

Zastosowanie metody WD-XRF w oznaczaniu niskich zawartości siarki w katalizatorach przemysłowych

Karolina RYMARCZYK, Małgorzata KONDRACKA, Jadwiga KLUCZEWSKA-CWALINA, Bożena GÓRECKA, Instytut Nawozów Sztucznych, Puławy

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2012, **66**, 12, 1332-1339

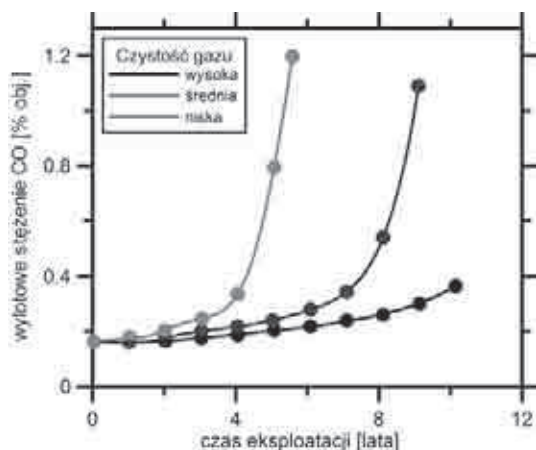
Wstęp

Rola katalizy we współczesnym przemyśle chemicznym jest powszechnie znana. Szacuje się, że ok. 90% produktów współczesnego przemysłu chemicznego otrzymywanych jest z udziałem procesów katalitycznych, w tym szczególnie heterogenicznych układów tlenkowych lub metalicznych. Katalizatory znajdują zastosowanie w otrzymywaniu produktów o bardzo dużym znaczeniu gospodarczym, np. amoniaku, metanolu, paliw i innych, dlatego stawiane są im wysokie wymagania użytkowe [1, 2].

Typowy katalizator przemysłowy powinien cechować się: wysoką, stabilną w czasie aktywnością i selektywnością; możliwie wysokim rozwinięciem powierzchni geometrycznej z jednostki objętości złoża oraz bardzo dobrą i trwałą wytrzymałością mechaniczną.

Opracowanie nowych typów katalizatorów spełniających powyższe kryteria wymaga czasochłonnych badań nad optymalizacją ich formuły, sposobem preparatyki oraz przeprowadzaniem oceny najważniejszych właściwości kinetycznych układów wyjściowych i przepracowanych. Niezmiernie ważnym zagadnieniem w tych badaniach jest oznaczanie składu chemicznego, w tym szczególnie substancji, które występują w niewielkiej ilości w katalizatorze, a w bardzo dużej mierze wpływają na jego efektywność. Chodzi tu zwłaszcza o substancje będące promotorami oraz truciznami czynnika aktywnego katalitycznie [3].

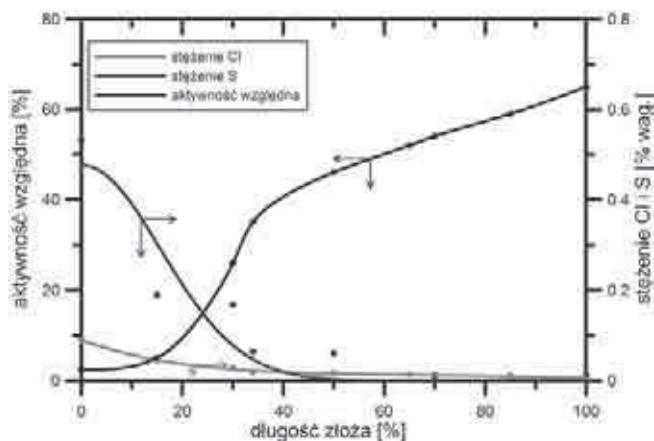
Katalizatory są układami wrażliwymi na obecność w surowcu niepożądanych substancji, które powodują szybką i zwykle nieodwracalną utratę aktywności, co na przykładzie katalizatora miedziowego do parowej konwersji CO zobrazowano na Rysunku 1.



