

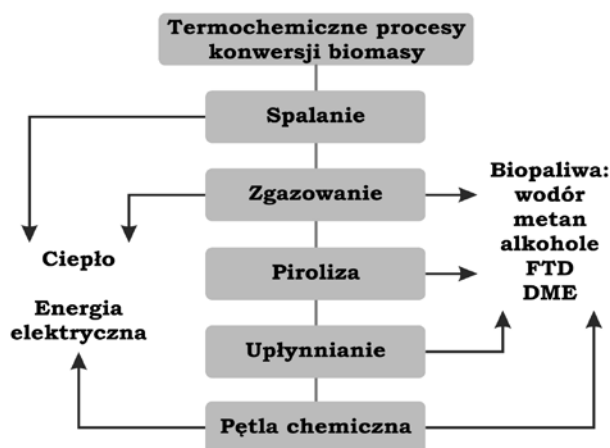
Zastosowanie chromatografii jonowej do oznaczania zawartości chloru w biomasie stałej przeznaczonej do celów energetycznych

Ewa ZAPAŁA, Iga KUKLIS, Grażyna FABJAŃSKA-ŚWIECA, Justyna TARNOWSKA – Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2013, 67, 12, 1217–1226

Wprowadzenie

Technologia przetwarzania biomasy oparta jest na procesach fizycznych, termochemicznych i biochemicznych, prowadzących do produkcji ciepła i energii elektrycznej oraz biopaliw [1]. Termochemiczne procesy konwersji biomasy przedstawiono na Rysunku 1.



Rys. 1. Światowe technologie przetwarzania biomasy [1]

Jednym z parametrów decydujących o możliwości zastosowania określonego typu biomasy w powyższych procesach jest zawartość chloru. Chlor występuje w roślinach głównie w postaci jonu chlorkowego Cl^- oraz w niewielkich ilościach w połączeniach organicznych. Procentowy udział tego pierwiastka w biomasie zależy od ilości przyswajalnych przez rośliny związków chloru z powietrza i gleby. Decydujący wpływ na zawartość chloru w biomasie odgrywa ilość jonów chlorkowych w roztworze glebowym. Zależy ona zarówno od naturalnej zawartości tych jonów w danej glebie, jak też od przeprowadzonych zabiegów agrotechnicznych. Najczęściej stosuje się nawozy mineralne w postaci soli, w tym chlorki, jak np. KCl . Wg danych literaturowych, zawartość chloru w roślinach jest silnie zależna od rodzaju biomasy i waha się w granicach od 0,005 do 2 %wag. w suchej masie. W biomasie drzewnej występuje w ilościach do 0,05 %wag. W roślinach jednorocznych takich jak słoma zbożowa, kukurydza, len, rzepak, trawy itp. stężenie chloru może wynosić nawet do 1 %wag. [2, 3].

W wyniku wieloletnich badań prowadzonych w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu, dotyczących określania parametrów fizykochemicznych biomasy stosowanej w energetyce, w tym zawartości chloru, uzyskano następujące wyniki (Tab. 1):

Chlor wraz z azotem i siarką, stanowi główne źródło związków kwaśnych, odpowiedzialnych za korozję aparatury oraz skażenie środowiska [2÷4]. W procesach termochemicznych uwalniany jest on głównie z paliwa w postaci chlorowodoru, i chloru cząsteczkowego, będącego produktem utleniania chlorowodoru w spalinach. Gazy te wykazują korozyjne działanie na elementy instalacji technologicznej. W obecności metali alkalicznych prowadzą do żużlowania powierzchni ogrzewalnych kotła, a w przypadku kotłów fluidalnych mogą prowadzić do utraty stateczności złoża na skutek jego lokalnych aglomeracji [2, 4, 5]. Istotny jest także wpływ związków chloru na środowisko na-

turalne oraz organizmy żywe. Zarówno HCl , jak i Cl_2 są prekursorami związków stanowiących trwale zanieczyszczenia środowiska naturalnego, takich jak: chlorofenole, chlorobenzeny, polichlorowane bifenyle (PCB), polichlorowane nafteny (PCNs), polichlorowane dibenzodiosyny (PCDD) oraz polichlorowane dibenzofurany (PCDF) o silnych właściwościach rakotwórczych, mutagennych, teratogennych i alergicznych [6, 7, 8, 9, 10]. Związki te wraz z opadami atmosferycznymi przenikają do gleby i wód gruntowych, powodując ich zakwaszenie, co również ma negatywny wpływ na lokalne ekosystemy.

