
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 17
(kwiecień–czerwiec)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

Rok VII

Warszawa–Opole 2014

AGNIESZKA SZEWCZYK*

DARIA GAŚSIOR**

EWELINA ŚLĘZAK***

Wykorzystanie chromatografii jonowej ze spektrometrią mas w plazmie indukcyjnie sprzężonej w analizie specjalizacyjnej wybranych pierwiastków

Słowa kluczowe: chromatografia jonowa (IC), spektrometria mas w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP-MS), specjacja chemiczna.

Chromatografia jonowa (IC) w połączeniu ze spektrometrią mas w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP-MS) daje ogromne możliwości w zakresie oznaczeń różnych form prawie wszystkich pierwiastków układu okresowego. Do określenia indywidualnej formy pierwiastka niezbędne są skuteczne metody separacji badanych analitów i zastosowanie odpowiednich detektorów. Skuteczna technika łączona powinna być: selektywna wobec oznaczanych analitów, czuła w szerokim zakresie i winna umożliwiać jak najlepszą identyfikację oznaczanych substancji. Dlatego jako metody separacyjne wykorzystuje się przede wszystkim metody chromatograficzne, a jako metody detekcji – metody spektroskopowe. Analityka specjacyjna odgrywa znaczącą i wyjątkową rolę zarówno w szerokim spektrum badań związków chemicznych, toksyczności pierwiastków, kontroli jakości, jak i czystości farmaceutyków oraz produktów żywnościowych. Znalazła także zastosowanie w wykonywaniu kompleksowych oznaczeń środowiskowych oraz chemii jądrowej. W pracy scharakteryzowane zostały przykłady zastosowań analityki specjacyjnej w konfiguracji chromatografia jonowa–spektrometria mas w plazmie indukcyjnie sprzężonej oraz zasady działania wybranych technik analitycznych.

* Mgr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, a.szewczyk@icimb.pl

** Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, d.gasior@icimb.pl

*** Mgr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, e.slezak@icimb.pl

1. Wstęp

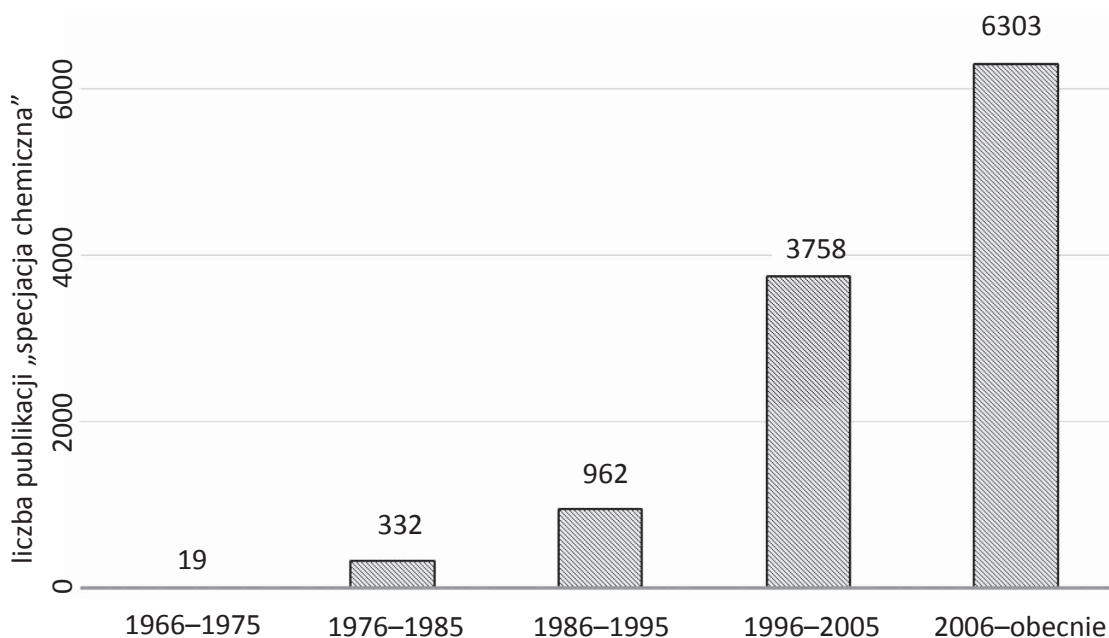
Rozwój przemysłu, modernizacja oraz rozwój technologiczny przyniosły wzrost zanieczyszczeń środowiska oraz większe narażenie organizmów żywych na toksyczne oraz kancerogenne działanie związków chemicznych. Stało się to powodem poszukiwania alternatywnych metod oznaczania niebezpiecznych dla człowieka i środowiska związków chemicznych. Dobrze znane i ciągle rozwijające się są klasyczne metody analityczne, które służą do oznaczania zarówno zanieczyszczeń organicznych, jak i nieorganicznych. Prawdziwym wyzwaniem stała się jednak tzn. analityka specjacyjna, która pozwala na oznaczanie różnych form specjacyjnych pierwiastka, czyli nieorganicznych i organicznych połączeń pierwiastków z uwzględnieniem izotopów i stanów utlenienia pierwiastków [1]. W chemii pojęcie specjacji służy do określenia występowania danego pierwiastka w badanej próbce w różnych formach, np. na różnych stopniach utlenienia, czy w połączeniu z różnymi ligandami. Formy te mogą różnić się własnościami fizyczno-chemicznymi i oddziaływaniem na organizmy żywe.

