; stosowany do analiz: grawime- trycznych i chemicznych pyłu całkowitego oraz włókien mineralnych
„Air Sampling Cassette” 	SKC Zefon Gillian Merck- -Millipore Casella	wdychana (<i>inhalable</i>) 100 µm 2 L/min	filtr o średnicy 25 i 37 mm	kaseta wykonana z polistyrenu; mała i lekka – 73 g; wersja 2- i 3-częściowa dosto- sowana do cyklonów; stosowana do analiz: grawime- trycznych i chemicznych, szczególnie do oznaczania ołowiu

Objaśnienia:

^a – wartość średnicy aerodynamicznej cząstek zatrzymywanych w separatorze w 50%.

Próbniki do pobierania frakcji respirabilnej aerozolu

Frakcja respirabilna aerozolu jest najczęściej wyodrębniana z powietrza przy użyciu próbnika – separatora frakcji cyklonu. Szybki przepływ powietrza w cyklonie oddziela cząstki według ich średnicy aerodynamicznej. Cząstki większe niż o określonym rozmiarze i większej masie są zmuszone do opuszczania cyklonu i przesuwania się w dół, ostatecznie są odrzucane do zbiorniczka pyłu. Mniejsze cząstki o określonym rozmiarze są wciągane do góry cyklonu i zbierane na filtrze. Selektowność cząstek zależy od: rozmiaru cyklonu, jego konstrukcji i zastosowanego przepływu – odpowiedniego strumienia objętości powietrza. Jego geometria determinuje wybór specyficznych natężeń przepływu w celu uzyskania pożądanego rozmiaru frakcji. Dlatego wszelkie odchylenia od idealnej szybkości przepływu zalecanej przez producenta, przy wydzielaniu frakcji, spowodują powstanie istotnych błędów pomiarowych.

Istnieją dwie główne konstrukcje cyklonów: „Higgins-Dewell” i „Dorr-Oliver”. Oba rodzaje cyklonów są zalecane przez UK Health and Safety Executive (HSE) oraz National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) do pobierania próbek respirabilnych cząstek (HSE 2000; Particulates... 1998). Cyklony „Higgins-Dewell” są głównie stosowane głównie w Europie, natomiast „Dorr-Oliver” najczęściej w Stanach Zjedno-

zonych. Obydwa cyklony są wykonane z przewodzącego tworzywa sztucznego i metalu przez różnych producentów (np. Casella, SKC, BGI). Wszystkie cyklony „Higgins-Dewell” i „Dorr-Oliver” są tak zaprojektowane, aby mogły spełniać wymagania definicji frakcji według ACGIH/CEN/ISO, dla których cząstki o wartości średnicy aerodynamicznej 4,0 µm zatrzymywane są w próbniku z 50-procentową skutecznością.



Wyprodukowano również udoskonalony cyklon typu GS-3, który ma zmodyfikowaną konstrukcję zmniejszającą straty cząstek wskutek zderzeń. Wykazano, że ten cyklon ma jeszcze bliższe teoretycznemu rozkłady dla frakcji respirabilnej niż dla cyklonu „Dorr-Oliver” (Trakumas i in. 2003). W dostępnym piśmiennictwie wykazano, że w wykonaniu cyklonów istnieją pewne różnice, lecz przy zachowaniu zalecanego natężenia przepływu powietrza, wszystkie cyklony spełniają kryteria wymagane dla frakcji respirabilnej aerozolu.

Jest wielu producentów cyklonów służących do wydzielania z powietrza frakcji respirabilnej. Wśród popularnych firm, takich jak: SKC, Casella, BGI, Zefon czy MSA są również firmy polskie produkujące cyklony (np. TWO-MED). Nie sposób w niniejszym artykule przedstawić całej oferty sprzętu dostępnego obecnie na rynku.





Charakterystykę wybranych próbników – separatorów do pobierania frakcji respirabilnej aerozolu przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2.

Charakterystyka wybranych próbników – separatorów do pobierania frakcji respirabilnej aerozolu

Nazwa próbnika – separatora	Producent/ dystrybutor	Oznaczana frakcja, deklarowany 50-procentowy <i>cutpoint</i> ^a , zalecany strumień objętości powietrza	Sposób uzyskania frakcji w połączeniu z głowicą cyklonu	Cechy próbnika – separatora
<p>“SKC Respirable Dust Aluminum Cyclone”</p> 	SKC	<p>respirabilna</p> <p>4,0 µm 2,5 L/min</p> <p>do innych zastosowań: 3,5 µm 2,8 L/min</p>	filtr o średnicy 25 lub 37 mm	<p>typ cyklonu „Dorr-Oliver”, wykonany z aluminium, dostosowany do 2- lub 3-częściowych kaset „Air Sampling Cassette”; mały – 6,6 x 3,8 cm i lekki – 73 g; stosowany do analiz aerozoli: grawimetrycznych, krzemionki i chemicznych; spełnia wymagania ACGIH/ISO/CEN</p>
<p>„Zefon Respirable Dust Aluminum Cyclone”</p> 	Zefon	<p>respirabilna</p> <p>4 µm 2,5 L/min</p>	<p>kaseta uniwersalna trzyczęściowa</p> <p>filtr o średnicy 37 mm</p> <p>PVC 5,0 µm PTFE 3,0 µm MCE 1,2 µm</p>	<p>typ cyklonu „Dorr-Oliver”, wykonany z aluminium; eliminuje skutki elektrostatyczne; spełnia wymagania ACGIH/ISO/CEN</p>



cd. tab. 2.