Tablica I

Zawartość Chloru w biomasie energetycznej

Typ biomasy	Zawartość chloru, %wag.
Siano	0,220–0,354
Pelet drzewny	0,005–0,159
Wierzba energetyczna	0,005–0,035
Słoma	0,044–0,475
Kukurydza	0,212–0,263
Miskantus	0,053–0,158
PKS	0,005–0,105
Łuska słonecznika	0,061–0,229
Pestki oliwek	0,289–0,981
Topinambur	0,283–0,823
Słoma rzepaku	0,295–0,713

Do oznaczania zawartości chloru w biomasie stosuje się wiele metod analitycznych, m.in. Między innymi są to metody miareczkowe, spektrometryczne, chromatograficzne, fluorescencji rentgenowskiej oraz wysokotemperaturowego utleniającego spalania z detekcją elektrochemiczną [7, 8, 10, 11].

Przedmiotem pracy było przeprowadzenie badań mających na celu oznaczenie zawartości chloru w próbkach biomasy, w tym przeznaczonych do celów energetycznych z wykorzystaniem chromatografii jonowej, zgodnie z normą PN – EN 15289:2011 „Biopaliwa stałe. Oznaczanie zawartości siarki całkowitej i chloru”. Przeprowadzono porównanie uzyskanych wyników z zawartością chloru oznaczoną metodą miareczkowania potencjometrycznego z wykorzystaniem automatycznego titratora.

Aparatura i odczynniki

Chromatografia jonowa

W badaniach wykorzystano chromatograf jonowy ICS-5000 firmy Dionex wyposażony w generator eluentu EGC III KOH, kolumnę anionowymienną IonPac AS18, supresor ASRS 300 oraz detektor konduktometryczny. Do przygotowania roztworów do kalibracji zastosowano wzorzec Primary Multianion Standard Solution firmy Fluka oraz wodę dejonizowaną o przewodnictwie $0,08\mu\text{S}/\text{cm}$ uzyskaną z dejonizatora HLP 5 firmy Hydrolab.

Miareczkowanie potencjometryczne

Próbki biomasy spalono w kalorymetrze C5000 firmy IKA. Zawartość chloru w próbkach rzeczywistych i materiałach odniesie-

nia wyznaczano za pomocą automatycznego titratora Titromatic IS firmy Crison, zaopatrzonego w kombinowaną elektrodę ISE 5260.

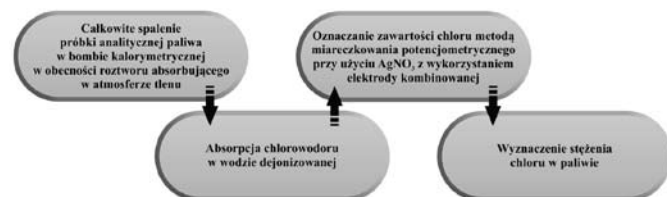
Do przygotowania próbek stosowano: wodę dejonizowaną o przewodnictwie 0,08 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (system Hydrolab HLP 5), oraz takie odczynniki jak: azotan srebra cz.d.a. (Chempur), wodorotlenek potasu cz.d.a (POCH), tlen techniczny (Linde-Gaz).

Zasady metod badawczych

Próbki do badań przygotowano zgodnie z wytycznymi zawartymi w europejskiej normie PN-EN 15289:2011 pt. „*Biopaliwa stałe – Oznaczenie zawartości siarki całkowitej i chloru*”. Następnie zawartość chloru w otrzymanych roztworach oznaczono dwiema metodami. W pierwszym przypadku postępowano zgodnie z normą PN-EN ISO 10304-1:2009 pt. „*Jakość wody – Oznaczenie rozpuszczalnych anionów za pomocą chromatografii jonowej – Część 1: Oznaczenie bromków, chlorków, fluorków azotanów, azotynów, fosforanów i siarczanów*”. W drugim przypadku zawartość chloru oznaczono potencjometrycznie za pomocą automatycznego titratora, wyposażonego w kombinowaną elektrodę ISE 5260. Zasady oznaczania chloru wyżej wymienionymi metodami przedstawiono na schematach (Rys. 2, 3)



Rys. 2. Schemat postępowania podczas analiz z wykorzystaniem chromatografii jonowej



Rys. 3. Schemat postępowania podczas analiz z wykorzystaniem metody potencjometrycznej

Dla każdej z metod wykonano oznaczenie chloru w ślepej próbce, stosując procedurę mineralizacji bez udziału próbki biomasy. Przy założeniu, że cały chlor obecny w paliwie przechodzi do roztworu w postaci anionów Cl^- , zawartość tego pierwiastka w badanym paliwie można obliczyć z poniższych wzorów:

Dla metody chromatograficznej:

$$\text{Cl}^a = \frac{V \times (C - C_0)}{m} \times 100\% \quad (1)$$

gdzie:

Cl^a – zawartość chloru w próbce analitycznej biomasy, %wag.