W ostatnich kilkudziesięciu latach analityka specjacyjna stała się jednym z bardziej istotnych zagadnień w chemii analitycznej. Daje ona nieograniczone możliwości badań związków chemicznych, oznaczania toksyczności i ekotoksyczności pierwiastków, kontroli jakości odczynników oraz farmaceutyków. W środowisku metale rzadko spotykamy w formie wolnej bądź jako pojedyncze jony, zazwyczaj są one związane w większe cząsteczki, a ilość i jakość form występowania danego metalu niesie za sobą ważne informacje dotyczące jego właściwości, toksyczności, czy też dostępności dla organizmów żywych.

Pierwszą grupę zastosowań analizy specjacyjnej, bez wątpienia, stanowi analiza środowiskowa, badania toksykologiczne oraz biochemiczne [2]. Ważnym aspektem kompleksowego badania zanieczyszczeń z punktu widzenia ich toksyczności jest rozróżnienie stopni utlenienia pierwiastków, gdyż zmiana wartościowości niesie za sobą zmiany właściwości, które wiąże się z toksycznością i szkodliwością wybranych pierwiastków. Wśród wielu związków toksycznych dla człowieka na szczególną uwagę zasługują metale ciężkie, takie jak: ołów, kadm, rtęć itp. Nawet minimalne stężenie substancji toksycznych w organizmie powoduje zaburzenia metaboliczne, zmniejszenie wydolności organizmu, osłabienie procesów immunologicznych, enzymatycznych, co w efekcie prowadzi do wielu chorób, a nawet może stać się przyczyną śmierci. Chrom (Cr) przy zmianie stopnia utlenienia z Cr^{+III} na Cr^{+VI} nabiera silnie toksycznych właściwości i jest rakotwórczy. Podobnie dzieje się w przypadku arsenu (As), który podczas utleniania do +6 staje się toksyczny i jego nieorganiczne związki mogą być przyczyną powstawania nowotworów układu oddechowego i skóry oraz zmian nowotworowych innych narządów. Stężenie takich pierwiastków, jak: glin, wanad, tytan, chrom, stront, ołów, kadm, z biegiem lat życia człowieka zwiększa

się w różnych tkankach i w przypadku zwiększonego narażenia może ujawnić swoje działanie toksyczne.

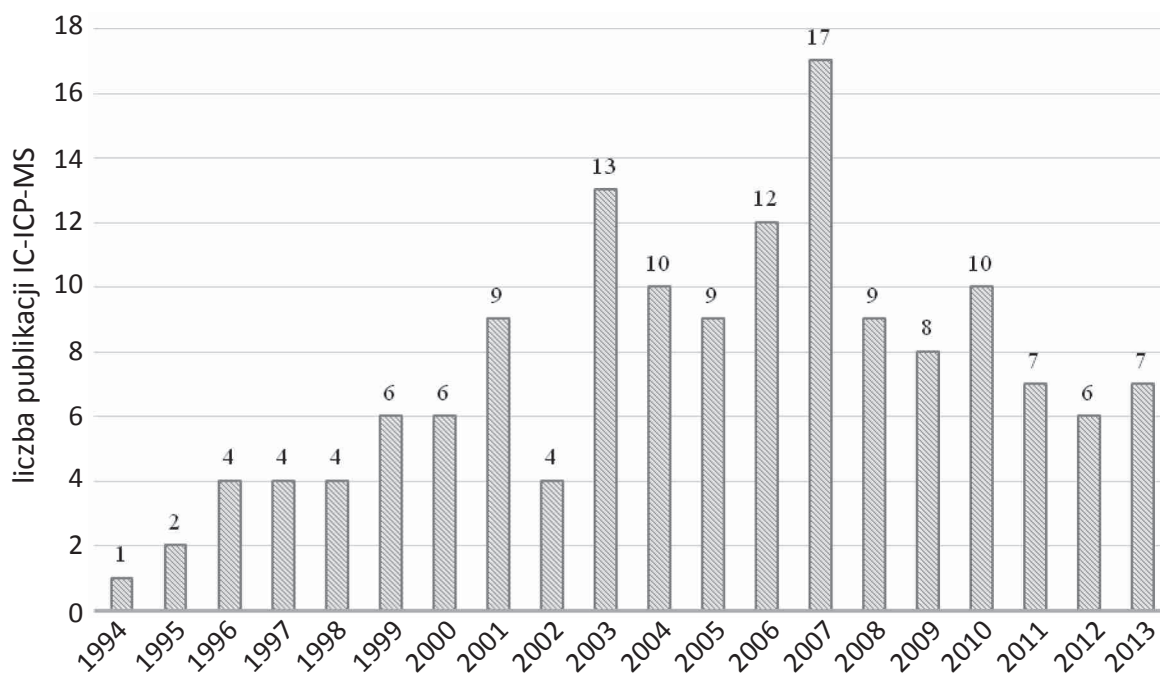
Zainteresowanie specjacją chemiczną sięga lat sześćdziesiątych ubiegłego stulecia. W roku 1966 pojawiła się pierwsza publikacja dotycząca specjacji przy wykorzystaniu chromatografii cienkowarstwowej [3]. W następnym dziesięcioleciu zaobserwowano powolny rozwój tej metody analitycznej, a w latach dziewięćdziesiątych następuje gwałtowny wzrost zainteresowania specjacją chemiczną, jej możliwościami i badaniami z wykorzystaniem technik łączonych. Na podstawie chemicznych baz danych Scopus [4], dokonano przeglądu literatury dotyczącej specjacji chemicznej oraz sporządzono statystyki (wykr. 1). Wykres ten ilustruje, że największy skok oraz zainteresowanie wykorzystaniem specjacji chemicznej do badań analitycznych przypada na przełom XX i XXI w. (lata 1996–2013).



