

mgr inż. DOROTA KONDEJ
dr EWA GAWĘDA
Centralny Instytut Ochrony Pracy –
Państwowy Instytut Badawczy
00-701 Warszawa
ul. Czerniakowska 16

Badania zawartości metali we frakcjach pyłów emitowanych na przemysłowych stanowiskach pracy*

Numer CAS: 479-18-5

Słowa kluczowe: metale, frakcje pyłu, absorpcyjna spektrofotometria atomowa, powietrze na stanowiskach pracy.

Keywords: metals, dust fractions, atomic absorption spectrometry, workplace air.

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z pomiarami stężeń metali we frakcjach pyłów emitowanych na przemysłowych stanowiskach pracy.

Omówiono próbniki umożliwiające pobieranie frakcji pyłów o różnych zakresach wymiarowych oraz dokonano przeglądu metod przygotowania próbek do oznaczania metali z uwzględnieniem sposobu pobierania próbek na różnego rodzaju filtry oraz przyjętej metody instrumentalnej.

Przedstawiono wyniki badań zawartości metali we frakcjach pyłów emitowanych w wybranych procesach obróbki materiałów metalowych.

UWAGI WSTĘPNE

Materiały metalowe są poddawane różnym procesom technologicznym, które mają na celu nadanie wytwarzanym produktom wymaganych kształtów lub właściwości fizycznych, chemicznych bądź magnetycznych. Często tego typu operacjom towarzyszy emisja pyłów zawierających różne metale i ich związki, które stanowią zagrożenie zarówno dla pracowników, jak i dla środowiska.

Na podstawie wyników licznych badań naukowych dowiedziono, że toksyczność pyłów metali zależy m.in. od rozkładu wymiarowego cząstek pyłu oraz od ich składu chemicznego (Particle... 2000; Baldwin, Marshall 1999; Handbook... 2007; Davidson i in. 2005; Christiani i in. 2006). Do oceny wielkości narażenia na metale i ich związki zawarte we frakcjach pyłów emitowanych w procesach obróbki wyrobów metalowych konieczne jest więc pobranie próbek powietrza na stanowi-

* Publikacja przygotowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach I etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowywanego w latach 2008-2010 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

skach pracy z uwzględnieniem separacji pyłu na poszczególne frakcje, a następnie przeprowadzenie analizy chemicznej w celu określenia wielkości stężenia poszczególnych metali w pobranych próbkach powietrza.

POBIERANIE PRÓBEK POWIETRZA I SEPARACJA NA FRAKCJE

Strategię i zasady pobierania próbek powietrza na stanowiskach pracy określono w normie PN-Z-04008-7 dotyczącej pobierania próbek i interpretacji wyników pomiarów. Zgodnie z zawartymi w normie zasadami, próbki powietrza na stanowiskach pracy można pobierać, stosując albo dozymetrię indywidualną, albo w sposób stacjonarny. Najbardziej wiarygodne wyniki uzyskuje się za pomocą dozymetrii indywidualnej, gdyż zastosowanie umieszczonego na pracowniku dozymetru (pompka z próbnikiem) gwarantuje, że próbka jest pobierana w strefie oddychania pracownika bez względu na charakter jego pracy i wykonywane czynności (Gromiec 2004). Stacjonarne pobieranie próbek powinno być w zasadzie stosowane jedynie wówczas, gdy pracownik przez cały czas trwania zmiany roboczej wykonuje czynności zawodowe w jednym miejscu, a charakter tych czynności jest w miarę jednorodny.

Zgodnie z zasadami dozymetrii indywidualnej podanymi w normie PN-Z-04008-7 próbki powietrza powinny być pobierane w sposób ciągły, przez okres równy co najmniej 75% czasu trwania zmiany roboczej. W tym okresie należy pobrać kolejno od jednej do pięciu próbek powietrza.

W celu pobrania próbki powietrza zawierającej określoną frakcję pyłu konieczne jest zastosowanie odpowiedniego próbnika umożliwiającego separację pyłu zawieszonego w powietrzu na stanowisku pracy na odpowiednie frakcje. Pobieranie frakcji pyłów polega na zassaniu zapyłonego powietrza ze znanym strumieniem objętości w określonym czasie i wydzieleniu odpowiedniej frakcji pyłu na filtrze umieszczonym zwykle w górnej części cyklonu lub na odpowiednich stopniach impaktora.

W tabelicy 1. przedstawiono wybrane próbki umożliwiające wydzielenie różnych frakcji pyłów. Podano nazwy angielskie próbników, ponieważ w praktyce przede wszystkim te są stosowane. W tabeli zestawiono również podstawowe informacje dotyczące: wydzielanych frakcji, wymaganego strumienia objętości powietrza, 50-procentowego punktu odcięcia, tj. wartości średnicy aerodynamicznej cząstek, które są zatrzymywane w danym próbniku z 50-procentową skutecznością oraz średnice filtrów, na których są osadzane cząstki pyłów. W tabeli 1. zamieszczono też wybrane pozycje piśmiennictwa, w których są zaprezentowane określone próbki lub wyniki badań prowadzonych z ich użyciem.

Tabela 1.

Próbniki umożliwiające wydzielenie frakcji pyłów zgodnie z ich zakresami

Nazwa próbnika	Frakcja pyłu	Strumień objętości, dm ³ /min	Punkt odcięcia 50-procentowy, μm	Średnica filtra, mm	Piśmiennictwo
CAVI (<i>cascade virtual impactor</i>)	PM ₁₀ PM _{2,5} PM ₁	12,5	10 2,5 1	37	<i>Prasserttachato</i> i in. 2006; <i>Podgórski</i> i in. 2003

cd. tab. 1.

