

Anna Krasieńska
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Doskonalenie metod oznaczania zawartości substancji nieorganicznych w powietrzu, na przykładzie par rtęci

Wstęp

Największą grupę czynników szkodliwych w powietrzu na stanowiskach pracy oraz w środowisku naturalnym stanowią substancje i preparaty chemiczne. Występują one najczęściej w postaci gazów, par, dymów, aerozoli i pyłów, które wchłaniają się do organizmu człowieka głównie przez układ oddechowy, a także przez skórę i błony śluzowe oraz – w mniejszym stopniu – drogą pokarmową. Mogą one działać na organizm w sposób zróżnicowany (tokycznie, drażniąco, uczulająco, rakotwórczo, mutagennie oraz upośledzać funkcje rozrodcze) i powodować różne skutki zdrowotne.

Źródłem zanieczyszczeń środowiska są procesy technologiczne wykorzystujące substancje chemiczne, z wyjątkiem procesów prowadzonych w warunkach pełnej automatyzacji i hermetyzacji. Wielkość emisji zanieczyszczeń zależy od warunków technologicznych procesu oraz stosowanych środków technicznych, ograniczających ją.

W celu ochrony człowieka w procesie pracy, zgodnie z wymaganiami prawa [1, 2, 9] pracodawcy są zobowiązani do ustalenia, jakie czynniki chemiczne stwarzające zagrożenia dla pracowników występują w środowisku pracy oraz do dokonywania i dokumentowania oceny ryzyka zawodowego stwarzanego przez te czynniki. Na podstawie wyników tej oceny pracodawca podejmuje odpowiednie działania – zapobiegawcze, korygujące lub naprawcze – aby zapewnić pracownikom nieszkodliwe, a jeżeli jest to niemożliwe, przynajmniej jak najmniej szkodliwe dla zdrowia warunki pracy.

Metodą powszechnie stosowaną do oceny narażenia zawodowego na czynniki chemiczne jest:

- badanie stężenia szkodliwych substancji chemicznych w powietrzu na stanowiskach pracy,
- obliczenie w oparciu o uzyskane wyniki pomiarów odpowiednich wskaźników narażenia,
- porównanie otrzymanych wskaźników z normatywnymi higienicznymi.

Najwyższe dopuszczalne stężenia substancji chemicznych w środowisku pracy podaje Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2002 nr 217, poz. 1833, zał. 1 wraz z późniejszymi zmianami; Dz.U. 2005 nr 212, poz. 1769; Dz.U. 2007 nr 161, poz. 1142; Dz.U. 2009 nr 105, poz. 873; Dz.U. 2010 nr 141, poz. 950).

Do chwili obecnej ustalono wartości NDS, NDSCh i NDSP dla 509 substancji – ich lista nie jest zamknięta i co roku się wydłuża, jednak w porównaniu do ogólnej liczby substancji chemicznych stosowanych w państwach UE (około 30 000) jest ona niewielka.

Należy podkreślić, że przedstawiony sposób postępowania może być stosowany do oceny narażenia zawodowego na czynniki chemiczne tylko dla tych substancji, dla których:

- ustalono najwyższe dopuszczalne stężenia,
- opracowano selektywne, o odpowiedniej czułości i precyzji, metody pomiaru ich stężeń w środowisku pracy.

Procedury analityczne stosowane do ilościowego oznaczania substancji chemicznych w powietrzu powinny zapewniać ich ilościowe wyodrębnienie z powietrza oraz

pomiar ich stężenia na poziomie 0,25 NDS, a najlepiej na poziomie 0,1 NDS.

Celem niniejszego artykułu była ocena możliwości zastosowania automatycznego analizatora rtęci AMA 254 w badaniach stężenia par rtęci w powietrzu na stanowiskach pracy i w środowisku naturalnym.