Nazwa próbnika – separatora	Producent/ dystrybutor	Oznaczana frakcja, deklarowany 50-procentowy <i>cutpoint</i> ^a , zalecany strumień objętości powietrza	Sposób uzyskania frakcji w połączeniu z głowicą cyklonu	Cechy próbnika – separatora
<p>„Zefon 10 mm Nylon Dorr-Oliver Cyclone”</p> 	<p>Zefon Casella BGI</p>	<p>respirabilna 4 μm 1,7 L/min</p>	<p>filtr o średnicy 37 mm</p>	<p>wykonany ze stali nierdzewnej i nylonu; przystosowany do kaset do zbierania pyłu węglowego w warunkach górniczych; cyklon wytrzymuje ciężkie warunki pracy</p>
<p>„Cyclone Assembly Dorr-Olivier Desing “</p> 	<p>Sensidyne Gilian EKO- -HIGIENA</p>	<p>respirabilna 4 μm 1,7 L/min</p>	<p>filtr o średnicy 37 mm kasetę 2- lub 3-częściową</p>	<p>wykonany ze stali nierdzewnej i nylonu; zalecany do każdego rodzaju pyłu respirabilnego oraz pyłu krzemionkowego</p>
<p>„GS-1 Respirable Dust Cyclone”</p> 	<p>SKC</p>	<p>respirabilna 4,0 μm 2,0 L/min 3,5 μm 3,0 L/min < 1 μm 1,7 lub 2,0 L/min (DPM Cassette)</p>	<p>filtr o średnicy 25 lub 37 mm</p>	<p>typ „Dorr-Oliver”; wykonany z przewodzącego tworzywa; posiada jedną szczelinę wlotową; można pobierać próbkę w trzech zakresach średnic aerodynamicznych</p>
<p>„GS-3 Respirable Dust Cyclone Overcomes Bias” of „Dorr-Oliver”</p> 	<p>SKC</p>	<p>respirabilna 4,0 μm 2,75 L/min do innych zastosowań 3,5 μm 3,7 L/min</p>	<p>filtr o średnicy 25 i 37 mm</p>	<p>wykonany z przewodzącego tworzywa; posiada 3 szczeliny wlotowe, które eliminują błędy spowodowane zmianą orientacji cyklonu, jak również zmniejszają wrażliwość na prędkość wiatru cyklon może uzyskać dwa rozdziały aerozolu</p>

cd. tab. 2.

Nazwa próbnika – separatora	Producent/dystrybutor	Oznaczana frakcja, deklarowany 50-procentowy <i>cutpoint</i> ^a , zalecany strumień objętości powietrza	Sposób uzyskania frakcji w połączeniu z głowicą cyklonu	Cechy próbnika – separatora
<p>„Zefon 10 mm Conductive Cyclone” („Dorr-Oliver” style)</p> 	<p>Zefon MSA Sensidyne TSI</p>	<p>respirabilna 4 µm 1,7 L/min</p>	<p>filtr o średnicy 25 lub 37 mm</p>	<p>wykonany z przewodzącego tworzywa; wewnątrz dokładnie dopasowane do cyklonów „Dorr-Oliver”; waży 104 g</p>
<p>„SKC Conductive Plastic Cyclone” (Higgins-Dewell)</p> 	<p>SKC Casella</p>	<p>respirabilna 4 µm 2,2 L/min</p>	<p>filtr o średnicy 25 lub 37 mm</p>	<p>cyklon typu „Higgins-Dewell” z bocznym wlotem; wykonany z przewodzącego tworzywa; posiada łatwą w montażu kasetę; cyklon jest bardzo lekki, waży około 60 g</p>
<p>„Casella Plastic Cyclone” for „Respirable Dust” („Higgins-Dewell”)</p> 	<p>Casella EKO-HIGIENA</p>	<p>respirabilna 4 µm 2,2 L/min</p>	<p>filtr o średnicy 25 lub 37 mm</p>	<p>cyklon typu „Higgins-Dewell” z górnym wlotem; wykonany z przewodzącego tworzywa; cyklon bardzo lekki – 60 g; nie wykazano istotnych różnic między tymi dwoma cyklonami „Higgins-Dewell”</p>
<p>Głowica fi 37 z separatorem cyklonowym Głowica fi 25 z separatorem cyklonowym</p> 	<p>TWO-MET</p>	<p>pył respirabilny 4,0 µm 1,9 L/min wg normy PN-EN 481</p>	<p>filtr o średnicy 25 lub 37 mm</p>	<p>wykonana z kopolimeru acetalu; antyelektrostatyczna; odporna na hydrolizę i alkohole; wysoka sztywność i twardość; niskie opory przepływu; został opracowany w 2007 r. we współpracy dwóch firm: TWO-MET i CIOP-PIB</p>

cd. tab. 2.

Nazwa próbnika – separatora	Producent/ dystrybutor	Oznaczana frakcja, deklarowany 50-procentowy <i>cutpoint</i> ^a , zalecany strumień objętości powietrza	Sposób uzyskania frakcji w połączeniu z głowicą cyklonu	Cechy próbnika – separatora
“BGI-4L Respirable Dust Cyclone” 	BGI EKO- -HIGIENA	respirabilna 4 μm 2,2 L/min	filtr o średnicy 37 mm	wykonany ze stali nierdzewnej lub niklowanego aluminium; waży 102 g
“BGI-4CP Respirable Dust Cyclone” 	BGI EKO- -HIGIENA	respirabilna 4 μm 2,2 L/min	filtr o średnicy 37 mm	wykonany ze stali nierdzewnej i niklowanego aluminium; jeden z lżejszych cyklonów waży 75 g

Objaśnienia:

^a – wartość średnicy aerodynamicznej cząstek zatrzymywanych w separatorze w 50%.

Próbniki do pobierania frakcji torakalnej i respirabilnej aerozolu oraz multifrakcji

Ten rodzaj próbników pozwala na równoczesny rozdział różnych frakcji (próbniki kaskadowe) lub, w zależności od wielkości przepływu, uzyskanie odpowiedniej frakcji na jednym próbniku czy odpowiednio skonstruowanym cyklonie. W zależności od rodzaju próbnika można rozdzielać dwie lub trzy frakcje. Dostępne są również separatory wielu frakcji (np. pięciu), rozdzielających nawet bardzo drobne cząstki – mniejsze od 0,25 μm (np. „Sioutas Cascade Impactor” SKC), chę-

nie wykorzystywane do badań aerozolu. Rozdział wielu frakcji daje pogląd na strukturę aerozolu, jednak wielkości rozdzielanych frakcji nie są spójne z nowymi i powszechnie przyjętymi definicjami frakcji aerozolu stosowanymi do oceny narażenia. Dlatego tego typu impaktory kaskadowe zostały w dalszej części artykułu pominięte.

Próbniki – separatory multifrakcji, które można zastosować do badań aerozolu metali i ich związków, przedstawiono w tabeli 3. Próbniki tego typu pozwalają rozdzielić frakcję wdychalną, torakalną i respirabilną.

W przypadku wielu metali i ich związków rozdzielanie frakcji respirabilnej nie jest wy-

magane do oceny narażenia, gdyż nie ustalono dla nich wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń.