Nazwa próbnika	Frakcja pyłu	Strumień objętości, dm ³ /min	Punkt odcięcia 50-procentowy, µm	Średnica filtra, mm	Piśmiennictwo
CIS (<i>conical inhalable sampler</i>)	P M ₁₀ /tchawiczna PM _{2,5} respirabilna	3,5	10 2,5 4	37	<i>Predicala, Maghirang</i> 2003; <i>Berlinger</i> i in. 2007; <i>Li</i> i in. 1999
<i>Dorr-Oliver cyclone</i>	respirabilna	1,7	4	37	<i>Cohen, Powers</i> 2000; <i>Görner</i> i in. 2001; <i>Page</i> i in. 2000
IOM <i>personal sampler</i>	wdychana	2	100	25	<i>Koch</i> i in. 2002; <i>Harper</i> i in. 2007; <i>Linnainmaa</i> i in. 2008; <i>Vincent</i> i in. 2001; <i>Teikari</i> i in. 2003; <i>Brixey</i> i in. 2002; <i>Liden</i> i in. 2000; <i>Clinkenbeard</i> i in. 2002; <i>Li</i> i in. 2000; <i>Demange</i> i in. 2002
<i>Parallel particle impactor</i>	respirabilna lub tchawiczna	2 2	4 10	37	<i>Trakumas, Hall</i> 2004; <i>Marple</i> 2004
PCIS (<i>personal cascade impactor sampler</i>)	2,5-10 1,0-2,5 0,5-1,0 0,25-0,5 <0,25	9	2,5 1,0 0,5 0,25 0,25	25 37	<i>Misra</i> i in. 2002; <i>Sioutas</i> 2004; <i>Brinkman</i> i in. 2006; SKC 2004; <i>Singh</i> i in. 2003
PEM (<i>personal environmental monitor</i>)	PM _{2,5} PM ₁₀	2 4 10 2 4 10	2,5 10	37	<i>Harper</i> i in. 2007; <i>Li</i> i in. 2000; <i>Marple</i> 2004; <i>Christiani</i> i in. 2006
RespiCon	respirabilna tchawiczna wdychana	3,11	4 10 100	37	<i>Verma</i> 2007; <i>Koch</i> i in. 2002; <i>Teikari</i> i in. 2003
SKC (<i>aluminum cyclone</i>)	respirabilna	2,8 2,5	3,5 4	25 37	<i>Harper</i> i in. 1998; <i>Görner</i> i in. 2001; <i>Balasubramanian, Qian</i> 2004
SKC (<i>plastic cyclone</i>)	respirabilna	2,2	4	25	<i>Harper</i> i in. 2007; <i>Cohen, Powers</i> 2000; <i>Görner</i> i in. 2001

PRZYGOTOWANIE PRÓBEK DO OZNACZANIA METALI

Podczas pobierania próbek powietrza w sposób umożliwiający separację cząstek o różnych wymiarach należy mieć też możliwość oznaczenia zawartości określonych metali w poszczególnych frakcjach. Aby oznaczyć dany metal z zastosowaniem wybranej techniki instrumentalnej, należy uwzględnić odpowiedni sposób przygotowania do oznaczania roztworu próbki powietrza. Korzystne jest zastosowanie takiego sposobu przygotowania próbki, który byłby uniwersalny w odniesieniu do wielu metali i umożliwiał oznaczanie kilku metali z jednej próbki powietrza – w tym przypadku w jednej frakcji pyłu.

Stosowane w Polsce znormalizowane metody oznaczania stężeń różnych metali i/lub ich związków w powietrzu na stanowiskach pracy dotyczą zwykle pojedynczych metali. W metodach dotyczących oznaczania takich metali występujących w większości procesów przemysłowych, jak np.: ołowiu, kadmu, niklu, miedzi, glinu, srebra, antymonu, chromu, cynku i żelaza, zaleca się na ogół stosowanie do pobierania próbek powietrza nitrocelulozowych filtrów membranowych o średnicy porów 0,8 μm (ewentualnie 1,5 μm). Strumień objętości zasysanego powietrza podczas pobierania próbek wynosi najczęściej 2 l/min lub jest mniejszy (pobieranie próbek zgodnie z zasadami dozymetrii indywidualnej) oraz do 20 l/min (stacjonarne pobieranie próbek).