Rys. 1. Zależność czasu eksploatacji katalizatora miedziowego do parowej konwersji CO od czystości gazu procesowego

Jedną z głównych trucizn katalizatorów metalicznych są chlorki oraz związki siarki. Istnieje więc potrzeba monitorowania ich stężenia na etapie otrzymywania katalizatorów: analiza surowców, półproduktów i katalizatora finalnego. Pozwala to na zapewnienie wymaganej jakości katalizatora warunkującej osiągnięcie wysokich walorów użytkowych. Zastosowanie surowców zanieczyszczonych związkami siarki, lub incydentalne ich wprowadzenie na etapie produkcji sprawia, że otrzymywany katalizator jest niepełnowartościowy.

Innym zagadnieniem jest oznaczanie poziomu siarki w katalizatorach w trakcie eksploatacji (jeśli to możliwe) i po jej zakończeniu. Analiza składu chemicznego katalizatorów po pracy w reaktorach przemysłowych może dostarczyć istotnych informacji (niekiedy niemożliwych do uzyskania w warunkach laboratoryjnych) o przebiegu procesów dezaktywacji. Określenie zawartości trucizn w różnych punktach złoża katalitycznego pozwala na wyciąganie wniosków o odporności katalizatorów na zatrucie, a następnie ich różnicowanie pod tym względem. Na Rysunku 2 przedstawiono przykładowy profil aktywności wraz z rozkładem stężenia związków siarki i chlorków w złożu katalizatora miedziowego, który obrazuje ścisłą relację między tymi parametrami [2].



Rys. 2. Zależność pomiędzy profilami stężeń trucizn w złożu katalizatora miedziowego i jego aktywnością w procesie parowej konwersji CO

Wiedza ta jest podstawą do poznania mechanizmów dezaktywacji katalizatorów metalicznych, powiązania stężenia związków siarki w mieszaninie reakcyjnej i w katalizatorze z jego aktywnością, a w dalszym kroku do opracowania równań opisujących procesy dezaktywacji pozwalających na symulowanie czasu pracy złóż w różnych warunkach procesowych.

Oznaczanie stosunkowo wysokich stężeń siarki w materiałach stałych należy do klasyki chemii analitycznej. Standardową metodą pomiaru siarki w postaci siarczanów jest metoda gravimetryczna. Jest to metoda niewymagająca kosztownej ani skomplikowanej aparatury, chociaż niekiedy jest trudna do wykonania [4]. Jednak jej przydatność do oznaczania niskich stężeń siarki w katalizatorach, tj. na poziomie od kilkudziesięciu ppm do kilku %, jest niewystarczająca, ze względu na niską dokładność i długi czas analizy. Konieczne jest opracowanie metod instrumentalnych o pożądanej precyzji w szerokim przedziale stężeń.

W literaturze można znaleźć różne metody oznaczania siarki całkowitej w materiałach mineralnych lub w podłożach naturalnych, ale większość z nich jest uciążliwa i czasochłonna [5]. Jedną z metod oznaczania zawartości siarki jest chromatografia jonowymienna (IC) [6 ÷ 8]. Analizowana w ten sposób próbka musi być uprzednio przeprowa-

dzona do roztworu. W literaturze dostępne są różne metody przeprowadzania próbek do roztworu, m.in. stapianie w obecności Na_2O_2 w 800°C w tyglu cyrkonowym, a następnie rozpuszczanie w kwasie. Próbka może być także poddana obróbce wysokotemperaturowej w piecu indukcyjnym, a gazy wytwarzane podczas spalania absorbowane są w roztworze, który następnie poddaje się analizie przy użyciu chromatografii jonowej IC [9].

Zawartość siarki można oznaczyć również przez spalenie próbek i analizę związków powstałych w wyniku tego spalania przy użyciu spektrometrii w podczerwieni (IR). Metodę tę można również stosować w obecności dodatków przyspieszających proces spalania [10].

Spektroskopowe metody analizy instrumentalnej są bardzo dobrymi technikami do takich aplikacji. Istnieje szereg oznaczeń, gdzie analizę siarki przeprowadza się za pomocą spektrometrii mas ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP-MS) [11]. Przygotowanie próbek polega na jej rozpuszczeniu w HF i wodzie królewskiej. W innych pracach opisano zastosowanie optycznej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnej (ICP-OES) [12, 13], a uzyskane ta techniką wyniki porównano z tradycyjną metodą grawimetryczną.