Rtęć, chociaż w zwykłych warunkach występuje w stanie ciekłym, to charakteryzuje się wysoką, silnie zależną od temperatury prężnością par i stanowi zanieczyszczenie wszystkich elementów środowiska: gleb, wód i powietrza. Od kilku lat trwa światowa kampania na rzecz eliminacji emisji rtęci do powietrza oraz ograniczenia ilości rtęci, która jest stosowana w różnych dziedzinach gospodarki,

jednak w najbliższej przyszłości jej całkowite wyeliminowanie nie jest możliwe (procesy spalania węgla, produkcja gazu ziemnego).

Rtęć (szczególnie jej pary) jest silnie toksyczna dla ludzi (atakuje mózg, serce, nerki, system immunologiczny), ulega bioakumulacji, nawet w małych ilościach może powodować poważne zaburzenia neurorozwojowe oraz stanowi duże zagrożenie dla kobiet w wieku rozrodczym i dla dzieci (także w okresie płodowym), gdyż łatwo przenika przez bariery organizmu.

Najwyższe dopuszczalne stężenie w środowisku pracy (NDS) dla rtęci, jej par i jej związków nieorganicznych, w przeliczeniu na Hg wynosi 0,02 mg/m³.

Proponowana metodyka

Do badania zawartości par rtęci w powietrzu na stanowiskach pracy i w środowisku naturalnym rozważano zastosowanie automatycznego analizatora rtęci AMA 254, który jest dedykowanym jednowiązkowym spektrofotometrem absorpcji atomowej wykorzystującym technikę amalgamacji. Pobór i przygotowanie próby do badań można wykonać zgodnie z zaleceniami aktualnej normy PN-Z-04332:2006 *Ochrona czystości powietrza. Oznaczenie par rtęci na stanowiskach pracy metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej techniką zimnych par*, a do samego oznaczenia stężenia rtęci w przygotowanym roztworze próby wykorzystać opracowaną wcześniej i akredytowaną (w 2009 roku) własną procedurę badawczą *Oznaczenie rtęci w próbkach stałych i ciekłych z wykorzystaniem analizatora rtęci AMA 254*, która jest zwalidowana dla próbek ciekłych w zakresie stężeń rtęci od 0,0002 mg/l do 4,0 mg/l (krzywa wzorcowa w zakresie 0,05÷40 ng Hg). W ramach walidacji metody określono granicę wykrywal-

ności, granicę oznaczalności i czułość metody, sprawdzono powtarzalność i odtwarzalność (międzylaboratoryjne badania porównawcze) oraz spójność pomiarową (badania certyfikowanych materiałów odniesienia, próbek kontrolnych), sporządzono budżet niepewności uwzględniając wszystkie czynniki wpływające na wyniki badań, a także określono rozszerzoną standardową niepewność metody dla różnych stężeń Hg. Poniżej przytoczono wartości niektórych parametrów:

- granica wykrywalności – 0,014 ng Hg,
- granica oznaczalności – 0,05 ng Hg,
- czułość metody – 0,28 µg/l,
- względna rozszerzona niepewność standardowa metody dla poziomu ufności 95% dla prób stałych i ciekłych:
 - 23% dla zawartości rtęci odczytywanej z krzywej wzorcowej do 1 ng (włącznie),
 - 12% dla zawartości rtęci odczytywanej z krzywej wzorcowej powyżej 1 ng.

Opis metody badań

Przy pobieraniu próby do badań (PN-Z-04332:2006) wykorzystuje się adsorpcję par rtęci na hopkalicie. Badane powietrze o objętości do 40 l przepuszcza się przez rurkę pochłaniającą, wypełnioną hopkalitem, ze stałym strumieniem objętości nie większym niż 1 l/min (zaleca się stosowanie natężenia przepływu 0,2 l/min). Rurka pochłaniająca zawiera 200 mg hopkalitu o uziarnieniu od 0,5 mm do 1,0 mm, o zawartości rtęci nie większej niż 0,2 µg/g. Po przepuszczeniu określonej objętości powietrza, zabezpieczoną zatyczkami rurkę można przechowywać w chłodziarce przez 30 dni.