Pobraną na filtr membranowy próbkę powietrza mineralizuje się zwykle na gorąco kwasami nieorganicznymi, ogrzewając ją najczęściej na płycie grzejnej w temperaturze około 140 °C. Do mineralizacji matrycy stosuje się stężony kwas azotowy, do mineralizacji próbki stosuje się także kwas azotowy, a niekiedy: siarkowy, chlorowodorowy czy fluorowodorowy oraz mieszaniny tych kwasów. W niektórych przypadkach należy zastosować kwasy rozcieńczone. W większości metod podanych w normach polskich (PN) zaleca się zastosowanie do mineralizacji próbki stężonego kwasu azotowego, a następnie do przygotowania roztworu analizowanej próbki rozcieńczonego kwasu azotowego. Podczas oznaczania kobaltu należy użyć do mineralizacji próbki wody królewskiej, natomiast próbki zawierające cynę mineralizuje się w mieszaninie kwasów siarkowego i azotowego. Jednak nawet wtedy, gdy mineralizację prowadzi się z zastosowaniem kwasu azotowego, a roztwór analitu jest roztworem rozcieńczonego kwasu azotowego, sposób jego przygotowania w poszczególnych metodach znormalizowanych nie jest identyczny. Stosując metody podane w normach polskich (PN), nie można na ogół oznaczać więcej niż jednego metalu z jednej próbki powietrza. Poszczególne metale oznacza się w przygotowanym roztworze metodą z zastosowaniem absorpcyjnej spektrometrii atomowej z płomieniem acetylen-powietrze lub rzadziej z płomieniem acetylen-podtlenek azotu, a także metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z kwektą grafitową, oznaczając np. beryl czy pentatlenek wanadu. W starszych normach polskich (PN) oznaczanie niektórych metali przeprowadza się też metodą spektrofotometrii konwencjonalnej, w widzialnym zakresie światła lub w nadfiolecie.

W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym opracowano w 2007 r. metodę oznaczania wielu metali z jednej próbki powietrza, która umożliwia oznaczanie 16 metali i metaloidów oraz ich związków w powietrzu na stanowiskach pracy (Gawęda 2007). Metoda ta pozwala na oznaczanie takich metali, jak np.: ołowiu, miedzi, niklu, arsenu, selenu, kadmu, żelaza, chromu, srebra, antymonu, manganu i glinu oraz ich związków, a także tlenków: cynku, wapnia i magnezu (oznaczane odpowiednio jako cynk, wapń i magnez) oraz pentatlenku wanadu. próbki powietrza są pobierane na filtry membranowe o wymiarach porów 0,85 μm i średnicy filtra 37 mm ze strumieniem objętości do 2 l/min. Filtr, na który pobrano próbkę powietrza, mineralizuje się w stężonym kwasie azotowym (lub w kwasie azotowym z dodatkiem kwasu sol-

nego), a następnie sporządza się roztwór do analizy w rozcieńczonym kwasie azotowym. W przygotowanym roztworze z zastosowaniem absorpcyjnej spektrometrii atomowej oznacza się w płomieniu powietrze-acetylen następujące metale: chrom, cynk, wapń, magnez, żelazo i mangan oraz z kuwetą grafitową (wersja bezpłomieniowa): ołów, kadm, nikiel, arsen, srebro, selen, miedź, antymon, glin i wanad.

Do pobierania próbek powietrza w celu oznaczenia metali są również stosowane filtry inne niż celulozowe, np. filtry z włókien szklanych (Moreno-Grau i in. 2004; Tippayawong i in. 2006) czy filtry PTFE (teflon), (Balasubramanian, Qian 2004; Brouwer i in. 2006; Rasmussen i in. 2006).

W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym opracowano metodę oznaczania wybranych metali we frakcjach pyłów pobranych na filtry PTFE (Kondej, Gawęda 2011). Metodę można stosować do oznaczania stężeń cynku, manganu, miedzi, niklu, ołowiu i żelaza we frakcjach pyłu o wymiarach cząstek mniejszych niż $0,25\ \mu\text{m}$, $0,25 \div 0,5\ \mu\text{m}$, $0,5 \div 1\ \mu\text{m}$, $1 \div 2,5\ \mu\text{m}$ i większych od $2,5\ \mu\text{m}$ emitowanych na przemysłowych stanowiskach pracy. Metoda polega na wydzieleniu frakcji pyłu na filtrach PTFE umieszczonych w impaktorze kaskadowym. Do zbierania frakcji pyłu o wymiarach cząstek z zakresów: $0,25 \div 0,5\ \mu\text{m}$, $0,5 \div 1\ \mu\text{m}$, $1 \div 2,5\ \mu\text{m}$ i większych od $2,5\ \mu\text{m}$, stosuje się filtry PTFE o wymiarach porów $0,5\ \mu\text{m}$ i średnicy filtrów 25 mm umieszczone na poszczególnych stopniach próbnika. Do zbierania frakcji pyłu o wymiarach cząstek mniejszych niż $0,25\ \mu\text{m}$ stosuje się filtr PTFE umieszczony w próbniku jako filtr końcowy o wymiarach porów $2\ \mu\text{m}$ i średnicy filtra 37 mm. Filtry z osadzonymi frakcjami pyłu poddaje się wymywaniu rozcieńczonym kwasem azotowym z dodatkiem środka powierzchniowo czynnego. Poszczególne pierwiastki oznacza się metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej ASA z płomieniem powietrze-acetylen: cynk, żelazo, mangan i magnez, natomiast metodą ASA z kuwetą grafitową i korekcją tła Zemana: nikiel, miedź i ołów.

Szersze omówienie zagadnienia można znaleźć w opracowaniu „Pomiary stężeń metali we frakcjach pyłów emitowanych w procesach obróbki materiałów metalowych” (Kondej, Gawęda 2010).

POMIARY STĘŻEŃ METALI WE FRAKCJACH PYŁÓW

Material i metody

Badania stężeń metali we frakcjach pyłów przeprowadzono na stanowiskach obróbki materiałów metalowych zlokalizowanych w zakładach pracy reprezentujących średnie i duże przedsiębiorstwa. Badaniami objęto kilkadziesiąt stanowisk pracy zróżnicowanych pod względem materiałów poddawanych obróbce oraz stosowanych procesów technologicznych. Obróbce poddawano elementy wykonane z mosiądzu, żeliwa oraz stali. Na objętych badaniami stanowiskach pracy wykonywano następujące czynności: cięcie, frezowanie, gwintowanie, kucie, odlewanie, okrawanie, polerowanie, szlifowanie, toczenie oraz wiercenie materiałów metalowych.