Jedną z metod przydatnych w analizie składu katalizatorów jest fluorescencyjna spektroskopia rentgenowska z dyspersją fali (WD-XRF). Jest to metoda porównawcza; stężenie pierwiastka w próbce wyznacza się przez odniesienie intensywności promieniowania charakterystycznego do intensywności tego promieniowania dla wzorca.

Istotną zaletą metody WD-XRF w zastosowaniach katalitycznych jest możliwość pełnej analizy składu próbki w trakcie pojedynczego pomiaru, a także wysoka czułość, dokładność i szybkość analiz. Metoda ta jest bardzo wygodnym sposobem oznaczania małych ilości komponentów (np. trucizn) katalizatorów, gdyż nie wymaga wcześniejszego wyodrębniania analitów z próbki pierwotnej i może być z powodzeniem zastosowana dla katalizatorów w formie tlenkowej, prereduowanej albo zasiarczonej.

Ze względu na swą wszechstronność, metoda WD-XRF jest bardzo przydatna przy rutynowej kontroli składu katalizatorów. Jej ograniczeniem może być brak materiałów odniesienia oraz wzorców używanych do kalibracji i/lub walidacji metody. W przypadku WD-XRF skład chemiczny i fazowy próbek musi być jak najbardziej zbliżony do stosowanych materiałów odniesienia [14 ÷ 16].

Analizy WD-XRF są od wielu lat wykorzystywane w INS Puławy, zarówno w badaniach podstawowych na etapie preparatyki próbek modelowych lub katalizatorów przemysłowych świeżych, jak i po eksploatacji przemysłowej. W niniejszej pracy przedstawiono wybrane wyniki analiz dla katalizatora na bazie aktywnego tlenku glinu oraz katalizatora Fe-Cr-Cu dla procesów WTKCO, prezentujące możliwości analiz techniką fluorescencji rentgenowskiej.

Część doświadczalna

Aparatura

Analizy WD-XRF wykonano przy użyciu fluorescencyjnego spektrometru rentgenowskiego z dyspersją fal (X'Unique II, Philips), wyposażonego w lampę o dwudzielnej anodzie Sc-Mo i maksymalnej mocy wzbudzenia 3 kW. Wszystkie pomiary wykonano w głębokiej próżni, przy zastosowaniu detektora przepływowego. Do przygotowania kształtek wykorzystano prasę hydrauliczną (TestChem). Próbkę katalizatora po impregnacji wzorcem homogenizowano w młynku planetarnym (Pulverisette 7, Fritsch), wyposażonym w agatowe naczynie mielące. Tego samego urządzenia użyto do zmielenia próbek katalizatorów wyjściowych i do homogenizacji spreparowanych wzorców ze spoiwem.

Próbki katalizatorów

Materiałem wyjściowym do preparatyki wzorców kalibracyjnych były próbki dwóch szarż produkcyjnych katalizatorów. Do badań uży-

to próbki katalizatora Fe-Cr-Cu wyprodukowanego przez Zakłady Azotowe w Tarnowie, wykorzystywanego w procesie wysokotemperaturowej konwersji tlenku węgla oraz próbki katalizatora na bazie aktywnego tlenku glinu wytworzonego w Instytucie Nawozów Sztucznych w Puławach. Po rozdrobnieniu i uśrednieniu w młynie, próbkę katalizatora Fe-Cr-Cu suszono w temp. 105°C , próbkę katalizatora glinowego kalcynowano w temp. 550°C .

Odczynniki

Roztwory wzorcowe przygotowano przez rozpuszczenie w zde-mineralizowanej wodzie odpowiednich ilości Na_2SO_4 czystości cz.d.a. (POCH), uprzednio wysuszonego do stałej masy w temp. 105°C . Dla katalizatora Fe-Cr-Cu otrzymano cztery roztwory wzorcowe zawierające 0,135; 0,312; 0,400; 1,173 mgS/ml. Próbkę katalizatora glinowego impregnowano roztworami wzorcowymi o stężeniach 0,090; 0,135; 0,225; 0,270 mgS/ml.