Do pobierania multifrakcji można wykorzystać próbnik „SKC Parallel Particle Impactor” (PPI) – do rozdziału frakcji respirabilnej torakalnej (Trakumas i in. 2009). Podobnie „High Flow Respirable – thoracic Cyclone GK2.69” (BGI), pracujący przy większych przepływach, może być również wykorzystany do uzyskania frakcji respirabilnej. Próbnik „Tripex Cyclone SCC1.062”, pozwalający na rozdział bardzo małych frakcji (PM_{10} , $PM_{2.5}$), przy odpowiednim przepływie również wyodrębnia frakcję respirabilną.


Na uwagę zasługuje próbnik „RespiCon TM”, który mierzy fotometrycznie rozproszenie światła na każdym etapie rozdziału frakcji (Jones i in. 2005). Trzy frakcje: wdychalna,

respirabilna i torakalna, są zbierane na filtrach do ważenia, badań mikroskopowych lub do analizy chemicznej. Próbnik spełnia wymagania ustalone w: ISO, ACGIH i CEN. Próbnik wyprodukowany przez Hund Wetzlar (od 2008 r.) TSI ma patent niemiecki (nr P4433092).




W tabeli 3. przedstawiono podstawowe cechy próbników – separatorów multifrakcji, pozwalających na wydzielenie frakcji respirabilnej aerozolu zawierającego metale i ich związki, w zależności od rodzaju próbniaka również innych frakcji tego aerozolu. Opis próbników – separatorów przedstawiony w tabeli 3. pozwala poznać także parametry kilku próbników do wyodrębniania frakcji torakalnej, dla których cząstki o wartości średnicy aerodynamicznej – $10 \mu m$ są zatrzymywane w próbniku z 50-procentową skutecznością.

Tabela 3.




Charakterystyka próbników – separatorów multifrakcji (wdychalnej, torakalnej i respirabilnej)

Główne właściwości próbniaka – separatora	Producent/dystrybutor	Oznaczana frakcja, deklarowany 50-procentowy <i>cutpoint</i> ^a , zalecany strumień objętości powietrza	Sposób uzyskania frakcji w połączeniu separatorem	Cechy próbniaka – separatora
“Parallel Particle Impactor (PPI) Size-Selective for Thoracic or Respirable PM” <ul style="list-style-type: none"> – respirable (black) – respirable (red) – thoracic (blue) 	SKC	respirabilna $4,0 \mu m$ 2 L/min 8 L/min respirabilana $4,0 \mu m$ i torakalna $10 \mu m$ 2 L/min	filtr o średnicy 37 mm PVC $5,0 \mu m$ PTFE $2,0 \mu m$ MCE $0,8 \mu m$	wykonany z aluminium; impaktor minimalizuje efekty odbić cząstek i negatywne skutki ich nagromadzenia; lekki – waży 94 g, mały – średnica $4,3 \text{ cm}$, wysokość – $9,4 \text{ cm}$; produkowane są również w postaci jednorazowych próbników wykonanych z plastiku; spełnia wymagania ACGIH/ISO/CEN; opracowany w USA, patent nr 70733402



cd. tab. 3.

Główne właściwości próbnika – separatora	Producent/ dystrybutor	Oznaczana frakcja, deklarowany 50-procentowy <i>cutpoint</i> ^a , zalecany strumień objętości powietrza	Sposób uzyskania frakcji w połączeniu separatorem	Cechy próbnika – separatora
<p>„Personal Environmental Monitor PEM”</p> 	SKC	PM2.5 PM10 2 L/min 4 L/min 10 L/min 2,5 lub 10 µm	filtr o średnicy 37 mm	separator przeznaczony do pobierania próbek środowiskowych, jednak producent deklaruje wyodrębnienie frakcji torakalnej (np. kwasu siarkowego); wymiary: – średnica 5,1 cm – wysokość 2,6 cm – waga około 70 g
<p>„High Flow Respirable – Thoracic Cyclone GK2.69”</p> 	BGI	respirabilana 4,0 µm 4,2 L/min torakalna 10 µm 1,6 L/min	filtr o średnicy 37 mm PVC 5,0 µm MCE 0,8 µm	cyklon jest wykonany z aluminium niklowanego lub stali; zaakceptowany przez NIOSH; stosowany do pobierania próbek mgły olejowej i próbek krzemionki; do wysokiego przepływu są zalecane filtry z włókna szklanego lub teflonowe; badania wykazały, że jest najbliższy teoretycznemu rozkładowi cząstek frakcji torakalnej
<p>„Triplex Cyclone SCC1.062 PM₁, PM_{2,5} & Respirable”</p> 	BGI	respirabilana 4,0 µm 1,05 L/min oraz PM ₁ 1,0 µm 3,5 L/min PM _{2,5} 2,5 µm 1,5 L/min	filtr o średnicy 37 mm szkalne PTFE 2,0 µm MCE 0,8 µm	separator jest przeznaczony do pobierania próbek środowiskowych, pozwala na wyodrębnienie frakcji respirabilnej aerozolu; wykonany z aluminium niklowanego; wymiary: 8,64 x 4,1 cm, waga 91 g

cd. tab. 3.

Główne właściwości próbnika – separatora	Producent/ dystrybutor	Oznaczana frakcja, deklarowany 50-procentowy <i>cutpoint</i> ^a , zalecany strumień objętości powietrza	Sposób uzyskania frakcji w połączeniu separatorem	Cechy próbnika – separatora
GK 4.162 RASCAL „Respirable Air Sampling Cyclone Aluminum Large“ 	BGI	respirabilana 4,0 µm 8,5 ÷ 9,5 L/min	filtr o średnicy 47 mm PVC 5,0 µm MCE 0,8 µm	cyklon najwyższego przepływu, wykonany z aluminium anodowanego; stosowany również do frakcji torakalnej; zaprojektowany przez BGI, opracowany w NIOSH i testowany w HSE; stosowany do oznaczania krzemionki; wymiary: 15,2 x 5,1 cm, waga 253 g
„Personal Dust Sampler” CIP 10 	IRNS	wdychalna 100 µm 10 L/ min torakalna 10 µm 7 L/ min respirabilana	głowica i pianka poliuretanowa	próbnik CIP 10 do wszechstronnego zastosowania; stosowany w trudnych warunkach (np. w kopalniach); używany do pobierania próbek: krzemionki, pyłów drewna i metali do badań: grawimetrycznych, chemicznych i biologicznych; wyposażony w selektory: CIP 10 R lub CIP 10 MR frakcji respirabilnej; CIP 10 T lub CIP 10 MT posiadają selektory frakcji torakalnej; waga około 300 g, wysokość 17,5 cm
„Respicon Particle Sampler” 	Hund Wetzlar TSI	respirabilana 4,0 µm 3,11 L/min torakalna 10 µm 3,11 L/min	3 filtry o średnicy 37 mm z centralnymi otworami PVC 5,0 µm MCE 0,8 µm PTFE 0,5 µm szklane 1,0 µm	rozdział i pomiar fotometryczny w czasie pobierania próbki; stosowany do: badań grawimetrycznych, mikroskopowych i analizy chemicznej; jest mały, lekki i łatwy w użyciu, dość kosztowny; posiada patent niemiecki (nr P4433092); spełnia wymagania ACGIH/ISO/CEN

