

Anna Krasieńska, Anna Król
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Zastosowanie czujnika pasywnego własnej konstrukcji do wyznaczania stężenia rtęci w powietrzu, emisji rtęci z elementów środowiska oraz zawartości rtęci w glebie

Wprowadzenie

Rozwijanie oraz doskonalenie metod analitycznych i badawczych pozwalających w możliwie prosty, i równocześnie ekonomiczny sposób monitorować ewentualne zanieczyszczenia środowiska rtęcią cieszy się obecnie dużym zainteresowaniem. Znane są metody oznaczania poziomu rtęci w środowisku z wykorzystaniem różnego typu analizatorów i czujników pasywnych, jednak brakuje wygodnych w użyciu i prostych w budowie czujników mających zastosowanie w badaniach stężenia rtęci w powietrzu i glebie na terenach przemysłowych oraz emisji rtęci z gleby do powietrza. Dostępne na rynku czujniki pasywne służące do poboru próbek rtęci przeznaczone są głównie do pomiarów w środowisku pracy [4, 5].

W 2007 roku w Zakładzie Ochrony Środowiska INiG zaprojektowano i skonstruowano czujnik pasywny działający na zasadzie dyfuzji [2] i sorpcji, w celu zgromadzenia analitu [3, 7]. Jego zaletą, podobnie jak innych czujników

pasywnych – oprócz prostej budowy i szybkiej, nieskomplikowanej obsługi – jest to, że:

- pobieranie próbek zachodzi samoczynnie (nie wymaga stosowania pompki, wentylatorów i innego sprzętu),
- czujniki można pozostawić bez nadzoru,
- czas poboru próbki może być dobrany dowolnie (od kilku minut, nawet do kilku tygodni).

Opisany czujnik, po przeprowadzeniu wzorcowania, może być używany w pomiarach stężenia rtęci w powietrzu, do wyznaczania wskaźnika emisji rtęci z gleby do powietrza atmosferycznego i oszacowania zawartości rtęci w glebie. Przeprowadzone w warunkach polowych badania testowe wykazały, że czujnik ten jest bardzo przydatnym i wygodnym narzędziem pomiarowym [6], i może znaleźć zastosowanie w badaniach stanu środowiska w górnictwie nafty i gazu, gdzie zdarzają się lokalne skażenia terenu rtęcią.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wyników wzorcowania zaprojektowanego czujnika.

Aparatura stosowana w badaniach

Badania laboratoryjne z wykorzystaniem rtęci – ze względu na jej dużą toksyczność – wymagają zastosowania szczególnych środków ostrożności, dlatego pomiary przeprowadzono w specjalnie zaprojektowanych układach zamkniętych. Układ pomiarowy składał się z pojemnika w kształcie walca, wykonanego z polietylenu (PE) i teflonu (PTFE – politetrafluoroetyleny) oraz czujnika pasyw-

nego. W pokrywie pojemnika umiejscowiono otwory: wejściowy – na czujnik, oraz drugi, mniejszy – umożliwiający wprowadzanie powietrza nasyconego parami rtęci. Wszystkie elementy układu wykonano tak, aby zapewnić jego szczelność.

Podstawowym elementem układu jest czujnik pasywny – skonstruowany w taki sposób, aby można go było

łatwo umieścić w glebie; składa się on z osłony i obudowy – wykonanych z teflonu oraz płytki ze złotej folii (właściwego czujnika), na której w wyniku procesu amalgamacji zatrzymywana jest rtęć.

Przygotowanie czujnika do pomiarów jest bardzo proste i polega na zamocowaniu złotej płytki, skręceniu elementów obudowy i umieszczeniu urządzenia w powietrzu lub w osłonie – włożonej w uprzednio wykonany otwór w badanej glebie. W badaniach laboratoryjnych czujnik pasywny wprowadzano do pojemnika układu pomiarowego, w którym znajdowało się skażone parami rtęci powietrze lub zanieczyszczona rtęcią gleba. Po upływie określonego czasu czujnik przenoszono w miejsce wolne od par rtęci, a złotą płytkę wyjmowano z obudowy i poddawano analizie na zawartość rtęci. Czas pomiaru dobierano tak, aby masa rtęci wychwycona na czujniku mieściła się w zakresie pomiarowym analizatora.