Przygotowanie wzorców

Wzorce kalibracyjne otrzymano przez impregnację każdej z porcji katalizatorów (40 g) jednakową objętością (50 ml) odpowiedniego roztworu wzorcowego. Po impregnacji próbki wzorcowe katalizatora Fe-Cr-Cu suszono w temp. 105°C do stałej masy; w przypadku katalizatora glinowego próbki wzorców poddano 5-godzinnej kalcynacji w 550°C . Tak przygotowane materiały homogenizowano w młynku planetarnym przez 70 min. Kształtki do analizy WD-XRF uzyskano poprzez zmieszanie 10 g przygotowanego wzorca z 1 g wosku, uśrednienie mieszaniny w młynku planetarnym (20 min) i sprasowanie na prasie hydraulicznej pod naciskiem tłoka 80 kN przez 10 sekund. Kolejne etapy preparatyki wzorców dla każdego z katalizatorów przedstawiono na Rysunku 3.



Rys. 3. Schemat przedstawiający preparatykę wzorców siarki w katalizatorze Fe-Cr-Cu i katalizatorze glinowym

Krzywa kalibracji

Do wykonywania rutynowych analiz odpowiednia jest metoda krzywej wzorcowej, gdyż pozwala na zachowanie identyczności matrycy próbki badanej z próbką wzorcową. Mankamentem tej me-

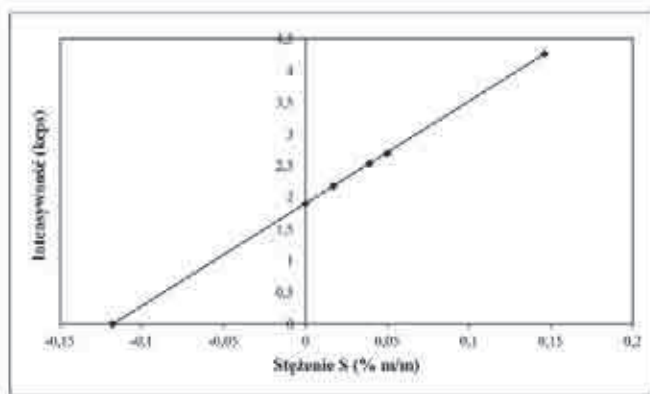
tody jest ograniczona dostępność komercyjnych materiałów odniesienia. Z tego względu, przy opracowaniu metody oznaczania siarki w katalizatorze Fe-Cr-Cu oraz katalizatorze glinowym posłużono się własnymi materiałami wzorcowym, spreparowanymi w warunkach laboratoryjnych. Stężenie siarki w bazowych próbkach katalizatorów oznaczono metodą dodatku wzorca wewnętrznego, którym był siarczan sodu. Próby określenia zawartości siarki innymi metodami analitycznymi nie dawały zadowalających rezultatów. W wyniku impregnacji wyjściowej próbki katalizatora roztworem wzorcowym siarczanu sodu, przygotowano cztery próbki katalizatora Fe-Cr-Cu o zawartości procentowej siarki równej 0,017; 0,039; 0,050 i 0,146% m/m. W przypadku katalizatora glinowego otrzymano pięć próbek o stężeniu siarki 0,011; 0,017; 0,022; 0,028 i 0,034% m/m. Parametry, przy których wykonano pomiary intensywności siarki we wzorcach przedstawiono w Tabelcy 1.

Tabelca 1

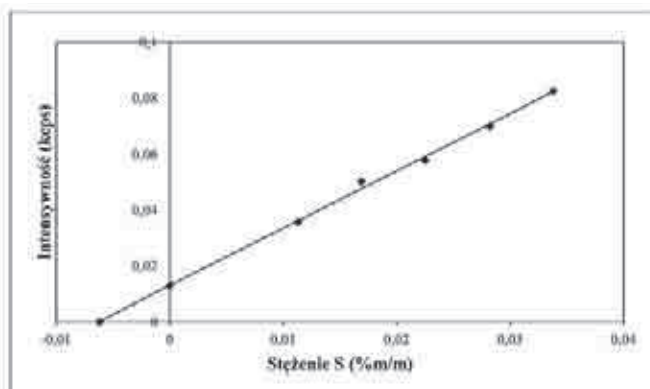
Parametry instrumentalne pomiarów WD-XRF zastosowane przy pomiarze wzorców siarki w katalizatorze Fe-Cr-Cu i katalizatorze glinowym