Wykres 1. Wzrost liczby publikacji naukowych dotyczących specjacji chemicznej na podstawie danych zawartych w chemicznej bazie danych Scopus [4]

Analityka specjacyjna należy do stosunkowo nowych metod i stanowi duże wyzwanie dla naukowców. Jako metody separacyjne stosuje się głównie metody chromatograficzne [5], a jako metody detekcji – metody spektroskopowe [6]. Stosowanie technik łączonych wymaga doskonałej znajomości wykorzystywanych metodyk analitycznych oraz szczegółowej znajomości przyrządów. Na obecnym etapie badań analiza specjacyjna należy do systemów bardzo drogiej i wykorzystywana jest głównie w badaniach naukowych. W najczęstszej konfiguracji występuje przez połączenie chromatografii gazowej (GC) z różnymi

detektorami np.: chromatografia gazowa–spektrometria absorpcji atomowej (GC-AAS), chromatografia gazowa–spektrometria mas (GC-MS), chromatografia gazowa–spektrometria emisji atomowej (GC-AES), chromatografia gazowa–spektrometria mas w plazmie indukcyjnie sprzężonej–analizator czasu przelotu (GC-ICP-MS-TOF). Później na rynku pojawiły się również połączenia chromatografii ciekowej (HPLC) z detektorem mas (np. HPLC-ICP-MS). Obecnie najbardziej obiecującą oraz pożądaną metodą specjacyjną jest połączenie chromatografii jonowej (IC) z spektrometrią mas w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP-MS). Aktualnie (czerwiec 2014 r.) w bazie danych Scopus [4], figuruje 149 publikacji dotyczących *stricte* analizy specjacyjnej w konfiguracji IC-ICP-MS (wykr. 2), które zapoczątkowały badania wykonane w 1995 r. przez japońskich naukowców. Wykorzystali oni analizę specjacyjną (chromatografia jonowa–spektrometria mas w plazmie indukcyjnie sprzężonej) do jednoczesnego oznaczania chromu (III) i chromu (IV) [7].



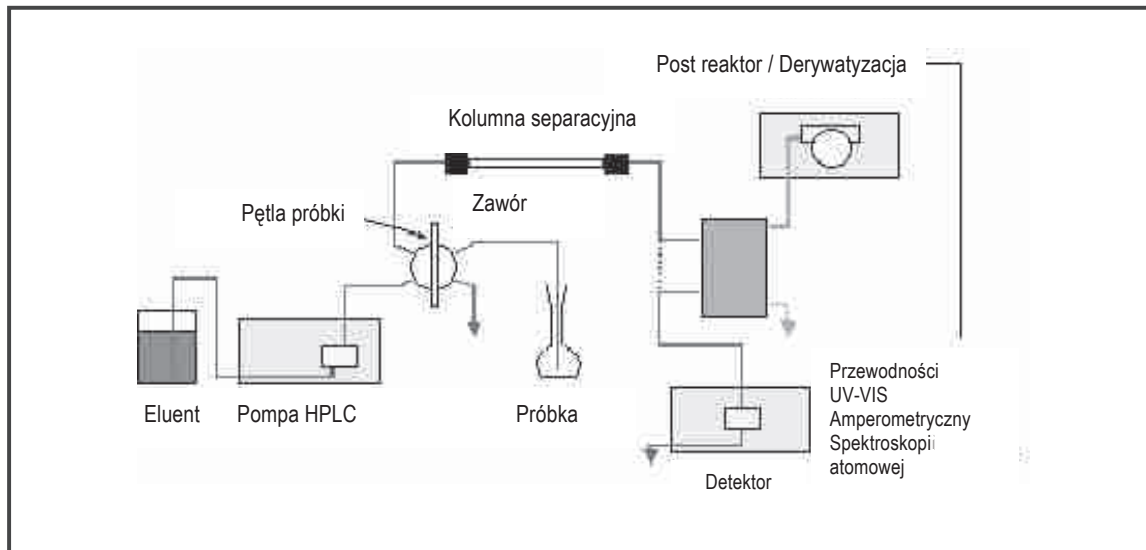
Wykres 2. Wzrost liczby publikacji naukowych dotyczących specjacji chemicznej w konfiguracji IC-ICP-MS na podstawie danych zawartych w chemicznej bazie danych Scopus [4]

W związku z tym, że największą aktywność biologiczną i toksyczność wobec organizmów żywych wykazują pierwiastki występujące w formie jonowej, najpopularniejszą metodą rozdzielania i oznaczania jonowych substancji nieorganicznych i organicznych jest chromatografia jonowa. W technice łączonej znalazła ona zastosowanie do oznaczania jonów metali czy metaloidów [8].