Próbki powietrza pobierano zgodnie z zasadami dozymetrii indywidualnej podanymi w normie PN-Z-04008-7:2002. Na każdym stanowisku pracy pobierano próbki powietrza do oznaczania wybranych metali we frakcjach pyłu o następujących zakresach wymiarów cząstek:

- $< 0,25\ \mu\text{m}$
- $0,25 \div 0,5\ \mu\text{m}$
- $0,5 \div 1\ \mu\text{m}$

- 1 ÷ 2,5 µm
- 2,5 ÷ 10 µm.

Do pobierania próbek powietrza i separacji pyłu na frakcje stosowano próbnik PCIS (*personal cascade impactor sampler*, SKC Inc., USA). Pobieranie próbek polegało na zasysaniu zapyłonego powietrza ze strumieniem objętości powietrza 9 dm³/min przez minimum 6 h i impakcyjnym wydzieleniu cząstek zawieszonych w zasysanym powietrzu na filtrach umieszczonych na poszczególnych stopniach próbnika PCIS. Powietrze zasysano do próbnika PCIS z użyciem aspiratorów *leland legacy sample pump* (SKC Inc., USA). Zgodnie z zaleceniem producenta (SKC 2004) do zbierania cząstek z zakresu 0,25 ÷ 10 µm stosowano filtry PTFE o wymiarach porów 0,5 µm i o średnicy krążka 25 mm (SKC Inc., USA). Cząstki o wymiarach poniżej 0,25 µm pobierano na filtry PTFE o wymiarach porów 2 µm i średnicy krążka 37 mm (SKC Inc., USA). Strumień objętości powietrza zasysanego przez pompki sprawdzano każdorazowo przed pobraniem próbek przy wykorzystaniu kalibratora przepływu Defender model 520 (SKC Inc., USA).

Metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (ASA) oznaczano następujące metale w próbkach pobranych na stanowiskach pracy i zawierających wydzielone frakcje pyłów (Kondej, Gawęda 2011):

- cynk, żelazo, mangan i magnez – metodą ASA z płomieniem powietrze-acetylen
- nikiel, miedź i ołów – metodą ASA z kuetą grafitową i korekcją tła Zeemana.

Do oznaczania stężeń metali w roztworach próbek stosowano następujące przyrządy pomiarowe:

- spektrofotometr do absorpcji atomowej firmy Thermo Electron Corporation SOLAAR M przystosowany do pracy z płomieniem powietrze-acetylen i wyposażony w lampy z katodą wnątkową do oznaczania: cynku, manganu oraz żelaza, a także komputer z oprogramowaniem Solaar wersja 10.14.
- spektrofotometr do absorpcji atomowej SpectrAA 880 firmy Varian z kuetą grafitową i korekcją tła Zeemana wyposażony w lampy z katodą wnątkową do oznaczania: miedzi, niklu i ołowiu, a także kuetę grafitową pokrywaną pizolitycznie, automatyczny podajnik próbek oraz komputer z oprogramowaniem SpectrAA 880Z wersja 2.10.

WYNIKI BADAŃ

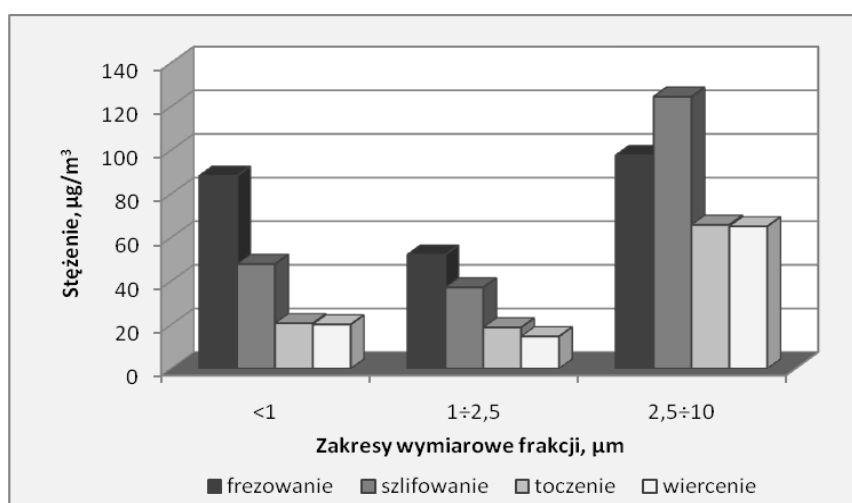
Na podstawie wyników pomiarów przeprowadzonych na pięćdziesięciu stanowiskach obróbki materiałów metalowych stwierdzono, że stężenia oznaczanych metali we frakcjach pyłów o wymiarach cząstek: mniejszych niż 0,25 µm, 0,25 ÷ 0,5 µm, 0,5 ÷ 1 µm, 1 ÷ 2,5 µm i większych niż 2,5, były bardzo zróżnicowane (od setnych części do kilkuset mikrogramów na metr sześcienny).