Linia analityczna:	K _α
Napięcie:	40 kV
Natężenie:	75 mA
Kolimator:	coarse
Kryształ:	Ge III
Kąt 2θ:	110,729 °
Detektor:	przepływowy

Pierwotną koncentrację siarki w próbkach bazowych katalizatorów otrzymano na podstawie wykresu analitycznego zależności liczby impulsów mierzonych w jednostce czasu, od stężenia procentowego siarki, przez ekstrapolację prostej utworzonej z punktów eksperymentalnych do punktu przecięcia z osią x. Rezultaty pomiarów przedstawiono na Rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Oznaczenie stężenia siarki w próbce bazowej katalizatora Fe-Cr-Cu metodą dodatku wzorca



Rys. 5. Oznaczenie stężenia siarki w próbce bazowej katalizatora glinowego metodą dodatku wzorca

W wyniku tej ekstrapolacji ustalono, że stężenie siarki w bazowej próbce katalizatora Fe-Cr-Cu jest na poziomie 0,118% m/m; w przypadku katalizatora glinowego obliczona wartość wynosiła 0,006% m/m. Współczynniki korelacji otrzymanych krzywych wynosiły odpowiednio 0,999 w przypadku katalizatora Fe-Cr-Cu, i 0,998 dla katalizatora glinowego.

Stężenia siarki we wzorcach skorygowano o zawartości siarki w próbkach bazowych każdego z katalizatorów. Zawartość siarki w poszczególnych wzorcach (W1, W2, W3, W4, W5, W6, gdzie W1 to próbka bazowa katalizatora) zamieszczono w Tabelcy 2. Na tej podstawie otrzymano krzywą wzorcową służącą do rutynowych analiz próbek omawianych katalizatorów.

Tabelca 2

Stężenie siarki we wzorcach kalibracyjnych katalizatora Fe-Cr-Cu i glinowego

Wzorzec	Zawartość siarki we wzorcu, % m/m	
	Katalizator Fe-Cr-Cu	Katalizator glinowy
W1	0,118	0,006
W2	0,135	0,017
W3	0,157	0,023
W4	0,168	0,029
W5	0,264	0,034
W6	-	0,040

Krzywe kalibracji dopasowano tak aby zminimalizować wartości średnich kwadratowych (RMS) obliczonych zgodnie z równaniem:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum(C_{chem} - C_{calc})^2}{n - k}}$$

gdzie:

C_{chem} – teoretyczne stężenie siarki,

C_{calc} – obliczone stężenie siarki,

n – liczba próbek wzorcowych,

k – liczba obliczonych współczynników regresji.

Kalibrację krzywych wzorcowych wykonano na podstawie modelu Philipsa. W przypadku obu katalizatorów otrzymano prostoliniowy przebieg krzywych. Wartości RMS otrzymane dla krzywych kalibracji wynosiły odpowiednio 0,00056 dla katalizatora Fe-Cr-Cu i 0,00075 dla katalizatora glinowego.

W celu oceny opracowanej metody analizy siarki dokonano porównania wyników analiz wykonanych przy użyciu omawianej metody z wynikami analiz innymi metodami. Zawartość siarki w kilku próbkach katalizatora Fe-Cr-Cu oznaczono metodą wagową z użyciem chlorku baru. W przypadku katalizatora glinowego zastosowano metodę WD-XRF z wykorzystaniem pomiarowo-obliczeniowego programu UniQuant. Rezultaty analiz przedstawiono w Tabelcy 3.