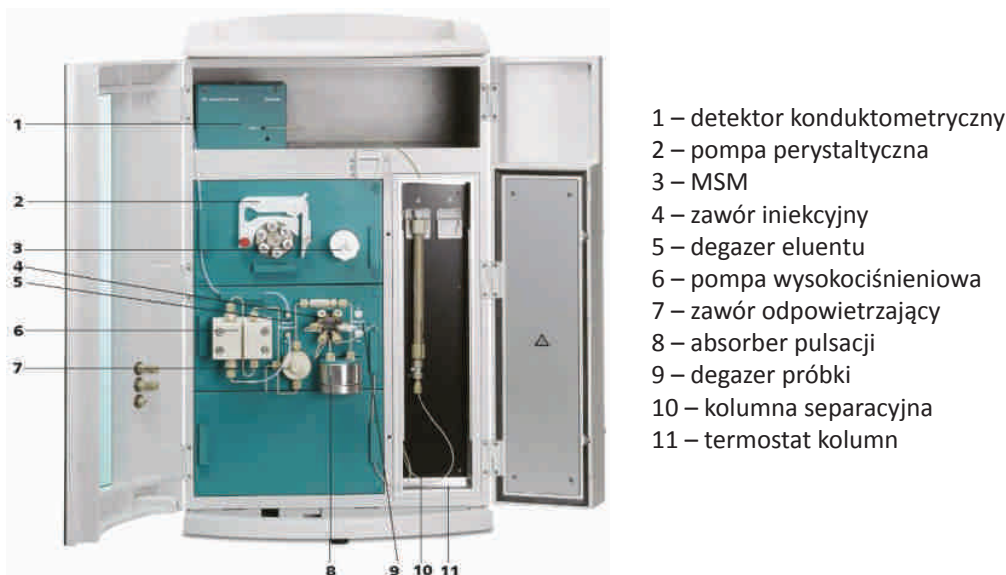
2. Konfiguracja IC-ICP-MS

Chromatografia jonowa (IC)

Chromatografia jonowa to odmiana chromatografii ciekowej. Obecnie należy ona do jednych z najważniejszych metod instrumentalnych oznaczania głównych nieorganicznych anionów oraz kationów w różnych matrycach [9]. Jest to metoda, która pozwala na jednoczesne oznaczanie kilku analitów w bardzo krótkim czasie, a zarazem jest bardzo precyzyjna, można osiągnąć bardzo niskie zakresy oznaczalności rzędu mg/dm^3 . Metoda umożliwia stosowania różnego rodzaju detekcji, jednak najpopularniejszym jest detektor konduktometryczny, który stanowi kluczową część aparatu i charakteryzuje się liniową zależnością przewodności właściwej od stężenia jonów, na bieżąco mierzy przewodnictwo przepływającej cieczy i rejestruje sygnały w formie cyfrowej [10]. Zasada działania chromatografu jonowego polega na przepływie eluentu przez kolumnę analityczną wypełnioną odpowiednim wymiennicem jonowym. Do strumienia eluentu wprowadzana jest próbka, której jony rozdzielane są na kolumnie analitycznej. Do detektora trafiają jony analizowanej próbki, których przewodnictwo jest stosunkowo wysokie w porównaniu do przewodnictwa eluentu (ryc. 1). Sygnał wysyłany z detektora jest rejestrowany w formie cyfrowej w postaci pików chromatograficznych. Opis przyrządu przedstawiony został na rycinie 2.



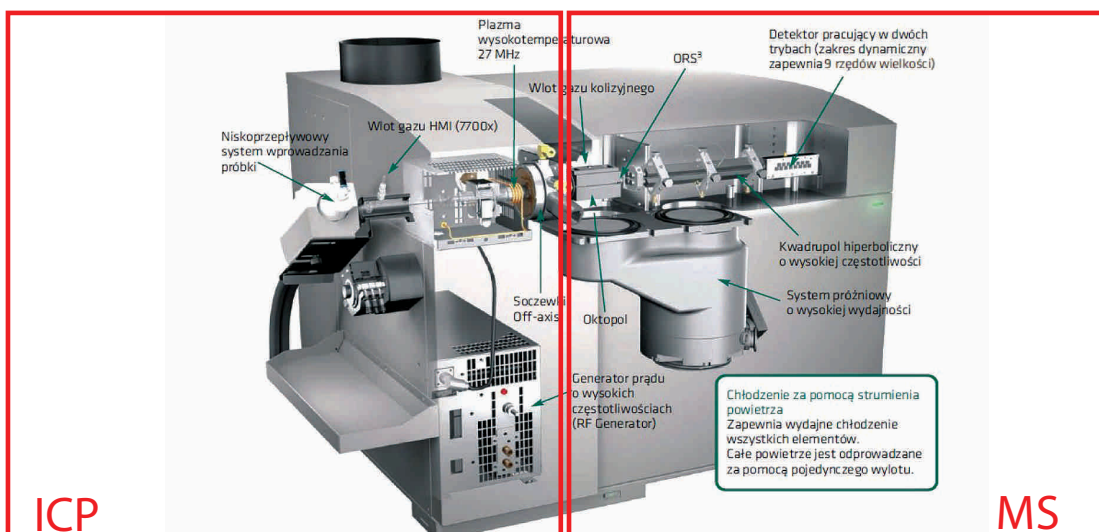
Ryc. 1. System HPLC lub IC z najważniejszymi składnikami [11]



Ryc. 2. Opis chromatografu jonowego Metrohm 850 Professional IC-Anion [12]