C – stężenie chloru w roztworze absorpcyjnym oznaczone techniką chromatografii jonowej, mg/l

C_0 – stężenie chloru w roztworze absorpcyjnym oznaczone techniką chromatografii jonowej dla ślepej próby, mg/l

V – całkowita objętość roztworu absorpcyjnego po rozcieńczeniu, ml

m – masa próbki biomasy, mg.

Dla metody miareczkowej:

$$\text{Cl}^a = \frac{(V_1 - V_0) \times 0,0008865 \times V_2}{m \times V_3} \times 100\% \quad (2)$$

gdzie:

Cl^a – zawartość chloru w próbce analitycznej biomasy, %wag.

V_0 – objętość mianowanego roztworu azotanu (V) srebra zużyta na zmiareczkowanie jonów Cl^- w roztworze do próby ślepej, w przeliczeniu na roztwór 0,025 mol/l, ml

V_1 – objętość mianowanego roztworu azotanu (V) srebra zużyta na zmiareczkowanie jonów Cl^- w roztworze zawierającym produkty spalania próbki biomasy, w przeliczeniu na roztwór 0,025 mol/l, ml

V_2 – całkowita objętość roztworu otrzymanego ze spalania próbki biomasy, ml

V_3 – objętość roztworu otrzymanego ze spalania próbki paliwa, po brana do oznaczania, ml

m – masa próbki biomasy, g.

Materiał do badań

Do badań stosowano próbki:

- certyfikowanych materiałów odniesienia (CRM): Ziola Polskie INCT-MPH-2, Liście Herbaty INCT-TL-1; (Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie, Zakład Chemii Analitycznej)
- referencyjnych materiałów odniesienia (RM): Rośliny Wiechlinowate IPE-952, Rośliny Iglaste IPE-879, Pszenica Zwyczajna IPE-881; (Wepal)
- biomasy różnego pochodzenia np.: łodygi topinambura, wytloki z oliwek, pelet z siana, pelet drzewny, wierzba energetyczna, łupiny olejowca gwinejskiego, łuski słonecznika, pelet z produkcji kawy zbożowej, pestki owoców acai, bambus, miskantus, zrębki kukurydzy, sosna, róża, pelet z wytloków buraczanych i owocowych, pelet z lignin, drewno pohydrolityczne, iglaki.

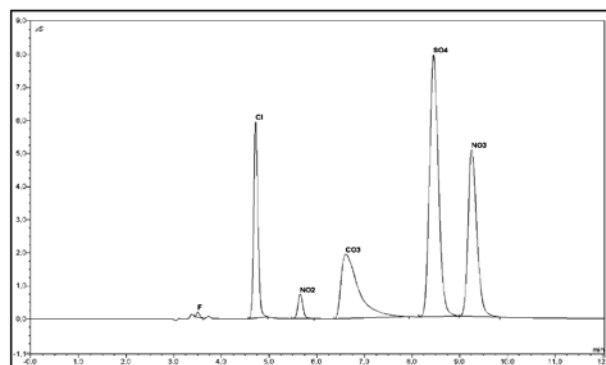
Wyznaczenie parametrów walidacyjnych

W celu określenia selektywności metody oznaczania zawartości chloru w biomase z zastosowaniem chromatografii jonowej, przeprowadzono analizę roztworu wzorcowego Primary Multianion Standard Solution oraz próbki biomasy.

Na podstawie analiz roztworu wzorcowego, zawierającego jony F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} (Rys. 5), określono czas retencji jonu chlorkowego, którego wartość wyniosła $4,72 \pm 0,01$ min.