Największe stężenia badanych metali we frakcjach pyłów emitowanych na stanowiskach obróbki elementów wykonanych z mosiądzu oznaczono we frakcji o wymiarach cząstek 2,5 ÷ 10 µm dla: cynku (36,8 µg/m³ podczas kucia), miedzi (90,6 µg/m³ podczas toczenia), ołowiu (48,4 µg/m³ podczas wiercenia) i żelaza (21 µg/m³ podczas wiercenia), natomiast dla niklu we frakcji o wymiarach cząstek od 0,5 do 1 µm (1,7 µg/m³ podczas kucia).

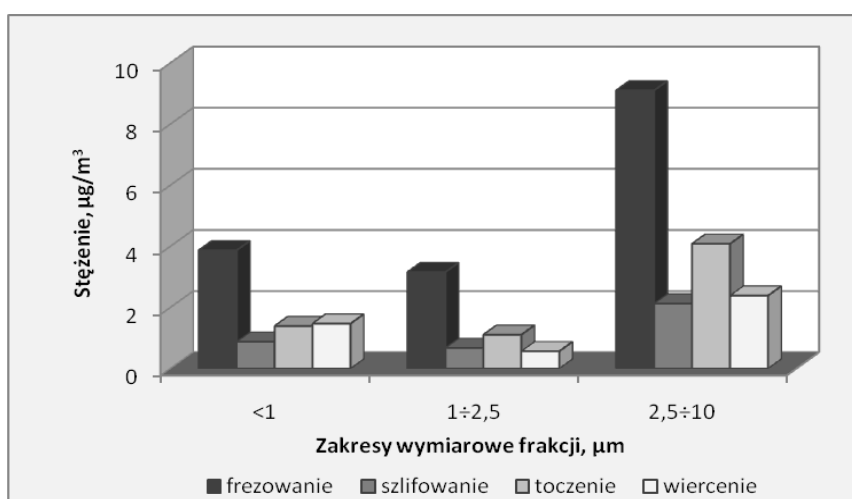
Największe stężenia badanych metali we frakcjach pyłów emitowanych na stanowiskach obróbki elementów wykonanych ze stali oznaczono na stanowisku polerowania we frakcji o wymiarach cząstek 2,5 ÷ 10 µm dla: manganu (12,5 µg/m³), miedzi (26,1 µg/m³), niklu (8,2 µg/m³) i żelaza (151,3 µg/m³).

Największe stężenia badanych metali we frakcjach pyłów emitowanych na stanowiskach obróbki elementów wykonanych z żeliwa oznaczono we frakcji o wymiarach cząstek $2,5 \div 10 \mu\text{m}$ dla: manganu ($29,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ podczas frezowania), niklu ($4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ podczas toczenia) i żelaza ($287 \mu\text{g}/\text{m}^3$ podczas szlifowania), natomiast dla miedzi we frakcji o wymiarach cząstek mniejszych od $0,25 \mu\text{m}$ ($6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ podczas szlifowania).

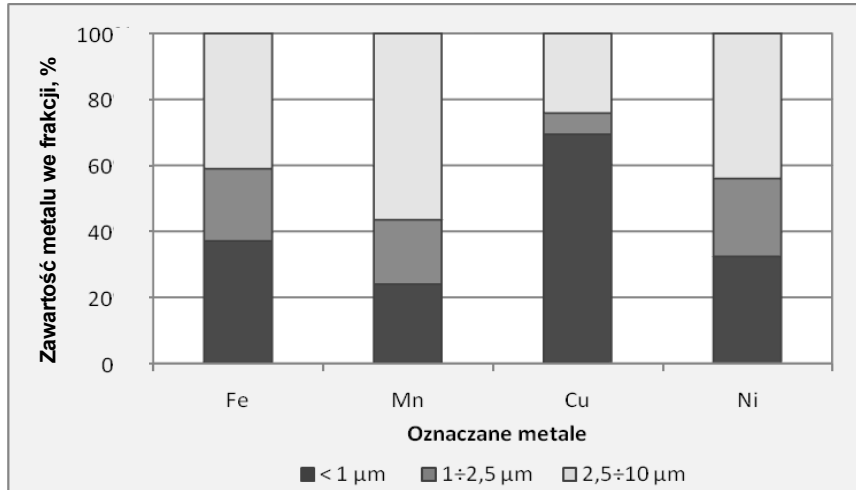
Przykładowe wyniki badań przedstawiono graficznie na rysunkach, na których zaprezentowano wyniki badań przeprowadzonych na wybranych stanowiskach obróbki mechanicznej elementów żeliwnych. Na rysunkach 1. i 2. przedstawiono odpowiednio stężenia żelaza i manganu we frakcjach pyłu o wymiarach cząstek: poniżej $1 \mu\text{m}$, $1 \div 2,5 \mu\text{m}$ i $2,5 \div 10 \mu\text{m}$, emitowanych na wybranych stanowiskach: frezowania, szlifowania, toczenia i wiercenia elementów żeliwnych. Na rysunkach od 3. do 6. przedstawiono wartości udziałów procentowych żelaza, manganu, miedzi i niklu we frakcjach pyłów uzyskane dla różnych typów obróbki.