cd. tab. 3.

Główne właściwości próbnika – separatora	Producent/ dystrybutor	Oznaczana frakcja, deklarowany 50-procentowy <i>cutpoint</i> ^a , zalecany strumień objętości powietrza	Sposób uzyskania frakcji w połączeniu separatorem	Cechy próbnika – separatora
<p>„Conical Inhalable Sampler” (CIS)</p> 	Casella BGI EKO- -HIGIENA	<p>wdychalna 100 µm 3,5 L/min</p> <p>respirabilna (<i>respirable</i>) 4,0 µm 3,5 L/min</p>	<p>filtr o średnicy 37 mm PVC 5,0 µm włókno szklane 1,0 µm MCE 0,8 µm</p> <p>dysk z pianki poliuretanowej PUF – dwa rodzaje</p>	<p>suma mas frakcji zgromadzonych na piance i filtrze stanowi frakcję wdychalną; jest zalecany do pobierania próbek frakcji wdychalnej przez HSE, może wykazywać odchylenia od teoretycznego rozdziału frakcji (np. przy zmianie orientacji próbnika)</p>
<p>„IOM MultiDust Sampler”</p> 	SKC	<p>wdychalna 100 µm 2 L/min</p> <p>respirabilna 4,0 µm 2 L/min</p>	<p>filtr o średnicy 25 mm PVC 5,0 µm włókno szklane 1,0 µm MCE 0,8 µm poliwęglanowe 0,8 µm dysk z pianki poliuretanowej PUF</p>	<p>IOM do pobierania frakcji wdychalnej z dyskiem z PUF może gromadzić cząstki respirabilne; PUF o specjalnej porowatości zatrzymuje frakcję wdychaną, natomiast z tyłu kasety na filtrze gromadzona jest frakcja respirabilna</p>

Objaśnienia:

* – wartość średnicy aerodynamicznej cząstek zatrzymywanych w separatorze w 50%.

Filtry stosowane do pochłaniania frakcji aerozolu metali i ich związków

Filtry są nośnikiem wyodrębnionych z powietrza frakcji aerozolu zarówno frakcji wdychalnej, jak również uzyskanych po rozdziale innych frakcji, np. frakcji respirabilnej. Wielkość porów i powierzchni filtracyjnej oraz materiał, z którego został wykonany filtr, są najważniejszymi parametrami przy jego wyborze. Z tych względów filtry mają swoje preferowane zastosowania, co jednak nie wyklucza całego spektrum innych zastosowań. Planując działania analityczne, w tym odpowiednią obróbkę filtra (np.

do dalszej analizy chemicznej), dobrze jest znać jego własności.

Najbardziej popularnym filtrem stosowanym do analizy chemicznej jest filtr wykonany z mieszaniny estrów celulozy – MCE. Filtry membranowe MCE, celulozowe oraz z azotanów celulozy są powszechnie stosowanymi filtrami w analizie rutynowej powietrza. Jest wiele metod oznaczania substancji chemicznych i ich związków zawartych w powietrzu z zastosowaniem tego typu filtrów. Filtry te są bez trudu roztwarzane przy użyciu prostych sposobów mineralizacji. Nie podlega wątpliwości również kwestia ekonomiczna – są to filtry najtańsze.

Małą higroskopijnością i małą masą własną oraz małą zawartością popiołu charakteryzują się filtry membranowe z polichlorku winylu – PVC. Z tych względów są stosowane z powodzeniem zarówno do analiz grawimetrycznych, jak i chemicznych. Często są również stosowane do oznaczania metali ich związków oraz krzemionki.

Mocne i odporne na czynniki chemiczne są filtry membranowe, wykonane z teflonu – PTFE i używane do analizy próbek powietrza (szczególnie żrącego w środowisku z zastosowaniem metod chemicznych).

Największy przepływ (strumień objętości powietrza i dużą pojemność) można uzyskać przy zastosowaniu filtrów z włókien szklanych – GFA. Są one najczęściej stosowane do oznaczeń metodą grawimetryczną. Filtry te mogą zatrzymywać nanocząstki. Posiadają również dużą odporność na temperaturę.

Do monitorowania powietrza w środowisku pracy w powszechnym użyciu stosuje się również filtry kwarcowe. Są to filtry o największej czystości zarówno pod względem zawartości śladowych ilości substancji organicznych, jak i chemicznych. Przy ich użyciu można uzyskać wysoki przepływ i dużą wydajność filtracji.

Precyzyjnie określonymi wielkościami porów i ich równomiernym rozkładem charakteryzują się, gładkie jak szkło – filtry poliwęglanowe. Mają również dużą odporność chemiczną i dużą wytrzymałość.

Bardzo ekonomicznymi filtrami są filtry membranowe wykonane z czystego srebra (99,97%), gdyż można je czyścić i ponownie

używać. Mają one gładką powierzchnię i są odporne na temperaturę; są jednak dość kosztowne.

Zróżnicowane własności filtrów dostępnych w handlu stwarzają duże możliwości pochłaniania różnego rodzaju aerozolu oraz jego frakcji wyodrębnionych z powietrza stanowisk pracy. Warto odkrywać nowe zastosowania filtrów i czerpać korzyści z ich własności.