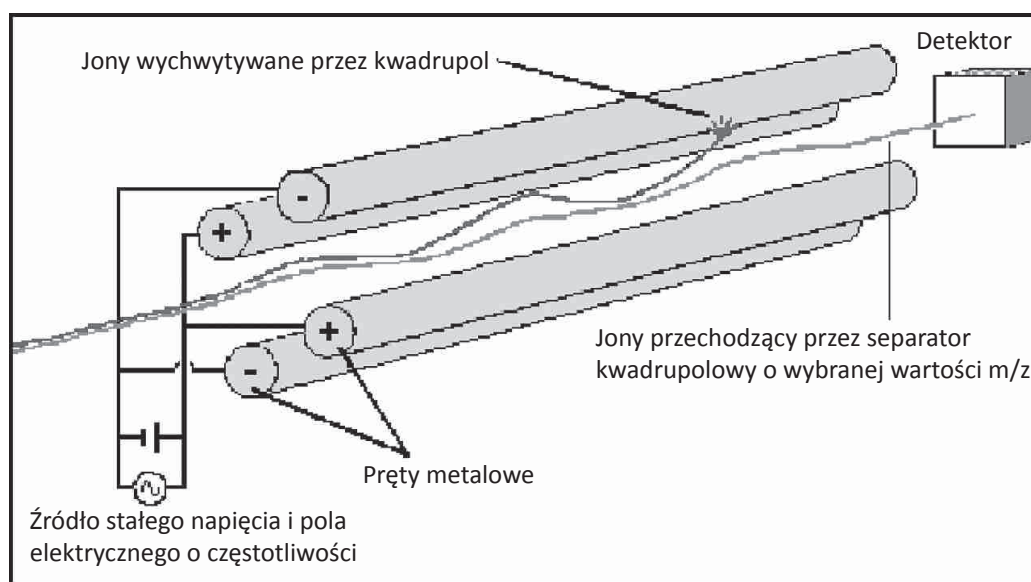
Spektrometr mas z plazmą indukcyjnie sprzężoną (ICP-MS)

Spektrometria mas jest to jedna z uniwersalnych metod analitycznych, umożliwiająca szybką analizę wielopierwiastkową, która opiera się na jonizacji cząsteczek lub atomów, a następnie na pomiarze stosunku masy do ładunku elektrycznego danego jonu [13]. Ta technika analityczna wykorzystuje plazmę jako źródło jonizacji i spektrometr mas jako analizator wygenerowanych w plazmie jonów. Analizowana próbka ulega jonizacji w plazmie. Polega ona na wprowadzeniu aerozolu roztworu próbki do plazmy (najczęściej argonowej), gdzie następuje odparowanie rozpuszczalnika i jonizacja cząsteczek. Powstałe jony są transportowane do spektrometru masowego, w którym następuje rozdzielanie jonów, a następnie formowane są one w wiązkę i kierowane do analizatora jonów, którego zadaniem jest rozdzielnie wiązki jonów według stosunku masy do ładunku m/e [14].



Ryc. 3. Spektrometr mas z plazmą indukcyjnie sprzężoną [15]

Na rycinie 3 przedstawiono schemat wraz z opisem przyrządu ICP-MS [15]. Spektrometr mas (ICP-MS Agilent 7700) wyposażony jest w analizator kwadrupolowy hiperboliczny o wysokiej częstotliwości, gdzie separację mas osiąga się przy użyciu pola elektrycznego (ryc. 4) [16]. Kwadrupolowy analizator mas składa się z czterech elektrod walcowych ustawionych w sposób bardzo precyzyjny, do których przyłożone jest napięcie o wysokiej częstotliwości. Między elektrody jest wprowadzany strumień jonów. Dobierając odpowiednio stałe napięcie i pole o częstości radiowej między elektrodami, można jedne jony wydzielić na elektrodach, a inne przepuścić przez układ. Po przejściu przez kwadrupol, jony dostają się do detektora, który jest tzn. powielaczem elektronów (EM – *electron multiplier*). Zawiera on wiele dynod, jon docierający do detektora uderza w dynody, powodując wybite z nich elektronów. Sygnał z detektora jest kierowany do przetwornika analogowo-cyfrowego, w którym jest przetwarzany w sygnał cyfrowy i bezpośrednio wprowadzany do komputera [17].

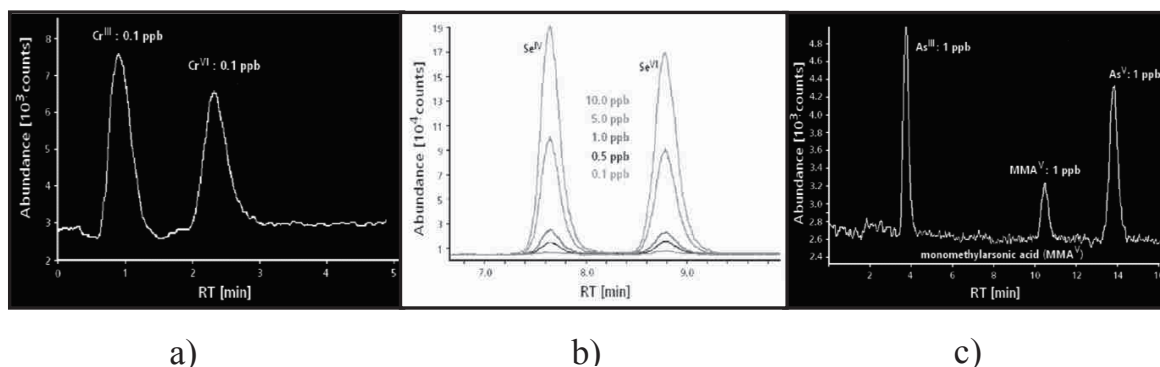


Ryc. 4. Schemat budowy analizatora kwadrupolowego [16]

Spektrometria mas z plazmą indukcyjnie sprzężoną (ICP-MS) pozwala na analizę wielopierwiastkową oznaczania składników głównych oraz śladowych w tej samej próbce. Granice wykrywalności, które można osiągnąć kształtują się w zakresie $0,01\text{--}10\ \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Pomiar charakteryzuje się wysoką czułością oraz powtarzalnością.