Tabelca 3

Porównanie zawartości siarki w próbkach katalizatora Fe-Cr-Cu i katalizatora glinowego otrzymanych różnymi metodami analitycznymi

Nr próbki	Zawartość siarki, % m/m			
	Katalizator Fe-Cr-Cu		Katalizator glinowy	
	metoda wzorca wewnętrznego	metoda wagowa	metoda wzorca wewnętrznego	metoda UniQuant
1	0,039	0,040	0,007	0,009
2	0,024	0,025	0,038	0,042
3	0,051	0,060	0,032	0,034
4	0,040	0,050	0,027	0,025
5	0,014	0,018	0,011	0,014

Wnioski

Metoda wzorca wewnętrznego w analizie WD-XRF z powodzeniem może być zastosowana w analizie małych ilości siarki w próbkach katalizatorów przemysłowych. Daje zadowalające efekty w analizie katalizatora Fe-Cr-Cu, gdzie stężenie siarki w badanych próbkach kształtowało się w zakresie 0,1-0,5% m/m i w przypadku analizy katalizatora glinowego, w którym stężenie siarki kształtuje się na poziomie 10-krotnie niższym. Zgodność wyników z wynikami analiz alternatywnymi metodami świadczy o tym, że sposób określenia stężenia siarki w próbkach wyjściowych katalizatorów oraz sposób przygotowania wzorców okazał się prawidłowy. Przewaga opracowanej metody nad innymi metodami analitycznymi jest jej niewielka pracochłonność, w tym czynności związanych z przygotowaniem próbek do analizy oraz znaczne zredukowanie zużycia odczynników chemicznych. Oprócz tego opracowana metoda jest szybka i dostosowana do wielkoseryjnych analiz.

Literatura

1. Farrauto R. J., Bartholomew C. H.: *Fundamentals of Industrial Catalytic Processes*. Kluwer Academic Publishers London 1997.
2. Gołębiowski A., Kowalik P., Stolecki K., Narowski R., Kruk J., Prokop U., Mordecka Z., Dmoch M., Jesiowski J., Śpiewak Z.: *Rozwój technologii wytwarzania katalizatorów przemysłowych w Instytucie Nawozów Sztucznych Puławy - 50 lat doświadczeń*. Przemysł Chemiczny 2009, **88**, 12.
3. Baran P., Klempka E., Kowalik P., Antoniak K.: *Katalizatory ciągu syntezy amoniaku, produkowane w Azotach Tarnów*. Chemik 2012, **10**, 1103.
4. Czerewko M. A., Cripps J. C., Reid J. M., Duffell C. G.: *The effects of storage conditions on the sulfur speciation in geological material*. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 2003, **36**, 133.
5. Mark, B. D., Myron, J. M., Deidre, A., Robert, B. H.: *Analysis of sulfur in soil, plant and sediment materials: sample handling and use of an automated analyzer*. Soil Biology Biochemistry 1989, **21** (1), 119.
6. Stallings E. A., Candelaria L. M., Gladney E. S.: *Investigation of a fusion technique for the determination of total sulfur in geological samples by ion chromatography*. Analytical Chemistry 1988, **60** (11), 1246.
7. Tabatabai, M. A., Basta, N. T., Pirela, H. J.: *Determination of total sulfur in soils and plant materials by ion chromatography*. Communications in Soil Science Plant Analysis 1988, **19**, 1701.
8. Dick, W. A., Tabatabai, M. A.: *Ion chromatographic determination of sulfate and nitrate in soils*. Soil Science Society of America Journal 1973, **43**, 899.
9. Hall G. E. M., Vaive J. A.: *Determination of sulphur at low levels in standard reference materials by pyrohydrolysis/ion chromatography*. Geostandards Newsletter 1989, **13** (1), 1.
10. Lee R. F.: *Simultaneous determination of carbon and sulphur in geological material, using inductive combustion*. Chemical Geology 1980, **31**, 145.
11. Makishima A., Nakamura E.: *Determination of total sulfur at microgram per gram levels in geological materials by oxidation of sulfur into sulfate with in situ generation of bromine using isotope dilution high resolution ICPMS*. Analytical Chemistry 2001, **73**, 2547.
12. Czerewko, M.A., Cripps J.C., Reid J.M., Duffell C.G.: *Sulfur species in geological materials-sources and quantification*. Cement and Concrete Composites 2003, **25** (7), 657.
13. Okai T., Terashima S., Imai N.: *Determination of total sulfur in thirty one geochemical reference materials using an inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer fitted with a semiconductor photodiode detector*. Geostandards Newsletter 2000, **25** (1), 133.
14. Zhan X.: *Application of polarized EDXRF in geochemical sample analysis and comparison with WDXRF X-Ray Spectrometry* 2005, **34**, 207-212.
15. Sprta V., Knob B., Janos P.: *X-ray fluorescence determination of total sulfur in fly ash*. Fresenius Journal of Analytical Chemistry 1999, **364**, 705.
16. Steinmeyer S., Kolbesen B.O.: *Capability and limitations of the determination of sulfur in inorganic and biological matrices by total reflection X-ray fluorescence spectrometry*. Spectrochim. Acta Part B: Atomic Spectroscopy 2001, **56** (11), 2165.