Aspiratory – pompki do pobierania próbek powietrza

Zestaw aparatury do pobierania próbek powietrza, w celu przeprowadzenia analizy chemicznej, składa się (w zależności od rodzaju pobieranej frakcji) z: próbnika lub próbnika – separatora frakcji zawierającego filtr oraz aspiratora powietrza. Niezbędne są kalibratory przepływu powietrza i zestaw przyborów pomocniczych (np. do transportu filtrów z pobranymi substancjami chemicznymi).

Ważnym elementem zestawu do dozymetrii indywidualnej są aspiratory. Wymagania, które muszą spełniać aspiratory, zostały określone w normie polskiej PN-EN 1232. Wymagania te zostały opisane w rozdziale: „Wymagania dotyczące przyrządów do pobierania próbek powietrza”.

Obecnie na rynku mamy bardzo dużą ofertę tego rodzaju sprzętu. W tabeli 4. przedstawiono różne rodzaje aspiratorów dostępnych w handlu oraz opisano ich najważniejsze cechy.

Tabela 4.

Charakterystyka wybranych aspiratorów do pobierania próbek powietrza

Nazwa aspiratora	Strumień objętości powietrza w jednostkach producenta (dopuszczalny błąd)	Kontrola przepływu	Maksymalny czas pracy, czas ładowania akumulatorów	Rodzaj baterii, zasilanie	Temperatura pracy	Waga, stosowanie
„Aspirator indywidualny AP-3”	0,6 ÷ 4,3 L/min z adapterem 5 ÷ 700 ml/min (±5%)	– stabilizacja przepływu przy zmianach ciśnienia – wskaźnik czasu po przerwaniu pobierania próbki	min. 8 h, ładowanie min. 16 h	NiMH 5 x 1,2 V 2,1 Ah	0 ÷ 40 °C	400 g, nie może być stosowany w atmosferze wybuchowej
„Aspirator indywidualny AP-8”	0,8 ÷ 4,5 L/min (±5%)	– stabilizacja przepływu przy zmianach ciśnienia – wskaźnik czasu po przerwaniu pobierania próbki	8 h, ładowanie min. 16 h	NiMH 5 x 1,2 V 2,1 Ah	0 ÷ 40 °C	490 g, nie może być stosowany w atmosferze wybuchowej
„Aspirator indywidualny AP-11 Ch/P”	0,7 ÷ 4,0 L/min z adapterem 50 ÷ 350 ml/min (±5%)	– wskaźnik czasu po przerwaniu pobierania próbki	8 h, ładowanie min. 16 h	NiMH/ 5 x 1,2 V 2,1 Ah	0 ÷ 40 °C	490 g, nie może być stosowany w atmosferze wybuchowej
„Aspirator indywidualny AP-12”	1,0 ÷ 4,0 dm ³ /min (±5%)	– wskaźnik czasu po przerwaniu pobierania próbki	8 h, ładowanie min. 16 h	NiMH 7 x 1,2 V 2,1 Ah	5 ÷ 45 °C	510 g, nie może być stosowany w atmosferze wybuchowej
„Aspirator indywidualny AP-2007EX”	600 ÷ 2200 ml/min (±5%)	– wskaźnik czasu po przerwaniu pobierania próbki	8 h, ładowanie 2 ÷ 16 h	NiMH 7 x 1,2 V 2,1 Ah NiMH 7 x 1,2 V 2,5 Ah	5 ÷ 45 °C	580 g, może być stosowany w strefach zagrożonych wybuchem, w wyrobiskach podziemnych a, b oraz A, B w Strefach 1 i 2, Klasy wybuchowości IIA, IIB, IIC i Klasy temperatury T1, T2, T3
„Aspirator uniwersalny APEX”	0,8 ÷ 5 L/min z modułem niskich przepływów 50 ÷ 700 ml/min (±5%)	– wyświetlacz LCD, parametry pracy, kontrola w sposób ciągły – auto-restart, co 3 min, przez 30 min	8 h, ładowanie 3 h	NiMH 4,8 V 2,7Ah	5 ÷ 45 °C	480 g, iskrobezpieczny Grupa urządzeń: Grupa II 1G, strefy 0, 1, 2, klasyfikacja UL Klasa 1. Grupa C i D

cd. tab. 4.

Nazwa aspiratora	Strumień objętości powietrza w jednostkach producenta (dopuszczalny błąd)	Kontrola przepływu	Maksymalny czas pracy, czas ładowania akumulatorów	Rodzaj baterii, zasilanie	Temperatura pracy	Waga, stosowanie
„Aspirator uniwersalny APEX”	0,8 ÷ 4,0 L/min z modulem niskich przepływów (±5%)	– wyświetlacz LCD – parametry pracy, kontrola w sposób ciągły – auto-restart, co 3 min, przez 30 min	8 h, ładowanie 4,5 h	NiMH 4,8 V 2,7 Ah	5 ÷ 45 °C	480 g, iskrobezpieczny spełnia normy i dyrektywy; grupa urządzeń: Grupa II 1G, Strefy 0, 1, 2, klasyfikacja UL Klasa 1. Grupa C i D
„Personal sampler AFC-123”	1,0 ÷ 2,5 L/min (±5%)	– wyświetlacz LCD – wskaźnik pracy – automatyczna korekcja przepływu	8 ÷ 10 h, ładowanie 4,5 h	NiMH	5 ÷ 45 °C	453,6 g
„GilAir-3”	1 ÷ 3000 ml/min 850 ÷ 3000 ml/min wysoki przepływ 1 ÷ 750 ml/min stały niski przepływ, (ciśnienie ±5%)	– rotametr, kompensacja przepływu – wskaźnik pracy – auto-restart, co 3 min, przez 1h	min. 8 h, ładowanie 14 ÷ 18 h	NiCad lub NiMH 4,8 V 1,8 Ah	0 ÷ 40°C	595 g, iskrobezpieczny, spełnia normy i dyrektywy, grupa urządzeń: klasa B klasa 1., Strefa 1, Grupa A, B, C, D T3C
„GilAir-5”	1 ÷ 5000 ml/min 850 ÷ 5000 ml/min wysoki przepływ 1 ÷ 750 ml/min stały niski przepływ (stałe ciśnienie ±5%)	– rotametr, kompensacja przepływu – wskaźnik pracy – auto-restart, co 3 min, przez 1 h	min. 8 h, ładowanie 14 ÷ 18 h	NiCad lub NiMH 6 V 1 Ah	0 ÷ 40 °C	638 g, iskrobezpieczny spełnia normy i dyrektywy, grupa urządzeń: Klasa B, Klasa 1 Strefa 1 Grupa A, B, C, D T3C
„Gilian 3500”	maks. 3,5 i 5,0 L/min z modulem niskiego przepływu 20 ÷ 750 ml/min i 20 ÷ 800 ml/min (±3% między 1 ÷ 3 L/min, ±5% powyżej 3L/min)	– wyświetlacz LCD parametry pracy, – auto-restart, co 3 min, przez 30 min	min. 8 h, ładowanie poniżej 5 h	NiMH 6 V 1 Ah	0 ÷ 45 °C	może być stosowany w strefach zagrożonych wybuchem, bezpieczeństwo: Klasa I, Strefa 1, Grupa A, B, C, D, Klasa II, Grupa E, F, G, Klasa III, klasa temperatury T3C

cd. tab. 4.