Do przeprowadzenia wzorcowania używano zestawu służącego do wytwarzania powietrza nasyconego parami

rtęci, zbudowanego w sposób podany w normie PN-EN ISO 6978-2 *Gaz ziemny. Oznaczanie rtęci. Część 2: Pobieranie próbek rtęci metodą amalgamowania włókna ze stopu złoto-platyna*.

Do pobierania i wprowadzania powietrza nasyconego parami rtęci używano gazoszczelnych strzykawek szklanych, z igłami ze stali nierdzewnej.

Stabilizację temperatury układu badawczego osiągnano dzięki zastosowaniu cieplarki laboratoryjnej.

Oznaczenie zawartości rtęci zaabsorbowanej na czujniku (płytkę ze złotej folii) przeprowadzono przy pomocy analizatora rtęci AMA 254. Aparat ten jest spektrofotometrem absorpcji atomowej przeznaczonym do bezpośredniego oznaczania rtęci w próbkach stałych i ciekłych. Analizator pracuje w dwóch zakresach pomiarowych: od 0,05 do 40 ng Hg (krzywa kalibracyjna 1) i od 40 do 600 ng Hg (krzywa kalibracyjna 2), które są przełączane automatycznie w zależności od stężenia rtęci w badanej próbce.

Przeprowadzenie wzorcowania

Wzorcowanie czujnika pasywnego powinno być przeprowadzone w dokładnie określonych warunkach. O wartościach wyników, tj. o masie rtęci zaabsorbowanej na czujniku, decydują: w przypadku powietrza – proces dyfuzji par rtęci i reakcja amalgamacji zachodząca na złotej płytce czujnika, a w przypadku gleby czy wody – dodatkowo proces parowania rtęci. W związku z tym wzorcowanie przeprowadzono osobno dla skażonego parami rtęci powietrza i zanieczyszczonej rtęcią gleby.

Dane literaturowe [4] oraz doświadczenia własne zdobyte przy określaniu wielkości emisji rtęci ze skażonej

gleby wskazują, że zależność pomiędzy masą rtęci zatrzymaną w określonych warunkach na czujniku, a czasem pomiaru nie jest liniowa. W związku z tym obydwa cykle badawcze (zarówno dla powietrza, jak i dla gleby) rozpoczynano od doboru czasu kontaktu skażonego rtęcią medium z czujnikiem.

Badania prowadzono w określonych temperaturach (20°C i 10°C), gdyż prężność par rtęci w powietrzu silnie zależy od temperatury, a ponadto znane są wyniki pomiarów świadczące o tym, że wraz ze wzrostem temperatury rośnie tempo absorpcji rtęci na czujniku [3, 4].

Wyniki wzorcowania czujnika pasywnego dla skażonego rtęcią powietrza

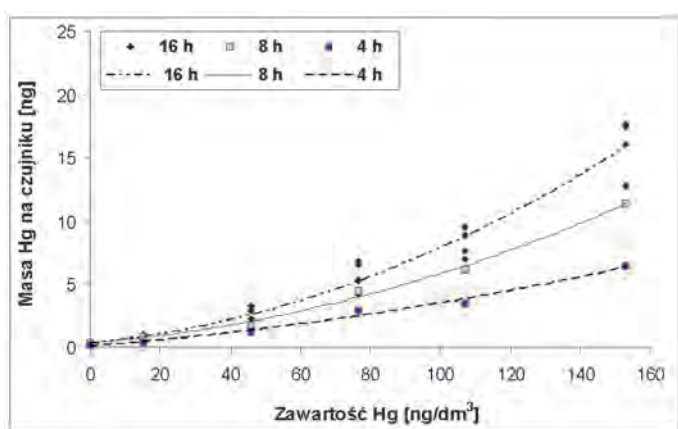
Wzorcowanie czujnika pasywnego przeprowadzono dla zawartości par rtęci w powietrzu w zakresie od 0 ng/dm³ (wartość przypisana nieskażonemu powietrzu, które w praktyce zawiera kilka nanogramów rtęci na metr sześcienny) do 153 ng/dm³ (0,153 mg/m³), tj. do stężenia około 6-krotnie większego od granicznej wartości dopuszczalnej, wynoszącej 0,025 mg/m³