Mgr inż. Karolina RYMARCZYK ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej. Od 2007 r. pracuje w Instytucie Nawozów Sztucznych w Puławach, obecnie na stanowisku asystenta. Specjalność – chemia analityczna.
e-mail karolina.rymarczyk@ins.pulawy.pl, tel.: 81 4731435

Dr inż. Jadwiga KLUCZEWSKA-CWALINA ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej. Od 2010 r. jest emerytowanym pracownikiem Instytutu Nawozów Sztucznych w Puławach. Specjalność – fluorescencyjna spektrometria rentgenowska.

Dr Małgorzata KONDRACKA ukończyła studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego. Od 2010 r. pracuje w Instytucie Nawozów Sztucznych w Puławach na stanowisku adiunkta. Specjalność – chemia strukturalna, XRD i XRF, wielowymiarowe polimery koordynacyjne.

Mgr Bożena GÓRECKA ukończyła studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Od 2001 r. jest kierownikiem Zakładu Analitycznego w Instytucie Nawozów Sztucznych w Puławach. Specjalność – chemia analityczna.

Polskie technologie dla gazu łupkowego

Program *Blue Gas – Polski Gaz Łupkowy* to wspólne przedsięwzięcie Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) oraz Agencji Rozwoju Przemysłu SA przewidujące wsparcie wiodących przedsięwzięć badawczo-rozwojowych. Celem Programu jest komercjalizacja nowatorskich rozwiązań technologicznych w obszarze poszukiwań i eksploatacji gazu z łupków. Z końcem września 2012 r. NCBiR ogłosiło nabór wniosków na realizację 12 projektów. Do udziału w konkursie zaproszono konsorcja naukowe z udziałem przedsiębiorców, zainteresowanych inwestycjami w działalność badawczo-rozwojową.

Ostatecznie do Konsorcjum pod nazwą „Polskie technologie dla gazu łupkowego” przystąpiły: ORLEN Upstream, PGNiG SA, Lotos SA, Akademia Górniczo – Hutnicza, Instytut Nafty i Gazu, Politechnika Gdańska oraz Politechnika Warszawska. Partnerzy zdecydowali się na współpracę w procesie adaptacji projektowanych rozwiązań technologicznych do polskich warunków geologicznych, środowiskowych i ekonomicznych. Jest to istotny krok w kierunku stworzenia forum wymiany myśli naukowo-badawczej, zapewniającego dostęp do wyników wspólnych prac, jak również umożliwiającego opracowanie rozwiązań specyficznych dla niezbadanych dotąd polskich złóż niekonwencjonalnych. Uczestnicy Konsorcjum zmierną się z trzema podstawowymi obszarami badawczymi: metody zagospodarowania i eksploatacji gazu, a także podejmując zagadnienia związane z ochroną środowiska i gospodarką odpadami. Będą analizować stosowane obecnie techniki poszukiwania i rozpoznawania złóż węglowodorów i optymalizować je by mogły być stosowane w polskich warunkach.

W ramach projektu, uczestnicy Konsorcjum ma zamiar wspólnie występować z wnioskami o dofinansowanie oraz realizować projekty zaaprobowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju przez trzy lata. W umowie sprecyzowano również zakres merytoryczny udziału poszczególnych uczestników w Konsorcjum, a także ich prawa do wspólnie wytworzonych technologii. (em)

(<http://www.orken.pl/PL/CentrumPrasowe/Strony/Polskie-uczelnie-i-firmy-beda-wspolpracowac-w-rozwijaniu-technologiei-wydobycia-gazu-z-lupkow.aspx>)