Nazwa aspiratora	Strumień objętości powietrza w jednostkach producenta (dopuszczalny błąd)	Kontrola przepływu	Maksymalny czas pracy, czas ładowania akumulatorów	Rodzaj baterii, zasilanie	Temperatura pracy	Waga, stosowanie
„Gilian 5000”	maks. 3,5 i 5,0 L/min z modulem niskiego przepływu 20 ÷ 750 ml/min i 20 ÷ 800 ml/min (±3% między 1 ÷ 3L/min, ±5%)	– wyświetlacz LCD, parametry pracy i program – kompensacja i sygnalizacja wysokiego ciśnienia zwrotnego – auto-restart, co 3 min, przez 30 min	min. 8 h, ładowanie poniżej 4 h	NiMH 6V 1Ah	0 ÷ 45 °C	może być stosowany w strefach zagrożonych wybuchem, bezpieczeństwo: Klasa I, – Strefa 1, – Grupa A, B, C, D Klasa II Strefa 1 i 2, Grupa E, F, G, Klasa III, Klasa temperatur T4
„AirC-hek® 2000”	5 ÷ 3250 ml/min z adapterem 5 ÷ 500 ml/min (±5%)	– auto-restart, po 5 min, 10 prób co 5 min – wyświetlacz LCD	12 h dla 2000 ml/min, ładowanie 6 ÷ 8,5 h	NiMH 4 cele 4,8V 5Ah	0 ÷ 45 °C	624g, przeciwwybuchowość UL i cUL
„AirC-hek® 3000”	1000 ÷ 3250 ml/min z adapterem 5 ÷ 500 ml/min (±5%)	– wskazania błędu przepływu – auto-restart, po 5 min, 10 prób – wyświetlacz LCD – oprogramowanie, kompatybilny z PC	ładowanie 3 h dla szybkiej ładowarki, 16 h dla stacji	NiMH 4,8V; 2Ah	0 ÷ 40 °C	580 g, może być stosowana w strefach zagrożonych wybuchem
“AirLite® Personal Air Sampling Pump”	1000 ÷ 3000 ml/min z adapterem 5 ÷ 500 ml/min (±5%)	– kompensacja zmian przepływu – wyświetlacz LED – wskaźnik pracy i błędu przepływu	8,5 h przy przepływie 1L/min, 10 h przy przepływie 2,5 L/min	AA alkaliczne 1,2 V	0 ÷ 45 °C	340 g, nie może pracować w atmosferze zagrożonej wybuchem
„AirC-hek® 52”	1000 ÷ 3000 ml/min (±5%)	– auto-restart po 15 s 5 prób uruchomienia	8 h min., 12 h przy przepływie 2 L/min,	NiCad 4,8V 1,8Ah	0 ÷ 45 °C	567 g, nie może pracować w atmosferze zagrożonej wybuchem,
„Air Sampling Pump”			ładowanie 6 ÷ 8,5 h	NiMH 6V 1Ah		może pracować w strefach zagrożonych wybuchem: Klasa I, Strefa 1, Grupa A, B, C, D

cd. tab. 4.

Nazwa aspiratora	Strumień objętości powietrza w jednostkach producenta (dopuszczalny błąd)	Kontrola przepływu	Maksymalny czas pracy, czas ładowania akumulatorów	Rodzaj baterii, zasilanie	Temperatura pracy	Waga, stosowanie
AirChek® XR5000	1000 ÷ 5000 ml/min (± 5%)	<ul style="list-style-type: none"> – auto-restart, 5 prób do 5 razy, co 15 s – LCD – auto-restart, 5-krotny po 15 s od momentu przeciążenia 	40 h przy przepływie 2 L/min, 22 h przy przepływie 5 L/min, 18 h przy przepływie 2 L/min	<ul style="list-style-type: none"> Li-Ion 4 cele 7,4 V 4,4 Ah Li-Ion 2-cele 7,4 V 2,2 Ah alkaliczne 1,5 V, ładowanie 8 i 4 h 	0 ÷ 45 °C	0,6 kg, 0,45 kg, 0,48 kg, antystatyczny tworzywo, oznakowanie o bezpieczeństwie zapłonowym
PCMAZ8 Personal Air Sampling Pump	5 ÷ 2500 ml/min z adapterem 5 ÷ 500 ml/min (± 5%)	<ul style="list-style-type: none"> – Rotametr – wskaźnik przepływu – auto-restart 5-krotny, wskazanie czasu 	8 h przy przepływie 2 L/min, ładowanie 16 h	NiMH 2,0 Ah, 4,8 V	0 ÷ 40 °C	915 g, może być stosowany w strefach zagrożonych wybuchem
Air Sampling Pump PCXR8	1000 ÷ 5000 ml/min z adapterem 5 ÷ 500 ml/min (± 5%)	<ul style="list-style-type: none"> – rotametr – wskaźnik przepływu – programowanie startu i stopu – LCD wskaźnik programowania – auto-restart, 5-krotny po 15 s od momentu przeciążenia 	8 h przy przepływie 4000 ml/min, 12 h przy przepływie 4000 ml/min, ładowanie 6 ÷ 8,5 h	<ul style="list-style-type: none"> NiCad 6 V; 3,5 Ah NiMH/ 6 V; 2 Ah 	0 ÷ 45 °C	964 g, może być stosowany w strefach zagrożonych wybuchem, bezpieczeństwo: Klasa I, Strefa 1, Grupa A, B, C, D, Klasa II, Strefa Ii 2, Grupa E, F, G, Klasa III, Klasa temperatur T3C
Air Sampling Pump PCXR4	1000 ÷ 5000 ml/min (±5%) z adapterem 5 ÷ 500 ml/min (±5%)	<ul style="list-style-type: none"> – rotametr – wskaźnik przepływu – automatyczne wyłączenie przy przeciążeniu – LCD wskaźnik – auto-restart, 5-krotny po 15 s od momentu przeciążenia 	8 h przy przepływie 4000 ml/min, 12 h przy przepływie 4000 ml/min, ładowanie 6 ÷ 8,5 h, ładowanie 6 ÷ 8,5 h	<ul style="list-style-type: none"> NiCad 6 V; 3,5 Ah NiMH/ 6 V; 2 Ah 	0 ÷ 45°C	964 g, może być stosowany w strefach zagrożonych wybuchem, bezpieczeństwo: Klasy I, Strefa 1, Grupa A, B, C, D, Klasa II Strefa Ii 2, Grupa E, F, G, Klasa III, Klasa temperatur T3C