Przed rozpoczęciem badań wszystkie układy pomiarowe kondycjonowano w cieplarni, w temperaturze 20°C, przez 12 godzin. Po tym czasie jeden układ pozostawiano jako próbę zerową, a do pięciu układów wprowadzano określoną ilość powietrza – nasyconego parami rtęci tak, aby stężenie rtęci wynosiło odpowiednio: 15,3 ng/dm³, 45,9 ng/dm³,

76,6 ng/dm³, 107,1 ng/dm³ i 153 ng/dm³. Zawartość układów pomiarowych po zadozowaniu powietrza nasyconego parami rtęci mieszano mechanicznie przez kilka minut, wykorzystując wióry teflonowe – umieszczone wcześniej w pojemniku układu pomiarowego. Układy pozostawiano w cieplarni w temperaturze 20°C na czas pomiaru, który wynosił: 4, 8 i 16 godzin. Po upływie tego czasu z układu usuwano czujnik rtęci – złotą płytkę i zamykano ją w szklanej fiolce, a następnie analizowano na zawartość rtęci. Układ rozkręcano i przedmuchiowano nieskażonym rtęcią powietrzem. Po skręceniu i kondycjonowaniu układ był ponownie gotowy do pomiarów. Wyniki pomiarów z tego etapu badań zamieszczono w tablicy 1 i na rysunku 1.

Tablica 1. Wyniki pomiarów masy rtęci zaabsorbowanej na czujniku, dla określonych zawartości rtęci w powietrzu – temperatura 20°C

Stężenie rtęci w powietrzu [ng/dm ³]	Masa rtęci zaabsorbowanej na czujniku [ng]					
	Czas pomiaru					
	4 h	8 h	16 h			
0	0,156	0,373	–	–	0,218	–
15,3	0,376	0,834	1,023	0,597	0,943	0,733
45,9	1,219	1,777	1,573	2,248	3,263	2,931
76,5	2,910	4,485	4,213	5,294	6,768	6,563
107,1	3,463	6,136	6,985	7,626	9,497	8,875
153	6,392	11,402	12,752	16,052	17,657	17,480



Rys. 1. Wykres zależności masy rtęci zaabsorbowanej na czujniku od jej zawartości w powietrzu – temperatura 20°C, czas pomiaru: 4, 8 i 16 h

Analiza wyników wykazała, że czas pomiaru ma znaczący wpływ na masę zaabsorbowanej na czujniku rtęci; najwyższe rezultaty uzyskano dla czasu pomiaru wynoszącego 16 godzin. Czas 4 godzin jest zdecydowanie za krótki, gdyż wyniki są wówczas około 2–2,5-krotnie niższe (niż dla 16 h). W przypadku 8-godzinnego pomiaru, wartości wyników badań dla małych stężeń rtęci w powietrzu są zbliżone do wyników uzyskanych w pomiarach 16-godzinnych, natomiast istotne różnice są widoczne dopiero dla średnich i większych zawartości rtęci. W związku z tym przyjęto, że optymalny czas pomiaru w badaniach zawartości rtęci w powietrzu z zastosowaniem czujnika pasywnego wynosi 16 godzin.

W celu określenia powtarzalności wyników, dla trzech wybranych stężeń rtęci w powietrzu przeprowadzono po kilka (7 do 10) pomiarów, w ustalonych warunkach (czas pomiaru 16 h i temperatura 20°C). Dla wyników odpowiadających każdemu stężeniu obliczono wartość średnią (\bar{X}), odchylenie standardowe (S), względne odchylenie standardowe (S_r) i niepewność pomiaru ($2S_r$). Rezultaty

obliczeń zamieszczono w tablicy 2.