Zaadsorbowaną na hopkalicie rtęć przeprowadza się do roztworu poprzez dwukrotne wmywanie małymi porcjami

(5 ml) kwasu azotowego o stężeniu 6 mol/l i jednokrotne wmywanie wodą. Roztwór z wmywania hopkalitu zbiera się w kolbie pomiarowej o objętości 25 ml, a po zakończeniu operacji wmywania objętość roztworu w kolbie uzupełnia się wodą do kreski. Tak przygotowane, szczelnie zamknięte próby można przechowywać w chłodziarce przez 3 dni.

Zawartość rtęci w otrzymanym roztworze oznacza się na analizatorze AMA 254. Badanie przebiega w następujący sposób: odmierzona próba, umieszczona na łożeczku (będącej elementem układu podawania), za pośrednictwem komputera wprowadzana jest do komory spalania, w której najpierw jest suszona, a następnie termicznie rozkładana.

Wraz z przepływającym przez aparat tlenem, produkty rozkładu próby przechodzą do części wylotowej komory spalania, wypełnionej katalizatorem. Tu następuje zakończenie procesu utlenienia i wyłapanie halogenków oraz tlenków azotu i siarki. Dalej produkty spalania próby przenoszone są do amalgamatora (zawierającego złoto), który selektywnie wyłapuje rtęć, a reszta produktów spalania jest przenoszona z tlenem do wylotu aparatu. Rtęć uwolniona przez podgrzanie amalgamatora przechodzi do bloku kuwet pomiarowych, gdzie jej ilość mierzona jest dwukrotnie. Jako źródło światła używana jest niskociśnieniowa lampa rtęciowa, a umieszczony przed detektorem filtr interferencyjny pozwala na wyodrębnienie linii widmowej 253,65 nm, charakterystycznej dla rtęci. Wszystkie zmierzone dane są przez moduł mikroprocesora transmitowane do komputera PC, gdzie mogą być przetwarzane zgodnie z potrzebami użytkownika. Analizator posiada 2 zakresy pomiarowe: od 0,5 ng do 40 ng (I zakres) i od 40 ng do 600 ng (II zakres). Zakres pomiarowy analizatora wybierany jest automatycznie, w zależności od stężenia rtęci w badanej próbce. Akredytowana procedura obejmuje I zakres pomiarowy analizatora – wystarczający dla proponowanych badań.

Najmniejsza ilość rtęci w powietrzu, jaką można oznaczyć z wykorzystaniem analizatora rtęci AMA 254, przy zachowaniu warunków poboru i przygotowania próby do badań podanych w normie PN-Z-04332:2006, wynosi $0,0003 \text{ mg/m}^3$ (NDS dla rtęci, jej par i jej związków nieorganicznych w przeliczeniu na Hg wynosi $0,02 \text{ mg/m}^3$).

Roztwory wzorcowe sporządza się z gotowego wzorca rtęci o stężeniu 1 g/l (np. firmy Merck), poprzez odpowiednie rozcieńczenie i utrwalenie. Krzywa wzorcowa – z uwagi na kolejne operacje, którym poddawana jest próbka w analizatorze (suszenie, rozkład, usunięcie ubocznych produktów rozkładu oraz wychwycenie rtęci przez amalgamator) – jest uniwersalna i może być stosowana do wszystkich rodzajów prób, jeżeli rozkład jest przeprowadzony całkowicie. W tym celu dla każdego rodzaju prób muszą być odpowiednio dobrane czasy suszenia, mineralizacji (rozkładu) i oczekiwania. Krzywa wzorcowa jest stabilna przez długi okres i nie ma potrzeby jej częstego wykonywania, natomiast wzorcowanie należy sprawdzać w dniu wykonywania badań, na wybranym roztworze wzorcowym. Nową krzywą wzorcową wykonuje się po wymianie ważnych elementów aparatu (np.: lampy rtęciowej, bloku kuwet pomiarowych, detektora) oraz jeżeli wyniki sprawdzenia wzorcowania nie są zadowalające i nie można znaleźć innych przyczyn takiej sytuacji (np.: używany wzorec uległ rozkładowi).