cd. tab. 4.

Nazwa aspiratora	Strumień objętości powietrza w jednostkach producenta (dopuszczalny błąd)	Kontrola przepływu	Maksymalny czas pracy, czas ładowania akumulatorów	Rodzaj baterii, zasilanie	Temperatura pracy	Waga, stosowanie
„Air Sampling Pump 44XR”	1000 ÷ 5000 ml/ min z adapterem 5 ÷ 500 ml/min (±5%)	rotametr – wskaźnik przepływu	8 h przy przepływie 4000 ml/min, 12 h przy przepływie 4000 ml/min, ładowanie 6 ÷ 8,5 h	NiCad 6 V; 3,5 Ah NiMH 6 V; 2 Ah	0 ÷ 45 °C	964 g, może być stosowany w strefach zagrożonych wybuchem, bezpieczeństwo: Klasy I, Strefa 1, Grupa A, B, C, D, Klasa II, Strefa 1 i 2, Grupa E, F, G, Klasa III, Klasa temperatur T3C
“Escort ELF® Single Pump Kit”	1 ÷ 3L/min (±5% do 0,5 L/min)	– po 90 s od momentu błędu przepływu, komentarz na wyświetlaczu LED – zapewnia stałą kontrolę przepływu – automatyczna kompensacja zmian napięcia: akumulatora, temperatury, wysokości i obciążenia	czas pracy zależny od przepływu, ładowanie 14 ÷ 16 h	NiMH 2,8 Ah NiCad 2,4 Ah	0 ÷ 45 °C	550 g, bezpieczeństwo w atmosferze wybuchowej: Klasa I, Grupa A, B, C, D, Klasa II, Grupa E, F, G, Klasa III, Strefa 1
“Escort ELF® Single Pump Kit and Gemini Twin Port Sample”	1 ÷ 3 L/min (±5% do 0,5 L/min – dwa kanały)	– po 90 s od momentu błędu przepływu komentarz na wyświetlaczu LED – stała kontrola przepływu – automatyczna kompensacja zmian napięcia, temperatury, wysokości i obciążenia	czas pracy zależny od przepływu, ładowanie 14 ÷ 16 h	NiCad 4,8 V, 1,8 Ah		625 g, bezpieczeństwo w atmosferze wybuchowej: Klasa I, Grupa A, B, C, D, Klasa II, Grupa E, F, G, Klasa III, Strefa 1

cd. tab. 4.

Nazwa aspiratora	Strumień objętości powietrza w jednostkach producenta (dopuszczalny błąd)	Kontrola przepływu	Maksymalny czas pracy, czas ładowania akumulatorów	Rodzaj baterii, zasilanie	Temperatura pracy	Waga, stosowanie
„Leland Legacy”	5 ÷ 15 L/min (±5%)	– auto-restart, 10-krotny po 20 s od momentu przeciążenia – LCD – wskazania: przepływu, ciśnienia i czasu	praca 24 h, ładowanie 15 h	Li-Ion 7,4 V 12 Ah	0 ÷ 45 °C	1000 g, nie może być stosowany w atmosferze wybuchowej, oprogramowanie do PC

Podstawowymi wymaganiami w stosunku do aspiratorów są: stabilność przepływu i sygnalizacja o błędzie przepływu strumienia objętości powietrza lub wstrzymanie pracy, gdy aparat wskazuje wysokie ciśnienie zwrotne oraz tolerancja zmian przepływu, czyli maksymalny deklarowany procent zmian. W tym względzie producenci oferują wiele rozwiązań i należy te właściwości rozpatrywać dla każdego aspiratora indywidualnie.

Ważnym wymaganiami w stosunku do aspiratorów jest ich waga, która znacząco wpływa na obciążenie pracownika podczas pobierania próbek powietrza. Ponieważ mówimy o dozymetrii indywidualnej, noszenie ciężkiego sprzętu w czasie pracy jest dla pracownika niekiedy dużym utrudnieniem. Wszystkie wymienione pompki spełniają zalecenia określone w normie i nie przekraczają wagi 1,2 kg. Ponadto, dla użytkownika bardzo istotną cechą jest czas pracy akumulatorów oraz ich czas ładowania, co jest związane z rodzajem akumulatorów.

Ważną cechą jest także stabilność pracy w podwyższonej temperaturze – niektóre z aspiratorów mogą pracować również w temperaturze do 50 °C.

Przy analizowaniu oferty i zakupie aspiratorów należy zwrócić szczególną uwagę na to, czy aspirator spełnia wymagania pracy w atmosferze wybuchowej. Większość z aspiratorów spełnia bardzo rygorystyczne wymagania w tym zakre-

sie, jednak niektóre nie mogą być stosowane w atmosferze wybuchowej. Niejednokrotnie są to bardzo nowoczesne aspiratory wyposażone w oprogramowanie PC (np. „Leland Legacy” zalecany do pracy z separatorami wielu frakcji).

Przyrządy pomocnicze

Do prawidłowej pracy sprzętu przy pobieraniu próbek powietrza są niezbędne kalibratory przepływu powietrza. W tym względzie przyszły użytkownik dokonujący zakupu aspiratora dostaje do wyboru ofertę związaną z kalibracją zestawu do pobierania próbek powietrza. I tak, np. do kalibracji próbnika frakcji wdychalnej „Buttom Sampler”, pracującego przy przepływie 4,0 L/min z filtrem 25 mm jest zalecany „Button Sampler Cal Adapter”, do próbnika IOM do pobierania frakcji wdychalnej i respirabilnej (z pianką PUF) przy przepływie 2 L/min stosuje się „IOM Calibrator”, natomiast dla próbnika „Parallel Impactor” można używać zestawu *multipurpose cal jar*.