Obliczona niepewność wyników pomiarów jest zróżnicowana i wynosi od około 21% do około 36%. Najwyższą niepewnością charakteryzują się wyniki badań otrzymane dla najniższego stężenia rtęci, a w przypadku wyższych stężeń – różnice w niepewności wyników pomiarów są niewielkie. W związku z tym

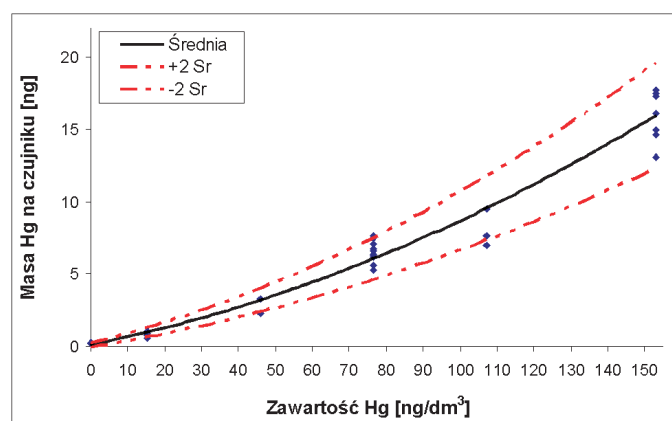
można przyjąć, że niepewność metody badawczej stosowanej do określenia zawartości rtęci w powietrzu z wykorzystaniem czujnika pasywnego wynosi:

- 36% – jeżeli masa zaabsorbowanej na czujniku rtęci jest mniejsza od 5 ng,
- 23% – w przypadku, gdy masa zaabsorbowanej na czujniku rtęci jest równa lub większa od 5 ng.

Na rysunku 2 przedstawiono zależność masy rtęci zaabsorbowanej na czujniku w temperaturze 20°C, od stężenia rtęci w powietrzu (dla zakresu stężeń od 0 do 153 ng/dm³)

Tablica 2. Rezultaty obliczeń niepewności pomiaru – badania w skażonym rtęcią powietrzu

Stężenie rtęci w powietrzu [ng/dm ³]	Wyniki obliczeń			
	wartość średnia [ng]	odchylenie standardowe	względne odchylenie standardowe [%]	niepewność pomiaru [%]
15,3	0,863	0,157	18,2	36,4
76,5	6,52	0,750	11,6	23,2
153	16,08	1,70	10,6	21,2



Rys. 2. Wykres zależności masy rtęci zaabsorbowanej na czujniku w temperaturze 20°C, od stężenia rtęci w powietrzu

– wraz z zaznaczonym przedziałem, w którym mieszczą się wyniki pomiarów (niepewność rozszerzona dla poziomu ufności 95% i współczynnika rozszerzenia $k = 2$).

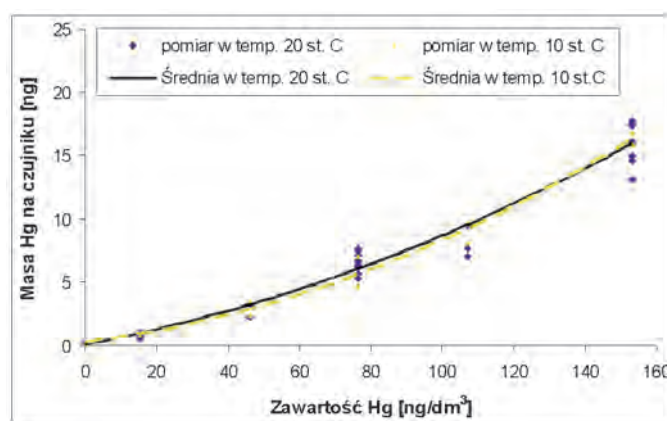
W celu sprawdzenia wpływu temperatury pomiaru na wielkość masy rtęci absorbowanej na czujniku, badania przeprowadzono w sposób analogiczny jak poprzednio (czas pomiaru 16 h); dla takich samych zawartości rtęci w powietrzu, ale w temperaturze 10°C. Wyniki badań podano w tablicy 3, a na rysunku 3 przedstawiono porównanie uzyskanych w temperaturze 10°C i 20°C zależności wielkości