W oznaczeniach małych zawartości rtęci ważny jest pomiar ślepej próby, który należy wykonać zawsze gdy zawartość rtęci w badanych próbach jest mniejsza od 1 ng; gdy zawartość rtęci mieści się w zakresie 1÷5 ng pomiar ten jest zalecany, natomiast przy większych zawartościach rtęci można z niego zrezygnować. Wartość uzyskana dla ślepej próby jest automatycznie odejmowana od wyniku otrzymanego dla badanej próby.

Wykonane badania i ich wyniki

Do badań pobrano trzy próby powietrza na stanowisku pracy; przez rurki zawierające hopkalit przepuszczono 36 l, 27 l i 18 l powietrza, ze stałym strumieniem objętości wynoszącym 0,3 l/min (próby nr 1, 2, 3). Następnie hopkalit z rurek przeniesiono ilościowo do kolbek stożkowych i przeprowadzono wymywanie rtęci. Oznaczanie zawartości rtęci w otrzymanych roztworach rozpoczęto od ustalenia warunków analizy, tj.: doboru czasów suszenia, mineralizacji i oczekiwania. Czas suszenia oblicza się na podstawie zawartości wody w próbce i jej objętości. W obliczeniach przyjęto objętość 500 μl . Ponieważ badane roztwory są roztworami kwaśnymi i mogą skracać czas używania niklowej łożeczki dozującej, zatem próbę na łożeczce rozcieńczano wodą (100 μl próby i 400 μl wody). Optymalny czas suszenia wynosi

350 s. Czas mineralizacji ustala się doświadczalnie, a czas oczekiwania jest od niego zależny. W tablicy 1 przedstawiono wyniki badań dla jednej z prób, pozwalające na wybór najkorzystniejszego czasu mineralizacji.

Optymalny czas mineralizacji wynosi 250 s (jego wydłużenie nie powoduje zwiększenia zawartości rtęci w próbce), a czas oczekiwania – 50 s.

Celem kolejnych badań był pomiar zawartości rtęci w samym hopkalicie, czyli określenie próby zerowej dla

Tablica 1. Dobór czasu mineralizacji

Czas suszenia	Czas mineralizacji	Czas oczekiwania	Zawartość rtęci w próbce
	[s]		[ng/100 μl]
350	150	45	0,264
350	200	45	0,254
350	250	50	0,304
350	350	60	0,302

nie powtarzalności wyników badań i oszacowanie niepewności. Rezultaty tych pomiarów i obliczeń zawarto w tabelicy 4. Obliczona niepewność mieści się w zakresie niepewności związanej z powtarzalnością wyników badań, uzyskaną w trakcie walidacji metody.

W tabelicy 5 zamieszczono wyniki badań zawartości rtęci w powietrzu na stanowisku pracy, obliczone według wzoru:

$$X = \frac{(m - m_0) \cdot 25}{v \cdot V \cdot 1000} \quad (1)$$

gdzie:

- X – zawartość rtęci w badanym powietrzu [mg/m^3],
- m – zawartość rtęci odczytana z krzywej wzorcowej (wartość średnia, jeżeli wykonano więcej niż jeden pomiar) [ng],
- m_0 – zawartość rtęci w próbie zerowej, oznaczona dla danej partii rurek pochłaniających [ng],
- v – rzeczywista objętość próby wprowadzonej do analizatora AMA 254 [ml],
- V – objętość powietrza przepuszczona przez rurkę pochłaniającą [l],
- 25 – objętość roztworu próby po operacji wymywania rtęci z hopkalitu [ml].

Wyniki wykonanych analiz wskazują, że stężenia par rtęci na objętym badaniami stanowisku pracy są niskie i nie przekraczają 0,1 (średnio stanowią około 0,075) wartości NDS.