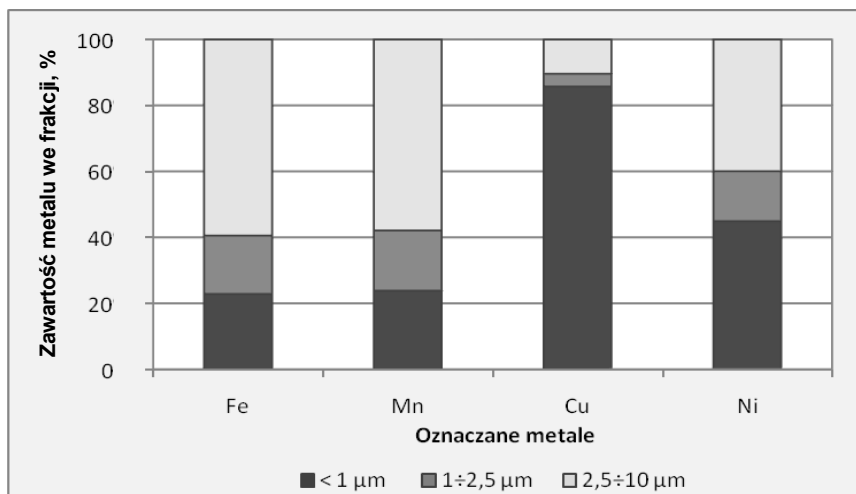
Rys. 1. Stężenia żelaza we frakcjach pyłów emitowanych na stanowiskach frezowania, szlifowania, toczenia i wiercenia elementów żeliwnych



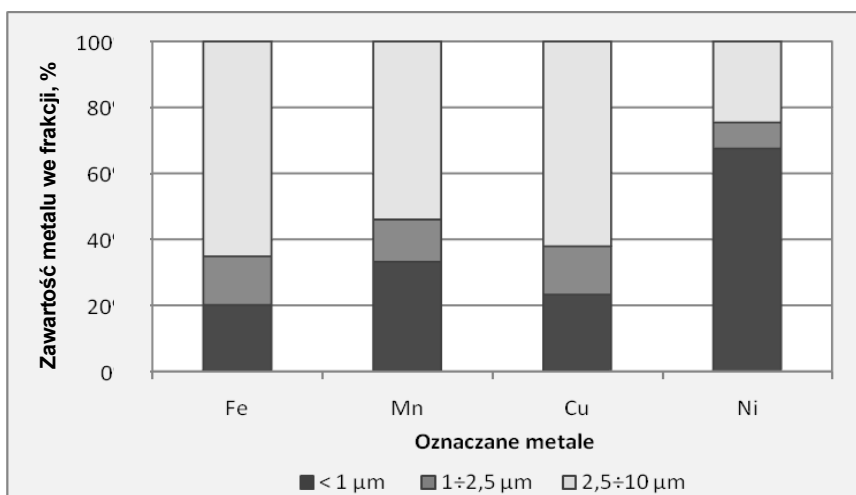
Rys. 2. Stężenia manganu we frakcjach pyłów emitowanych na stanowiskach frezowania, szlifowania, toczenia i wiercenia elementów żeliwnych



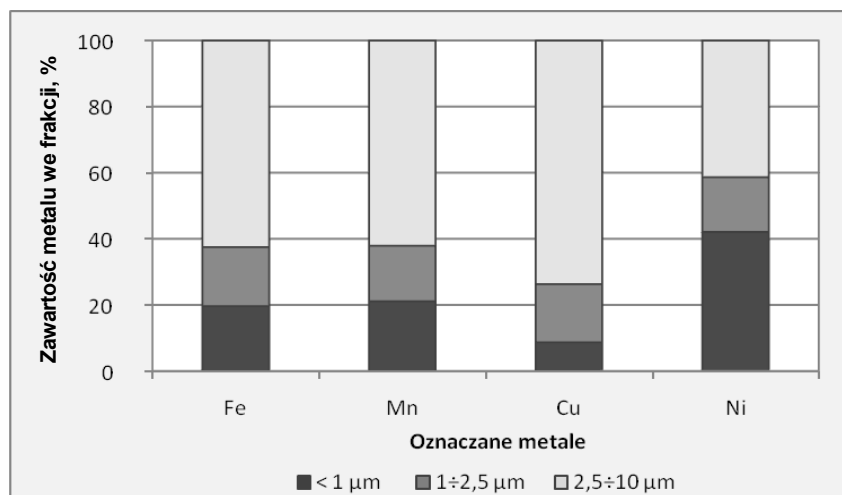
Rys. 3. Zawartość procentowa metali we frakcjach pyłu emitowanego na stanowisku frezowania elementów żeliwnych



Rys. 4. Zawartość procentowa metali we frakcjach pyłu emitowanego na stanowisku szlifowania elementów żeliwnych



Rys. 5. Zawartość procentowa metali we frakcjach pyłu emitowanego na stanowisku wiercenia elementów żeliwnych



Rys. 6. Zawartość procentowa metali we frakcjach pyłu emitowanego na stanowisku toczenia elementów żeliwnych

WNIOSKI

Na objętych badaniach stanowiskach pracy stężenia oznaczanych metali w powietrzu były stosunkowo niewielkie i w większości przypadków wskaźniki narażenia (czyli w przypadku pobierania próbek powietrza zgodnie z zasadami dozymetrii indywidualnej – średnie stężenia ważone) obliczone dla frakcji całkowitej pyłu nie przekraczały 0,5 wartości odpowiednich najwyższych dopuszczalnych stężeń (NDS). Przekroczenie wartości NDS stwierdzono jedynie na stanowisku toczenia elementów z mosiądzu. Na dwóch stanowiskach pracy – na stanowisku okrawania oraz na stanowisku wiercenia elementów z mosiądzu – wyznaczone wskaźniki narażenia były większe od 0,5 wartości NDS.