Tablica 3. Wyniki pomiarów masy rtęci zaabsorbowanej na czujniku, dla określonych zawartości rtęci w powietrzu – temperatura 10°C

Stężenie rtęci w powietrzu [ng/dm ³]	Masa rtęci zaabsorbowanej na czujniku [ng]		
	wyniki pomiarów		wartość średnia
0	0,233	0,233	0,233
15,3	1,007	0,729	0,868
45,9	2,414	3,422	2,918
76,5	4,695	6,983	5,839
107,1	8,154	9,650	8,902
153	15,901	16,776	16,339

masy rtęci zaabsorbowanej na czujniku, od stężenia rtęci w powietrzu (dla zakresu stężeń od 0 do około 150 ng/dm³).

Krzywe pokazane na rysunku 3 są niemal identyczne – można więc przypuszczać, że przy tak długim czasie pomiaru (16 h) jego temperatura nie ma już znaczącego wpływu na wyniki badań. Potwierdzenie takiej hipotezy wymaga przeprowadzenia w przyszłości badań w innych temperaturach (mniejszych od 10°C i większych od 20°C) oraz dla większych stężeń rtęci w powietrzu (powyżej 150 ng/dm³).



Rys. 3. Wykres zależności masy rtęci zaabsorbowanej na czujniku, od stężenia rtęci w powietrzu – temperatura pomiaru: 10°C i 20°C

Wyniki wzorcowania czujnika pasywnego dla skażonej rtęcią gleby

Dopuszczalna zawartość rtęci w glebie na terenach przemysłowych w powierzchniowej warstwie gleby (0–2 m ppt) wynosi 30 mg/kg suchej masy (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi – Dz.U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359). W związku z tym do badań przygotowano próby gleby o stężeniu rtęci odpowiadającym granicznej wartości dopuszczalnej (30 mg/kg s.m.) i o stężeniu dziesięciokrotnie większym (300 mg/kg s.m.), często charakteryzującym skażone tereny przemysłowe.

W badaniach zastosowano glebę piaszczysto-gliniastą, o zawartości wody 15,5% (m/m). Dla każdego stężenia przygotowano po kilka prób gleby. W pojemniku układu pomiarowego umieszczano całą próbę skażonej gleby – w taki sposób, aby wprowadzenie czujnika do układu nie zaburzało przepływu powietrza. W celu ustalenia równowagi między zawartością rtęci w glebie, a stężeniem jej par w powietrzu glebowym i powietrzu zawartym w układzie pomiarowym, próby gleby kondycjonowano w cieplarni, w temperaturze około 35°C przez 48 godzin, po czym schładzano do temperatury pokojowej. Przed pomiarem zawartość pojemników

ponownie kondycjonowano w cieplarni, w temperaturze pomiaru, przez 24 godziny. W temperaturze pomiaru przechowywano również czujniki pasywne.

Badania wstępne przeprowadzono w temperaturze 20°C, a czas pomiaru wynosił 4 i 3 godziny. Wyniki badań zamieszczono w tablicy 4.

Tablica 4. Wyniki pomiarów masy rtęci zaabsorbowanej na czujniku, dla określonej zawartości rtęci w glebie – temperatura 20°C

Zawartość rtęci w glebie [mg/kg s.m.]	Masa rtęci zaabsorbowanej na czujniku [ng]	
	Czas pomiaru	
	4 h	3 h
0	0,341	0,385
30	13,269	9,589
	15,963	10,589
300	15,366	10,365
	148,57	67,948
	119,65	78,862

W oparciu o przegląd uzyskanych wyników ustalono, że optymalny czas pomiaru wynosi 3 godziny. W trakcie badań trwających 4 godziny otrzymano stosunkowo wysokie rezultaty dla gleby o większym skażeniu rtęcią (300 mg/kg s.m.) i obawiano się, że przy jeszcze wyższych zawartościach rtęci w glebie (powyżej 1000 mg/kg s.m.) wyniki mogą znaleźć się poza skalą analizatora rtęci; przy czasie 3 godzin takie niebezpieczeństwo istnieje dopiero dla stężeń 2500–3000 mg/kg s.m.