Tabelica 5. Wyniki oznaczenia zawartości par rtęci w powietrzu na stanowisku pracy

Nr próby	V	v	m	m_0	Wynik obliczenia	Wynik oznaczenia
	[l]	[ml]	[ng]	[ng]	[mg/m^3]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1	36	0,1	0,3100	0,100	0,00146	(1,46 ± 0,35)
2	27	0,1	0,2615		0,00150	(1,50 ± 0,36)
3	18	0,1	0,2090		0,00151	(1,51 ± 0,36)

Przed wdrożeniem proponowanej metodyki badawczej do praktyki przeprowadzono międzylaboratoryjne badania porównawcze. Uczestniczyły w nich dwa laboratoria. Analizy wykonano metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej, dla dwóch prób pobranych i przygotowanych do badań przez Kierownika laboratorium wdrażającego metodykę (próby nr 4, 5). Laboratoria uczestniczące w badaniach przyjęły (zapis w protokole), że wyniki badań porównawczych uznaje się za zadowalające, jeśli przedziały, w których mieszczą się uzyskane wartości (po uwzględnieniu niepewności metody badawczej) mają przynajmniej część wspólną. Wyniki tych badań przedstawiono w tabelicy 6. Uzyskane wyniki spełniają przyjęte warunki.

Tabelica 6. Wyniki oznaczenia zawartości rtęci – badania międzylaboratoryjne

Nr próby	Laboratorium A ¹⁾	Laboratorium B ²⁾
	Wyniki badania	
	[mg/l]	
4	0,00713 ± 0,00171 (0,00542 ÷ 0,00884)	0,00645 ± 0,00129 (0,00516 ÷ 0,00774)
5	0,00913 ± 0,00219 (0,00694 ÷ 0,01132)	0,00804 ± 0,00161 (0,00643 ÷ 0,00965)

¹⁾ Laboratorium wdrażające metodykę badawczą

²⁾ Inne laboratorium

Oszacowanie niepewności wyników oznaczania par rtęci w powietrzu

Przy szacowaniu niepewności wyników pomiarów:

- uwzględniono wszystkie elementy mające istotny wpływ na wynik oznaczenia,
- posługiwano się względnymi niepewnościami standardowymi, których zaletą jest możliwość wyrażenia w procentach,
- korzystano ze sposobu określania niepewności standardowej zarówno typu A, jak i typu B – np. dla szacowania niepewności związanej z objętością szkła laboratoryjnego (kolby, pipety, biurety) nieposiadającego certyfikatu jakości, niepewność wyznaczano w laboratorium doświadczalnie (typ A), a dla szkła certyfikowanego korzystano z danych dostarczonych przez producenta (typ B),

- niepewność wyznaczono analogicznie jak dla prób stałych i ciekłych, tj.: dla zawartości odczytywanej z krzywej wzorcowej do 1 ng i powyżej 1 ng.

Jako niepewność metody badawczej przyjęto względną rozszerzoną niepewność standardową (U) wyznaczoną dla poziomu ufności 95% (współczynnik rozszerzenia $k = 2$).

Ze wzoru (1) wynika, że stężenie par rtęci w badanym powietrzu jest funkcją $X = f(m, m_0, V, v, 25)$. Wielkości takie jak m , m_0 , V i v zależą także od innych parametrów, a więc określająca je niepewność standardowa jest niepewnością złożoną ($w_c(\dots)$) – stąd względną złożoną niepewność standardową stężenia rtęci ($w_c(X)$) opisuje wzór:

$$w_c(X) = \sqrt{w_c^2(m) + w_c^2(m_0) + w_c^2(V) + w_c^2(v) + w_c^2(25)} \quad (2)$$

W celu jej oszacowania w pierwszej kolejności wyznaczono złożone niepewności standardowe poszczególnych wielkości. Poniżej przedstawiono ogólny schemat postępowania.

I. Określenie niepewności związanej z zawartością rtęci w badanej próbce (zawartość odczytana z krzywej wzorcowej i podawana automatycznie).