Ładowanie akumulatorów aspiratorów odbywa się również za pomocą specjalnych ładowarek przeznaczonych do zakupionego sprzętu.

Ponadto, oferowany jest cały zestaw przyborów pomocniczych, np.: przewodów do połączenia poszczególnych części aparatów, elementów do mocowania aspiratorów i próbników na ubraniu pracownika w strefie oddychania oraz

kaset do transportu filtrów z pobranymi próbkami aerozoli. Wiele z elementów dodatkowego

wyposażenia jest zależna od posiadanej już aparatury.

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono przegląd zagadnień dotyczących możliwości separacji frakcji aerozolu, którego podstawę stanowią normy dotyczące pobierania próbek powietrza i wymagania stawiane przyrządom do pobierania próbek aerozoli. Zaprezentowano przyrządy niezbędne do pobierania frakcji aerozoli: próbniki i aspiratory stosowane do pobierania próbek powietrza w środowisku pracy metodą dozymetrii indywidualnej, z uwzględnieniem i opisem ich podstawowych cech charakterystycznych.

Przeгляд oferowanych i dostępnych dla użytkownika w Polsce typów przyrządów do pobierania różnych frakcji aerozolu, różnych producentów z Polski, Europy i innych państw, wskazuje na dużą różnorodność tego typu przyrządów i wszechstronne możliwości ich wykorzystania do oznaczania frakcji: wdychalnej, torakalnej i respirabilnej.

Przedstawiony przegląd możliwości dostępnej aparatury do pobierania próbek po-

wietrza w tym aerozoli metali i ich związków, może być pomocą w pracy dla laboratoriów akredytowanych Państwowej Inspekcji Sanitarnej i innych, upoważnionych laboratoriów higieny środowiska pracy. Również pracodawcy, którzy są zobowiązani do szacowania ryzyka, nawet wówczas gdy stosowane w produkcji substancje chemiczne nie mają ustanowionej wartości NDS, mogą być zainteresowani przedstawionymi informacjami.

Na podstawie sporządzonego przeglądu przyrządów do pobierania różnych frakcji aerozolu, w kolejnym artykule zostaną przedstawione: możliwości ich wykorzystania do oznaczania metali i ich związków we frakcjach aerozolu, sposoby pobierania każdej z frakcji, a także zostanie przedstawiony zapis dotyczący pobierania próbek aerozolu we frakcjach w metodach znormalizowanych.

INFORMACJE DODATKOWE

Artykuł ma charakter przeglądowy i nie stanowi reklamy jakiegokolwiek z wymienionych firm.

W artykule wykorzystano informacje i zdjęcia, uzyskane od firm produkujących lub zajmujących się dystrybucją przyrządów do pobierania próbek powietrza – zamieszczone na stronach

internetowych: SKC, Zefon, Casella, BGI, Gilian, TWO-MET, Ekohigiena [<http://www.skcinc.com>; <http://www.zefon.com>; <http://www.casellamesurment.com>; <http://www.bgi-susa.com>; <http://www.sensidyne.com>; <http://www.twomet.pl>; <http://www.ekohigiena.com.pl>].

PIŚMIENNICTWO

- EN 481: 1993 Workplace atmospheres – Size fraction definitions for measurement of airborne particles.
- Gromiec J. (2004) Pomiary i ocena stężeń czynników chemicznych i pyłów w środowisku pracy. Wytyczne i zalecenia. Warszawa, CIOP-PIB.
- HSE (2000) MDHS 14/3 General methods for sampling and gravimetric analysis of respirable and inhalable dust. Methods for the determination of hazard substances. HSE Books, London.
- Jones A.D. i in. (2005) Thoracic size-selective sampling of fibres. Performance of Four Types of Thoracic Sampler in Laboratory Tests. Ann. Occup. Hyg. 24, 1–12.
- NIOSH (1998) Methods 0600. Particulates not otherwise regulated, respirable. NIOSH Manual of analytical methods. Issue 3, 2–6.
- Particulates Not Otherwise Regulated, Respirable (1998) NIOSH, Manual of Analytical Methods. Methods 0600, issue 3, 15 January 1998, p. 2 of 6.
- PN-EN 481:1998 Atmosfera miejsca pracy. Określenie składu ziarnowego dla pomiaru cząstek zawieszonych w powietrzu.
- PN-EN 689:2002 Powietrze na stanowiskach pracy. Wytyczne oceny narażenia inhalacyjnego na czynniki chemiczne przez porównanie z wartościami dopuszczalnymi i strategia pomiarowa.
- PN-EN 1232: 2002 Pompki do pobierania próbek czynników chemicznych metodą dozymetrii indywidualnej.
- PN-EN 13205:2004 Ocena funkcjonowania przyrządów do pomiarów pyłu zawieszonego w powietrzu.
- PN-EN 482:2012 Wymagania ogólne dotyczące charakterystyki procedur pomiarów czynników chemicznych.
- PN-Z-04008-7:2002/Az1:2004 Ochrona czystości powietrza – Pobieranie próbek – Zasady pobierania próbek powietrza w środowisku pracy i interpretacji wyników.
- Rozporządzenie ministra zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU, nr 33, poz. 166.
- Shou-Nan Li, Lundgren D. A., Rovell-Rixx D. (2000) Evaluation of six inhalable aerosol samplers. AIHAJ 61, 506–516.
- Skowroń J. (2012) Sprawozdanie z działalności Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy w 2011 r. PiMOŚP 1(71), 141.
- Soderholm S.C. (1989) Proposed international conventions for particle size-selective sampling. Ann. Occup. Hyg. 33, 301.
- Trakumas S., Salter E. (2009) Parallel particle impactor – novel size-selective particle sampler for accurate fractioning of inhalable particles. Journal of Physics: Conference Series 151, 16 pp., 012060.
- Trakumas S., Hall P. (2003) Performance assessment of personal respirable cyclone samplers. AIHCE presentation 191.
- Więcek E. (2011) Kryteria zdrowotne pobierania próbek aerozoli w środowisku pracy. PiMOŚP 2(68), 5.