Najczęściej stosowaną techniką łączoną obecnie jest wysokosprawna chromatografia cieczowa połączona z spektrometrem mas z plazmą indukcyjnie sprzężoną (HPLC-ICP-MS), a dokładniej (IC-ICP-MS), czyli chromatografia jonowa–spektrometr mas z plazmą indukcyjnie sprzężoną. Dane literaturowe podają wiele przykładów zastosowania tej techniki w takiej konfiguracji do rozdzielania form specyjalnych najczęściej arsenu i chromu w różnych matrycach, zazwyczaj

w próbkach środowiskowych i biologicznych. Związki chromu (III) są niezbędnym składnikiem odżywczym dla ludzi, natomiast wszystkie formy sześciowartościowego chromu są traktowane jako bardzo toksyczne i rakotwórcze. Arsen znany jest jako rakotwórczy, zwłaszcza arsen trójwartościowy należy do związków wysoce toksycznych [18]. Zastosowanie ICP-MS pozwala oznaczać nieorganiczne i organiczne formy arsenu. Selen to pierwiastek śladowy niezbędny do prawidłowego funkcjonowania organizmów żywych, jednak w stężeniach powyżej 50 mg/dm³ bywa szkodliwy [19]. Na rycinie 5 przedstawiono przykładowe chromatogramy, zawierające rozdzielone piki badanych jonów metali: chromu, arsenu i selenu. Do badań wykorzystano technikę łączoną IC-ICP-MS.



Ryc. 5. Przykładowe wydruki chromatogramów z IC-ICP-MS obrazujące rozdzielone formy specyjalne poszczególnych pierwiastków na różnych stopniach utlenienia: a) chrom, b) arsen, c) selen [19]

Belgijscy naukowcy opracowali metodę oznaczania pięciu form specyjalnych arsenu [arsenin As (III), arsenian As (V), kwas monometyloarsenowy MMA (V), kwas dimetyloarsenowy DMA (V), arsenobetaina AsBet.] w różnych matriach wodnych. Wykorzystali technikę łączoną IC-ICP-MS, która wykazała się wysoką czułością granic wykrywalności dla każdej z form specyjalnych arsenu. Całkowite stężenie arsenu uzyskane przez ICP-MS było zgodne z sumą stężeń arsenu uzyskanych w analizie IC-ICP-MS, co potwierdza poprawność opracowanej metodyki [20].

3. Zasada działania metody

W technikach łączonych stosuje się metody chromatograficzne (np. chromatografia jonowa) jako metody separacyjne, a jako metody detekcji – metody spektroskopowe (np. spektrometria mas w plazmie indukcyjnie sprzężonej). Korzystanie z systemu IC-MS umożliwia nie tylko uzyskanie informacji o jakości i składzie ilości próbki, ale również określa strukturę analitów oraz ich ciężarów molowych. Istnieje konieczność utrzymania bardzo niskiego ciśnienia w spektrometrze, a rozdzielone jony analitu opuszczają kolumnę chromatogra-

ficzną pod stosunkowo wysokim ciśnieniem. Detektor ICP-MS nie daje informacji na temat chemicznych form analitów, ale jest on znakomitym analizatorem elementarnym. Sprzężanie chromatografii jonowej z wielowymiarowym detektorem, takim jak spektrometr mas w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP-MS), znacząco zwiększa czułość, jednocześnie zmniejszając ryzyko zakłócenia matrycy do absolutnego minimum. Z wykorzystaniem techniki łączonej IC-ICP-MS można wykryć m.in. pierwiastki chromu, arsenu i selenu w różnych stanach wartościowości, które są potencjalnie niebezpieczne, oraz w postaci związków nieorganicznych i organicznych. Jony metali mogą być starannie i jednoznacznie identyfikowane w czasie jednego cyklu pomiarowego [18]. Technikę łączoną można uzyskać poprzez połączenie chromatografu jonowego (850 Professional IC Anion-MCS) wraz z spektrometrem mas w plazmie indukcyjnie sprzężonej (7500 ICP-MS Agilent Technologies) [21]. Najprostszym sposobem sprzężenia chromatografii cieczonej ze spektrometrem mas w plazmie indukcyjnie sprzężonej jest połączenie wylotu kolumny z rozpylaczem systemu wprowadzania próbki za pomocą systemu transferowego [22–23].

Połączenia IC-ICP-MS dokonali naukowcy z Niemiec oraz z Włoch, poprzez scalenie ICP-MS Perkin Elmer Elan 5000 z pompą HPLC Dionex 4500I. Taką konfigurację wykorzystali do oznaczenia radionuklidów w próbkach środowiskowych. Urządzenie ICP-MS zostało zmodyfikowane do pomiaru próbek radioaktywnych w komorze rękawicowej i połączone z pompą chromatografii wysokociśnieniowej, która znajdowała się poza komorą rękawicową, natomiast zawór dozujący, przedkolumna oraz kolumna analityczna zostały umieszczone wewnątrz komory rękawicowej. Ścieki z kolumny chromatograficznej zostały skierowane do nebulizera (rozpylacza) z przepływem krzyżowym. Pompa perystaltyczna była wykorzystana do przenoszenia odpadów do zbiornika wewnątrz komory rękawicowej [24].