Na niepewność ($w_c(m)$) składają się niepewności standardowe związane z:

- jakością podstawowego roztworu wzorcowego rtęci, o stężeniu 1000 mg/l,
- sporządzeniem roztworu wzorcowego, roboczego, o stężeniu 100 mg/l, która uwzględnia:
 - niepewność standardową wyznaczoną dla pomiaru objętości kolby pomiarowej,
 - niepewność standardową wyznaczoną dla pomiaru objętości pipety stosowanej do odmierzenia podstawowego roztworu wzorcowego oraz pipety służącej do dodania kwasu azotowego,
- przygotowaniem skali wzorców i sporządzeniem krzywej wzorcowej, która obejmuje:
 - niepewność standardową określoną dla przygotowania roboczych roztworów wzorcowych o odpowiednich stężeniach,
 - niepewność standardową wyznaczoną dla przygotowania właściwego wzorca,
 - niepewność związaną z rozrzutem wyników otrzymanych dla wzorców – przyjmuje się, że wzorcowanie jest przeprowadzone prawidłowo, jeżeli odchylenie standardowe obliczone dla wyników wzorcowania uzyskanych dla danego wzorca nie przekracza 3%, za wyjątkiem punktu zerowego i najniższych stężeń (do 0,003 ppm), gdzie może osiągnąć wartości wyższe – nawet 10%,
- powtarzalnością wyników uzyskanych dla badanej próby.

Wyznaczona w laboratorium złożona niepewność standardowa dla m wynosi:

$w_c(m) = 10,0\%$ – dla wartości odczytywanych z krzywej wzorcowej do 1 ng włącznie,

$w_c(m) = 5,7\%$ – dla wartości odczytywanych z krzywej wzorcowej powyżej 1 ng.

II. Oszacowanie niepewności standardowej związanej z wartością m_0 .

Niepewność tę oszacowano w oparciu o wyniki wyznaczenia próby zerowej dla aktualnie posiadanej partii hopkalitu. Przyjęto względną niepewność standardową na poziomie $w_c(m_0) = 3,2\%$.

III. Wyznaczenie niepewności standardowej związanej z objętością powietrza przepuszczonego przez rurkę wypełnioną hopkalitem.

Niepewność ($w_c(V)$) zależy od wielkości:

- niepewności standardowej określonej dla dokładności pomiaru pompki uniwersalnej,
- niepewności standardowej związanej z rozrzutem wyników pomiaru strumienia objętości powietrza,
- niepewności związanej z dokładnością pomiaru czasu przepuszczania powietrza przez hopkalit.

Względna, złożona niepewność standardową związaną z objętością powietrza przepuszczonego przez rurkę z hopkalitem oszacowano w laboratorium na poziomie $w_c(V) = 5,6\%$.

IV. Obliczenie niepewności standardowej związanej z objętością roztworu analizowanej próby i objętością próby zerowej, które są wprowadzane do aparatu.

Niepewność ta wynosi $w_c(v) = 1,3\%$.

V. Oszacowanie niepewności standardowej związanej z objętością 25 ml roztworów badanej próby i próby zerowej. Niepewność ta jest na poziomie $w(25) = 0,3\%$.

Oszacowana w laboratorium całkowita, względna, złożona niepewność standardowa wyników oznaczania zawartości rtęci w powietrzu wynosi:

- dla zawartości rtęci odczytywanej z krzywej wzorcowej do 1 ng (włącznie) – 12,0%:

$$w_c(X) = \sqrt{10,0^2 + 3,2^2 + 5,6^2 + 1,3^2 + 0,3^2} = 12,0\%$$

- dla zawartości rtęci odczytywanej z krzywej wzorcowej powyżej 1 ng – 8,7%:

$$w_c(X) = \sqrt{5,7^2 + 3,2^2 + 5,6^2 + 1,3^2 + 0,3^2} = 8,7\%$$

Niepewność rozszerzoną dla poziomu ufności 95% (współczynnika rozszerzenia $k = 2$) przyjęto odpowiednio jako $U(X) = 24\%$ i $U(X) = 18\%$.