Krótszego czasu pomiaru nie rozważano, gdyż badania prowadzone w 2007 roku wskazywały, że czasy do 2 godzin są za krótkie; wypełnienie czujnika gazem glebowym zawierającym pary rtęci powoduje, że w startowym momencie pomiaru absorpcja jest większa niż w okresie późniejszym – jest to przyczyną zawyżenia wyników otrzymanych w krótkim czasie, natomiast nie ma już istotnego znaczenia gdy czas pomiaru jest dłuższy.

W celu sprawdzenia wpływu temperatury na końcowy wynik badań, pomiary wykonano analogicznie jak uprzednio (czas pomiaru 3 h), zmieniając tylko temperaturę – z 20°C na 10°C. Otrzymane rezultaty przedstawiono w tabelicy 5.

Wartości wyników uzyskanych w temperaturze 10°C są od 2 do 2,5 razy mniejsze niż w temperaturze 20°C. Wynika to z zależności prężności par rtęci od temperatury (w wyższej temperaturze parowanie rtęci z gleby jest większe, a większa emisja rtęci powoduje wyższe wskazania czujnika). Ze względu na to, wyniki pomiarów wielkości

Tablica 5. Wyniki pomiarów masy rtęci zaabsorbowanej na czujniku, dla określonych zawartości rtęci w glebie – temperatura 10°C

Zawartość rtęci w glebie [mg/kg s.m.]	Masa rtęci zaabsorbowanej na czujniku [ng]
0	0,158
30	4,293
	4,066
	3,573
300	29,056

emisji rtęci z gleby do powietrza atmosferycznego powinny być zawsze podawane łącznie z temperaturą pomiaru.

W kolejnych badaniach określono niepewności wyników pomiarów. Dla każdego stężenia rtęci w glebie w tych samych warunkach (czas pomiaru 3 h, temperatura pomiaru 20°C lub 10°C) wykonano pomiary kilkakrotnie (6 do 12). Analogicznie jak uprzednio obliczono wartość średnią (\bar{X}), odchylenie standardowe (S), względne odchylenie standardowe (S_r) i niepewność pomiaru ($2S_r$). Wyniki obliczeń zestawiono w tabelicy 6.

W chwili obecnej przyjęto, że niepewność metody badawczej wynosi:

- 26% – jeżeli masa zaabsorbowanej na czujniku rtęci jest mniejsza od 25 ng,
- 13% – w przypadku, gdy masa zaabsorbowanej na czujniku rtęci jest równa lub większa od 25 ng.

Tablica 6. Rezultaty obliczeń niepewności pomiaru – badania skażonej rtęcią gleby

Zawartość rtęci w glebie (temp. pomiaru) [mg/kg s.m.]	Wyniki obliczeń			
	wartość średnia [ng]	odchylenie standardowe	względne odchylenie standardowe [%]	niepewność pomiaru [%]
30 (20°C)	10,04	1,14	11,3	22,6
30 (10°C)	3,75	0,49	13,1	26,2
300 (20°C)	75,3	5,01	6,45	13,3
300 (10°C)	28,5	1,36	4,76	9,5

Podsumowanie i wnioski

Uzyskane w trakcie wzorcowania wyniki badań mogą zostać wykorzystane w praktyce: do określania stężenia rtęci w powietrzu, wielkości emisji rtęci z gleby i szacowania zawartości rtęci w glebie, a co za tym idzie – do podejmowania decyzji dotyczących likwidacji skażeń gleby. Zaletą zastosowania proponowanego czujnika pasywnego jest możliwość otrzymania wielu informacji wynikających

z interpretacji wyników pochodzących z jednego typu badania – bez konieczności przeprowadzania osobnych analiz na całkowitą zawartość rtęci w glebie i pomiarów wielkości jej emisji z gleby.