4. Obszary zastosowań

Zastosowanie technik łączonych, a przede wszystkim IC-ICP-MS pozwoliło na osiągnięcie bardzo niskich granic wykrywalności, na znaczne zwiększenie czułości, precyzji i powtarzalności oznaczeń, jednak najważniejszym dokonaniem jest możliwość analizy śladowej jonów tych samych pierwiastków na różnych stopniach utlenienia, co pozwala określić ich toksyczność i zagrożenie dla środowiska. Zalety te powodują, że techniki łączone tworzą całkowicie nowe, ogromne możliwości w analizie ilościowej i jakościowej pierwiastków oraz znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach, takich jak analiza środowiskowa, ekotoksykologia, analiza żywności, kryminalistyka, radiochemia, medycyna i farmacja oraz w szeregu innych. Główne zastosowanie techniki łączonej IC-ICP-MS to analiza form specjacyjnych metali i metaloidów (chrom, selen, arsen, ołów itp.),

które przy zmianie wartościowości stają się toksyczne oraz kancerogenne dla człowieka i środowiska. Możliwości analizy specjacyjnej (IC-ICP-MS) wykorzystano do jednoczesnego oznaczenia arsenu i selenu w tkankach ryb po ich uprzedniej mineralizacji [25]. Metoda IC-ICP-MS znalazła także zastosowanie w analizie powietrza pod kątem zawartości chromu (IV) [26] oraz w badaniach zawartości kadmu w roślinach jadalnych [27]. Spektrum zastosowań analizy specjacyjnej pierwiastków, przy wykorzystaniu techniki łączonej IC-ICP-MS jest ogromne, można się nią posługiwać praktycznie w każdej dziedzinie badań. Jednak ograniczenia wynikające z wysokich kosztów przyrządów i ich eksploatacji oraz złożoności urządzenia na obecnym etapie pozwala na wykorzystanie analityki specjacyjnej głównie w badaniach naukowych [28–29]. Dlatego też stanowi ona wyzwanie dla naukowców analityków w celu lepszego poznania, ciągłego doskonalenia i opracowania nowych metody wykorzystujących odpowiednie techniki łączone.

Literatura

- [1] K o t A., N a m i e ś n i k J., *The role of speciation in analytical chemistry*, „Trends in Analytical Chemistry” 2000, Vol. 19, s. 2–3.
- [2] J a b ł o Ń s k a M., K o s t e c k i M., S z o p a S., Ł y k o A., M i c h a l s k i R., *Specjacja nieorganicznych form arsenu i chromu w wybranych zbiornikach zaporowych Górnego Śląska*, „Ochrona Środowiska” 2012, Vol. 34, nr 3, s. 25–32.
- [3] N o v o t n ý L., T o m a n J., S t a r ý F., M a r q u e z A.D., H e r o u t V., Š o r m F., *Contribution to the chemotaxonomy of some European Petasites species*, „Phytochemistry” 1966, Vol. 5, Issue 6, s. 1281–1287.
- [4] „Scopus Content Overview”. *Scopus Info*. Elsevier. Retrieved (4.09.2013).
- [5] E l l i s L.A., R o b e r t s D.J., *Chromatographic and Hyphenated Methods for Elemental Speciation Analysis in Environmental Media*, „Journal Chromatography A” 1997, Vol. 774, s. 3–19.
- [6] A l i I., A b o u l - E n e i n H.Y., *Instrumental Methods in Metal Ion Speciation*, Taylor & Francis Group, b.m.w. 2006.
- [7] I n o u e Y., S a k a i T., K u m a g a i H., *Simultaneous determination of chromium (III) and chromium (VI) by Ion chromatography with inductively coupled plasma mass spectrometry*, „Journal of Chromatography A” 1995, Vol. 706, s. 127–136.
- [8] M i c h a l s k i R., *Chromatografia jonowa. Podstawy i zastosowania*, SWSZ, Katowice 2011.
- [9] M i c h a l s k i R., *Ion chromatography as a reference method for determination of inorganic ions in water and wastewater*, „Critical Reviews in Analytical Chemistry” 2006, Vol. 36, s. 107–127.
- [10] S z e w c z y k A., *Zastosowanie chromatografii jonowej do oceny jakości wód wodociągowych ujmowanych w wybranych punktach województw opolskiego i śląskiego*, „Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” 2013, nr 13, s. 60–79.