Na podstawie analizy wartości wskaźników łącznego narażenia na metale (obliczonego jako suma ilorazów średnich stężeń ważonych metali wyznaczonych dla frakcji całkowitej pyłu i odpowiadających im wartości NDS) stwierdzono, że na dwóch stanowiskach pracy – stanowisku toczenia elementów z mosiądzu oraz na stanowisku wiercenia elementów z mosiądzu – współczynniki łącznego narażenia na oznaczane metale przekraczały wartość 1. Na stanowiskach obróbki elementów z mosiądzu – stanowisku okrawania i dwóch stanowiskach wiercenia – współczynniki łącznego narażenia również miały duże wartości, ale były mniejsze od 1. Na pozostałych objętych badaniach stanowiskach obróbki materiałów metalowych współczynniki łącznego narażenia na oznaczane metale nie przekraczały wartości 0,5 NDS.

Udziały procentowe metali we frakcjach pyłów o wymiarach cząstek: mniejszych niż $0,25 \mu\text{m}$, $0,25 \div 0,5 \mu\text{m}$, $0,5 \div 1 \mu\text{m}$, $1 \div 2,5 \mu\text{m}$, były bardzo zróżnicowane. Na objętych badaniach stanowiskach obróbki materiałów metalowych największe wartości udziałów procentowych: cynku, manganu, ołowiu i żelaza, występowały zwykle we frakcji o wymiarach $2,5 \div 10 \mu\text{m}$. Niemniej jednak zawartość procentowa poszczególnych metali łącznie we frakcjach o wymiarach cząstek poniżej $2,5 \mu\text{m}$ była znacząca w przypadku wszystkich oznaczanych metali, co może wskazywać na poważne zagrożenie zdrowia pracowników ze względu na penetrację i efektywne osadzanie się takich cząstek w obszarze pęcherzyków płucnych.

PIŚMIENNICTWO

- Balasubramanian R., Qian W.B.* (2004) Characterization and source identification of airborne trace metals in Singapore. *J. Environ. Monit.* 6, 813–818.
- Baldwin D.R., Marshall W.J.* (1999) Heavy metal poisoning and its laboratory investigation. *Ann. Clin. Biochem.* 36, 267–300.
- Berlinger B., N aray M., Zaray G.* (2007) Comparison of different sampling heads applied for investigation of welding fume. *Microchemical Journal* 85(1), 25–30.
- Brinkman M., Cowen K., Dindal A., Willenberg Z.* (2006) Sioutas PCIS with Leland Legacy Pump. NUATRC Research Report No.2.
- Brixey L.A., Paik S.Y., Evans D.E., Vincent J.H.* (2002) New experimental methods for the development and evaluation of aerosol samplers. *J. Environ. Monit.* 4(5), 633–641.
- Brouwer D.H., Links I.H.M., Vreede S.A.F., Christopher Y.* (2006) Size selective dustiness and exposure; simulated workplace comparisons. *Ann. Occup. Hyg.* 50(5), 445–452.
- Christiani D.C., Hauser R., Herrick R.F., Kim J.Y., Magari S.R., Smith T.J., Williams P., Wand M.* (2006) Cardiopulmonary Effects of Metal-Containing Particulate Exposure. NUATRC Research Report 8.
- Clinkenbeard R.E., England E.C., Johnson D.L., Esmen N.A., Hall T.A.* (2002) A field comparison of the IOM inhalable aerosol sampler and a modified 37-mm cassette. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 17(9), 622–627.
- Cohen H.J., Powers B.J.* (2000) Particle size characterizations of copper and zinc oxide exposures of employees working in a nonferrous foundry using cascade impactors. *AIHA J.* 61(3), 422–430.
- Davidson C.I., Phalen R.F., Solomon P.A.* (2005) Airborne particulate matter and human health: a review. *Aerosol Science and Technology* 39, 737–749.
- Demange M., Görner P., Elcabache J.M., Wrobel R.* (2002) Field comparison of 37-mm closed-face cassettes and IOM samplers. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 17(3), 200–208.
- Gawęda E.* (2007) Metale i metaloidy oraz ich związki – rozszerzona metoda oznaczania. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 4(54), 69–78.
- G rner P., Wrobel R., Micka V., Skoda V., Denis J., Fabri s J.F.* (2001) Study of fifteen respirable aerosol samplers used in occupational hygiene. *Ann. Occup. Hyg.* 45(1), 43–54.
- Gromiec J.P.* (2004) Pomiary i ocena stężeń czynników chemicznych i py w w Źrodowisku pracy. *Wytyczne i zalecenia.* Warszawa, CIOP-PIB.
- Handbook on the toxicology of metals* (2007) [Red.] F.G. Nordberg, B.A. Fowler, M. Nordberg, L.T. Friberg. New York, Elsevier.
- Harper M., Fang., Bartley D., Cohen B.S.* (1998) Calibration of the SKC [W:] Aluminum cyclone for operation in accordance with ISO/CEN/ACGIH Respirable Aerosol Sampling Criteria. *Journal of Aerosol Science* 29 (suppl 1), 347–348.
- Harper M., Pacolay B., Hintz P., Bartley D.L., Slaven J.E., Andrew M.E.* (2007) Portable XRF analysis of occupational air filter samples from different workplaces using different samplers: final results, summary and conclusions. *J. Environ. Monit.* (11), 1263–1270.
- Koch W., Dunkhorst W., L dding H., Thomassen Y., Skaugset N.P., Nikano A., Vincent J.* (2002) Evaluation of the respicon as a personal inhalable sampler in industrial environments. *J. Environ Monit.* 4(5), 657–662.
- Kondej D., Gaw da E.* (2011) Metale we frakcjach py u – metoda oznaczania. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 1(67), 129–135.
- Kondej D., Gaw da E.* (2010) Pomiary st żeń metali we frakcjach py w emitowanych w procesach obróbki material w metalowych. Warszawa, CIOP-PIB.
- Li S.N., Lundgren D.A.* (1999) Weighing accuracy of samples collected by IOM and CIS inhalable samplers. *AIHA J.* 60(2), 235–236.
- Li S.N., Lundgren D.A., Rovell-Rixx D.* (2000) Evaluation of six inhalable aerosol samplers. *AIHAJ* 61(4), 506–516.
- Liden G., Melin B., Lidblom A., Lindberg K., Nor n J.O.* (2000) Personal sampling in parallel with open-face filter cassettes and IOM samplers for inhalable dust-implications for occupational exposure limits. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 15(3), 263–276.
- Linnainmaa M., Laitinen J., Leskinen A., Sippula O., Kalliokoski P.* (2008) Laboratory and Field Testing of Sampling Methods for Inhalable and Respirable Dust. *Journal of Occupational and Environmental*