Obecnie, przy szacowaniu zawartości rtęci w powietrzu za pomocą czujnika pasywnego można korzystać z zależności przedstawionej na rysunku 2. Korelację

masy rtęci zaabsorbowanej na czujniku, od jej zawartości w powietrzu, w przedziale stężeń od 0 do około 150 ng/dm³ i w zakresie temperatury od 10°C do 20°C, opisuje wielomian:

$$y = 0,0003x^2 + 0,0522x + 0,0862$$

(dopasowanie krzywej $R^2 = 0,963$)

gdzie:

x – stężenie rtęci w powietrzu [ng/dm³],

y – masa zaabsorbowanej na czujniku rtęci [ng].

Korzystając z powyższego wzoru, w oparciu o zmierzoną masę rtęci (jeżeli nie przekracza ona wartości 16,1 ng) można obliczyć stężenie rtęci w powietrzu. Na przykład: dla oznaczonej masy rtęci zaabsorbowanej na czujniku, równej 1,58 ng, obliczone stężenie rtęci wynosi 25 ng/dm³; po uwzględnieniu niepewności metody badawczej (36%) można stwierdzić, że stężenie rtęci w powietrzu mieści się w zakresie 25 ± 9 ng/dm³. W przypadku, gdy masa rtęci zaabsorbowanej na czujniku jest większa od 16,1 ng to zawartość rtęci w powietrzu jest wyższa od 0,153 mg/m³ (153 ng/dm³) i co najmniej 6-krotnie przekracza stężenie dopuszczalne, wynoszące 0,025 mg/m³ (25 ng/dm³).

Dla gleby o granicznej dopuszczalnej zawartości rtęci 30 mg/kg s.m., w trakcie pomiaru trwającego 3 godziny, masa rtęci zaabsorbowana na czujniku osiąga średnią wartość: 10,04 ng w temperaturze 20°C i 3,75 ng w temperaturze 10°C, a miejscowa emisja rtęci z gleby o tym stężeniu jest na poziomie: 3,35 ng/h (temperatura 20°C) i 1,25 ng/h (temperatura 10°C). W oparciu o te rezultaty oraz o wyniki otrzymane dla gleby – o stężeniu rtęci dziesięciokrotnie większym od stężenia dopuszczalnego – można interpretować wyniki badań wykonanych z zastosowaniem czujnika pasywnego dla gleby o nieznannej zawartości rtęci. Jeżeli zmierzona masa rtęci zaabsorbowanej na czujniku w temperaturze 20°C lub 10°C wynosi maksymalnie 10,04 ng (w 20°C) lub 3,75 ng (w 10°C) to zawartość rtęci w glebie

nie przekracza stężenia dopuszczalnego określonego dla terenów przemysłowych i gleba spełnia standardy jakości gleby i ziemi. Większe masy zaabsorbowanej na czujniku rtęci oznaczają, że dopuszczalna zawartość rtęci w glebie jest przekroczona:

- kilkukrotnie – w przypadku, gdy masa rtęci mieści się w przedziale od 10,04 ng do 75,4 ng (pomiar w temperaturze 20°C) lub w przedziale od 3,75 ng do 28,5 ng (pomiar w temperaturze 10°C),
- kilkunasto- lub kilkudziesięciokrotnie – jeśli zmierzona na czujniku masa rtęci jest większa odpowiednio od: 75,4 ng (temperatura 20°C) i od 28,5 ng (temperatura 10°C).

Na podstawie otrzymanych wyników można również oszacować wielkości emisji rtęci z powierzchni gleby lub wody. Pomiar należy wtedy przeprowadzić w powietrzu nad powierzchnią, a otrzymany wynik (wskaźnikową wielkość) podać wraz z temperaturą (zakresem temperatur), w której przeprowadzono pomiar, ponieważ od temperatury zależy szybkość parowania rtęci, a tym samym – stężenie rtęci w powietrzu nad badaną powierzchnią.

Jako wskaźnikową miarę wielkości emisji potraktować można masę rtęci wyemitowaną z badanej powierzchni w jednostce czasu (ng/h), ale trzeba zdawać sobie sprawę, że wynik ten odpowiada tylko emisji z miejsca umieszczenia czujnika i jego najbliższej okolicy. Aby wyrazić wielkość emisji w odniesieniu do jednostki powierzchni (ng/h/m²) należałoby umieścić czujnik w komorze dyfuzyjnej.