Należy zaznaczyć, że analogicznie można podawać niepewność rozszerzoną dla poszczególnych wielkości, które mają istotny wpływ na wynik końcowy stężenia par rtęci w powietrzu – np. rozszerzona niepewność standardowa oszacowana dla poboru próby powietrza do badania wynosi $U(V) = 11,2\%$.

Podsumowanie

Uzyskane wyniki badań wskazują, że oznaczenie stężenia par rtęci w powietrzu w środowisku pracy oraz w środowisku naturalnym można przeprowadzić dokonując:

- poboru próby i jej przygotowania do badań w sposób opisany w normie PN-Z-04332:2006 *Ochrona czystości powietrza. Oznaczanie par rtęci na stanowiskach pracy metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej techniką zimnych par*,
- pomiaru zawartości rtęci w przygotowanej próbce zgodnie z procedurą badawczą *Oznaczanie rtęci w próbkach*

stałych i ciekłych z wykorzystaniem analizatora rtęci AMA 254.

Proponowana metoda badawcza spełnia wymagania stawiane obecnie metodom analitycznym, gdyż:

- pozwala na oznaczenie stężenia par rtęci w powietrzu na poziomie 0,1 wartości NDS (a nawet poniżej),
- jest zautomatyzowana i prosta w wykonaniu,
- nie wymaga dodatkowych odczynników ani dużych nakładów pracy,
- czas analizy jest stosunkowo krótki.

Artykuł nadesłano do Redakcji 31.03.2011 r. Zatwierdzono do druku 29.06.2011 r.

Recenzent: dr inż. Andrzej Froński, prof. INiG

Literatura

- [1] Dyrektywa 2004/37/WE z dnia 29.04.2004 r. w sprawie ochrony pracowników przed zagrożeniem dotyczącym narażenia na działanie czynników rakotwórczych lub mutagenów podczas pracy.
- [2] Dyrektywa 98/24/WE z dnia 7.04.1998 r. w sprawie bezpieczeństwa pracowników oraz ochrony ich zdrowia przed ryzykiem związanym z czynnikami chemicznymi podczas pracy.
- [3] Fotowicz P.: *Obliczanie niepewności pomiaru metodą względną*. Pomiary Automatyka Robotyka nr 9, s. 5–7, 2004.
- [4] Gawęda E.: *Potrzeba zwiększenia oznaczalności metod pomiaru stężeń zanieczyszczeń powietrza na stanowiskach pracy*. Normalizacja nr 5, s. 14–19, 2006.
- [5] Guide to Expression of Uncertainty In Measurement, ISO 1995, Swizeland. Tłumaczenie: Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik (Główny Urząd Miar, Warszawa 1999).
- [6] Lewandowska M.: *Analiza niepewności pomiarowych*. 22.10.2010, http://labor.ps.pl/niepewnosci_pomiarowe.html
- [7] Madej K., Olech A., Kochana J.: *Niepewność pomiaru analitycznego*. Przykłady wyznaczania niepewności, 22.10.2010, http://www.chemia.uj.edu.pl/chemanal/dydaktyka/analitycznaI_pliki/niepew.pdf
- [8] PN-EN 482:2009 *Powietrze na stanowiskach pracy – Wymagania ogólne dotyczące charakterystyki procedur pomiarów czynników chemicznych*.
- [9] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 30.12.2004 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy związanej z występowaniem w miejscu pracy czynników chemicznych (Dz.U. nr 11 z 2005 r., poz. 86) wraz z późniejszymi zmianami (Dz.U. nr 203 z 2008 r., poz. 1275).
- [10] Skowroń J., Zapór L., Pośniak M., Szewczyska M., Lisowski A.: *Czynniki chemiczne w środowisku Pracy*. Bezpieczeństwo i ochrona człowieka w środowisku pracy. Centralny Instytut Ochrony Pracy, Państwowy Instytut Badawczy, 2008.



Mgr Anna KRASIŃSKA – starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Ochrony Środowiska Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Brała udział w wielu pracach badawczych na rzecz ochrony środowiska, posiada duże doświadczenie w badaniach i ocenie stanu środowiska na terenach działalności branży górnictwa nafty i gazu.