Hygiene. 5(1), 28–35.

Marple V.A. (2004) History of impactors – the first 110 years. *Aerosol Science and Technology* 38, 247–292.

Misra C., Singh M., Shen S., Sioutas C., Hall P.M. (2002) Development and evaluation of personal cascade impactor sampler (PCIS) *J. Aerosol Sci.* 33, 1027–1047.

Moreno-Grau S., Perez-Tornell A., Bayo J., Serrano-Aniorte J., Moreno-Grau J., Moreno-Clavel J. (2004) Determination of lead in aerosol samples collected on glass fiber filters by an improved atomic absorption spectrometry method. *Water, Air and Soil Pollution*. 96, 144–153.

Page S.J., Volkwein J.C., Baron P.A., Deye G.J. (2000) Particulate penetration of porous foam used as a low flow rate respirable dust size classifier. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 15(7), 561–568.

Particle – lung interactions (2000) [Red.] P. Gehr, J. Heyder. New York, Marcel Dekker Inc.

PN-Z-04008-7:2002 Ochrona czystości powietrza. Pobieranie próbek. Zasady pobierania próbek powietrza w środowisku pracy i interpretacji wyników.

Podgórski A., Szymański W.W., Gradon L. (2003) Performance of an omni-directional sampling system for ambient aerosol measurement with active sampling devices. *Proceed.EAC. Journal of Aerosol Science* 1195.

Prasserttachato T., Podgorski A., Luckner J.H., Furuuchi M., Gradoń L., Suvachittanont S., Szymanski W.W. (2006) Sampling and characterization of PM-fractions of ambient particulate matter in Bangkok utilizing a cascade virtual impactor. *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 6, 1, 67–81.

Predicala B.Z., Maghirang R.G. (2003). Field comparison of inhalable and total dust samplers for assessing airborne dust in swine confinement barns. *App. Occup. and Environ. Hyg.* 18(9), 694–701.

Rasmussen P.E., Dugandzic R., Hassan N., Murimboh J., Grégoire D.C. (2006) Challenges in quantifying airborne metal concentrations in residential environments. *Canadian Journal of Analytical Sciences and Spectroscopy* 51(1).

Singh M., Misra C., Sioutas C. (2003) Field evaluation of a personal cascade impactor sampler. *Atmos. Environ.* 37(34), 4781–4793.

Sioutas C. (2004) Development of new generation personal monitors for fine particulate matter (PM) and its metal content. NUATRC Research Report 2, [<http://www.sph.uth.tmc.edu/mleland/test/publications.htm>].

SKC, Update of EPA method IP-10A. (2004) [SKC, skcinc.com].

Teikari M., Linnainmaa M., Laitinen J., Kalliokoski P., Vincent J., Tiitta P., Raunemaa T. (2003) Laboratory and field testing of particle size-selective sampling methods for mineral dusts. *AIHA J.* 64(3), 312–318.

Tippayawong N., Pengchai P., Lee A. (2006) Characterization of ambient aerosols in Northern Thailand and their probable sources. *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 3 (4), 359–369.

Trakumas S., Hall T.A. (2004) Personal Respirable Sampler Containing Four Impactors Arranged in Parallel. Abstracts of 23rd Annual AAAR Conference. Atlanta, GA 78.

Verma D.K. (2007) Relationships between inhalable, thoracic, and respirable aerosols of metalworking fluids. *J. Occup. Environ. Hyg.* 4(4), 266–271.

Vincent J.H., Ramachandran G., Kerr S.M. (2001) Particle size and chemical species 'fingerprinting' of aerosols in primary nickel production industry workplaces. *J. Environ. Monit.* 3(6), 565–574.

DOROTA KONDEJ, EWA GAWĘDA

Metal concentrations in dust fractions emitted at industrial workplaces

Abstract

This paper presents issues related to measuring metal concentrations in dust fractions emitted at industrial workplaces. It discusses a wide range of samplers for downloading fractions of various particulate size ranges. The article reviews sample preparation methods including sampling with various filters and determination methods and presents results of metal contents in dust fractions emitted in selected processes of machining of metal materials.