- [11] Eith C., Kolb M., Seubert A., Viehweger K.H. (red.), *Praktyczna chromatografia jonowa*, Metrohm, Herisau b.r.w., s. 15.
- [12] A.G. Metrohm, 850 Professional IC AnCat – MCS-2.850.3030-Manual, CH-9101 Herisau, Switzerland. [Podręcznik obsługi].
- [13] Lagerström M.E., Field M.P., Ségure M., Fischer L., Hann S., Sherrill R.M., *Automated on-line flow-injection ICP-MS determination of trace metals (Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn) in open ocean seawater: Application to the GEOTRACES program*, „Marine Chemistry” 2013, Vol. 155, s. 71–80.
- [14] Michalski R., Szopa S., *Zastosowanie detektora ICP-MS w chromatografii jonowej*, „Prace i Studia” 2009, Vol. 77, s. 119–135.
- [15] Stochaj - Yamani M., Spektrometry ICP-MS Agilent Technologie eleganckie narzędzie w analizie śladowej pierwiastków. Materiały aplikacyjne Perlan Technologies Polska Sp. z o.o., materiały w posiadaniu autorek.
- [16] Thomas R., *Practical Guide to ICP-MS. A Tutorial for Beginners*, 2. ed., Taylor & Francis Group, CRC Press, Boca Raton–London–New York 2008.
- [17] Agilent Technologies, Inc., ICP-MS serii Agilent 7700. Podręcznik obsługi urządzenia, 2009, Tokio, Japonia, materiały w posiadaniu autorek.
- [18] Michalski R., *Application of IC-MS and IC-ICP-MS in Environmental Research*, „Current Trends in Mass Spectrometry” 2012, No.12, s. 32–36.
- [19] Wille A., Czyborra S., Kleimann J., Hyphenated techniques as modern detection systems in ion chromatography, Metrohm AG, CH-9101 Herisau/Switzerland, aw@metrohm.com, poster.
- [20] Ronkart S.N., Laurent V., Carbonnelle P., Mabon N., Copin A., Barthélemy J.P., *Speciation of five arsenic species (arsenite, arsenate, MMAAV, DMAAV and AsBet) in different kind of water by HPLC-ICP-MS*, „Chemosphere” 2007, Vol. 66, s. 738–745.
- [21] Moritz T., Reyes L.H., Kingston „Skip” H.M., Mizanur Rahman G.M., Czyborra S., Mercury and arsenic speciation analysis by IC-ICP/MS, Metrohm International Headquarters, 9101 Herisau/Switzerland, tmo@metrohm.com, poster.
- [22] Jabłońska-Czapla M., Szopa S., Michalski R., Łyko A., *Jednoczesne oznaczanie nieorganicznych form specjacyjnych antymonu i arsenu z wykorzystaniem techniki HPLC-ICPMS*, [w:] *Chromatografia jonowa*, red. R. Michalski, IPIŚ PAN, Zabrze 2013, s. 43–56.
- [23] Michalski R., Jabłońska M., Szopa S., Łyko A., *Application of ion chromatography with ICP-MS or MS detection to the determination of selected halides and metal/metalloids species*, „Critical Reviews in Analytical Chemistry” 2011, Vol. 41, s. 133–150.
- [24] Bettia M., Menichettib U.L., Barrero Morenoa J.M., Fuocob R., *A preliminary study for the determination of long-lived radionuclides second transition group 4-d/ in environmental samples by ion chromatography inductively coupled plasma-mass spectrometry IC-ICP-MS*, „Microchemical Journal” 2000, Vol. 67, s. 285–290.
- [25] Reyes L.H., Guzmán Mar J.L., Mizanur Rahman G.M., Seybert B., Fahrenholz T., Skip Kingston H.M., *Simultaneous determination of arsenic and selenium species in fish tissues using microwave-assisted enzymatic extraction and ion chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry*, „Talanta” 2009, Vol. 78, s. 983–990.

- [26] Meng Q., Fan Z., Buckley B., Lin L., Huang L., Yu Ch., Stiles R., Bonanno L., *Development and evaluation of a method for hexavalent chromium in ambient air using IC-ICP-MS*, „Atmospheric Environment” 2011, Vol. 25, s. 2021–2027.
- [27] Akhtera F., Omelomb Ch.R., Gordone R.A., Moserd D., Macfiea S.M., *Localization and chemical speciation of cadmium in the roots of barley and lettuce*, „Environmental and Experimental Botany” 2014, Vol. 100, s. 10–19.
- [28] Michalski R., Jabłońska-Czapla M., Szopa S., Łyko A., *Techniki łączone w analizie specjacyjnej – problem i wyzwania*, [w:] *Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości*, red. Z. Hubicki, UMCS, Lublin 2013, s. 26–45.
- [29] Michalski R., Łyko A., Jabłońska M., Szopa S., *Zastosowanie chromatografii jonowej w analizie specjacyjnej wybranych pierwiastków*, [w:] *Chromatografia w praktyce*, red. A. Voekel, W. Wasiak, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011, s. 33–42.

AGNIESZKA SZEWCZYK
DARIA GAŚSIOR
EWELINA ŚLĘZAK

THE USE OF ION CHROMATOGRAPHY AND MASS SPECTROMETRY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA FOR ANALYSIS ELEMENT SPECIATION

Keywords: ion chromatography (IC), mass spectrometry, inductively coupled plasma (ICP-MS), chemical speciation.

Ion chromatography (IC) in combination with mass spectrometry, inductively coupled plasma (ICP-MS) offers great potential for various forms nearly all elements of the Periodic Table. In order to determine the individual form of element, necessary is efficient separation of tested analytes and use of suitable detectors. An effective combined technique should be: selective for the designated analytes, sensitive and should enable the best possible identification of substances, which to be measured. Therefore, as a method of separation used primarily chromatographic methods, and as a method of detection – spectroscopic methods. Speciation analyst plays a significant and unique role in a wide range of of research compounds, toxic elements such as quality control and the purity of pharmaceuticals and food products. Speciation analyst also found the use in the performance of complex determinations of environmental and nuclear chemistry. In this paper were characterized examples of applications, features and principles of operation of speciation analysis in the configuration ion chromatography (IC) – mass spectrometry in inductively coupled plasma (ICP-MS).