Uzyskane w warunkach laboratoryjnych wyniki wzorcowania wymagają sprawdzenia w warunkach polowych. Weryfikację, bądź korektę rezultatów można przeprowadzić w trakcie wykonywania badań rutynowych; stosując czujniki w warunkach polowych i jednocześnie pobierając próby gleby do badań laboratoryjnych, prowadzonych w warunkach wzorcowania.

Artykuł nadesłano do Redakcji 12.01.2009 r. Przyjęto do druku 27.04.2010 r.

Recenzent: dr Katarzyna Steczko

Literatura

- [1] Aguilar-Martínez R., Gómez-Gómez M.M., Greenwood R., Mills G.A., Vrana B., Palacios-Corvillo M.A.: *Application of Chemcatcher passive sampler for monitoring levels of mercury in contaminated river water*. *Talanta* 77, 1483–1489, 2009.
- [2] Namieśnik J., Chrzanowski W., Szpinek P.: *Nowe horyzonty i wyzwania w analizie i monitoringu środowiskowym*. CEEAM, Gdańsk 2003.
- [3] Seethapathy S., Górecki T., Li X.: *Passive sampling in environmental analysis*. *Journal of Chromatography A* 1184, 234–253, 2008.
- [4] SKC Inc.: *Evaluation of a solid sorbent passive dosimeter for collecting mercury vapor*. Backup report No. ID-140 revised, 1989.
- [5] SKC Inc.: *Passive Sampler for Inorganic Mercury*. Operating Instructions.
- [6] Steczko K., Rachwałski J., Krasiński A.: *Skażenia gleby rtęcią w górnictwie nafty i gazu – ocena wielkości emisji rtęci do atmosfery i efektywności jej ograniczenia w wyniku stabilizacji siarką*. *Nafta-Gaz* Nr 10, s. 782–788, 2009.
- [7] The Interstate Technology & Regulatory Council Diffusion

Sampler Team: *Technology Overview of Passive Sampler Technologies*, www.itrcweb.org

[8] US Patent no. 6, 129, 843 *Passive integrative mercury sampler*.

[9] Vrana B., Mills G.A., Allan I.J., Dominiak E., Svensson K., Knutsson J., Morrison G., Greenwood R.: *Passive sampling techniques for monitoring pollutants in water*. Trends in Analytical Chemistry, Vol. 24, No. 10, 2005.



Mgr Anna KRASIŃSKA – starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Ochrony Środowiska INiG. 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.



Mgr Anna KRÓL – absolwentka Wydziału Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego. Obecnie pracuje w Zakładzie Ochrony Środowiska INiG na stanowisku starszego specjalisty badawczo-technicznego. Jest współautorką 10 publikacji w czasopiśmie o zasięgu krajowym i międzynarodowym.

ZAKŁAD OCHRONY ŚRODOWISKA

Zakres działania:

- analiza zagrożeń środowiska, związanych z działalnością przemysłu naftowego i gazowniczego;
- monitoring jakości środowiska (powietrza, wód i gleby) na terenach przemysłowych;
- badania ścieków i odpadów oraz ocena ich potencjalnej szkodliwości;
- inwentaryzacja emisji, w tym emisji gazów cieplarnianych;
- opracowanie i weryfikacja technologii środowiskowych w przemyśle nafty i gazu;
- ocena jakości paliw węglowodorowych: gazu ziemnego, koksowniczego, gazów wytwarzanych w przemyśle, biogazu, skroplonych gazów węglowodorowych;
- badanie składu morfologicznego odpadów komunalnych, pomiary emisji metanu, ocena produktywności gazowej składowisk i sporządzanie linii bazowych emisji.

Kierownik: mgr Jerzy Rachwański

Adres: ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków

Telefon: 12 653-22-43, 12 653-25-12 wew. 128

Faks: 12 653-16-65

E-mail: jerzy.rachwalski@inig.pl