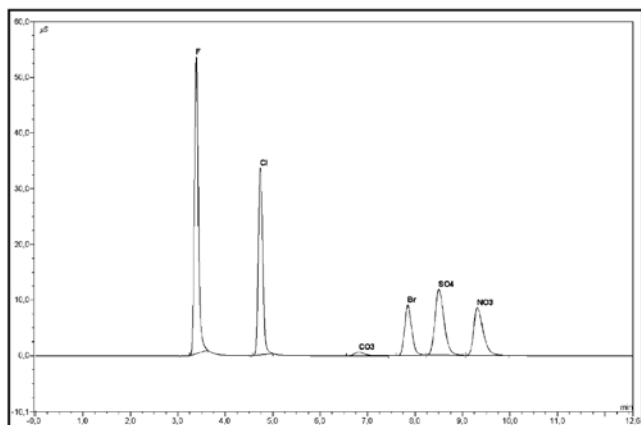
Na Rysunkach 4 i 5 przedstawiono przykładowe chromatogramy zarejestrowane dla roztworu wzorcowego oraz roztworu próbki badanej biomasy w następujących warunkach:

- kolumna ochronna Dionex IonPac AG 18
- kolumna analityczna Dionex IonPac AS 18
- temperatura 30°C
- eluent: 23 mM KOH
- przepływ eluentu 0,25 ml/min, izokratyczny
- objętość dozowanej próbki 10 μl
- detektor konduktometryczny.

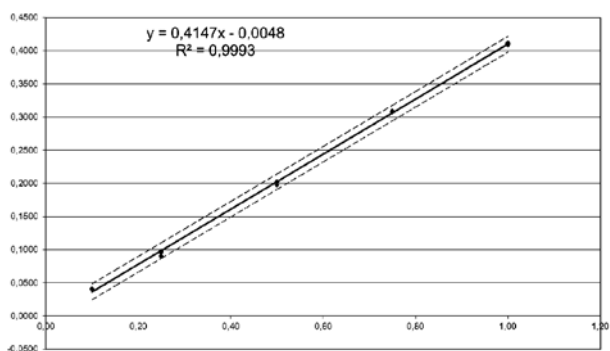


Rys. 4. Chromatogram anionów w próbce biomasy

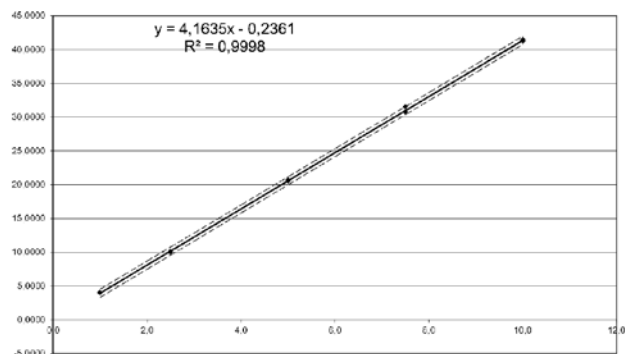
Do wyznaczenia liniowości metody przygotowano serię roztworów wzorcowych zawierających jon chlorkowy w zakresie stężeń od 0,1 mg/l do 10,0 mg/l. Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do wyznaczenia krzywych kalibracyjnych dla oznaczania zawartości chloru w biomase (Rys. 6, 7).



Rys. 5. Chromatogram anionów w próbce wzorcowej mieszaniny anionów Primary Multianion Standard Solution



Rys. 6. Krzywa kalibracyjna dla jonów chlorkowych w zakresie stężeń od 0,1 mg/l do 1,0 mg/l



Rys. 7. Krzywa kalibracyjna dla jonów chlorkowych w zakresie stężeń od 1,0 mg/l do 10 mg/l

Wyznaczone współczynniki korelacji (R^2) oraz współczynniki kierunkowe (a) wyniosły odpowiednio 0,9993 oraz 0,4147 dla krzywej w zakresie od 0,1 mg/l do 1,0 mg/l. Natomiast dla krzywej w zakresie od 1,0 mg/l do 10,0 mg/l wyniosły odpowiednio 0,9998 oraz 4,1635. Współczynniki korelacji mieszczą się w przyjętym kryterium akceptacji ($R^2 \geq 0,9990$).

Wartość granicy wykrywalności (LOD) i oznaczalności (LOQ) oszacowano na podstawie analizy ślepych próbek. Ich wartości wynoszą odpowiednio 0,001% i 0,004%.

Do wyznaczenia wartości powtarzalności metody analitycznej przeprowadzono badania z zastosowaniem rzeczywistych próbek biomasy energetycznej. Wytypowano 4 rodzaje biomasy o różnej zawartości chloru (poziomy). Dla każdego poziomu wykonano 4 serie analiz po 8 pomiarów w serii. Powtarzalność wyznaczono jako średnią arytmetyczną z obliczonych wartości współczynnika zmienności dla każdej z 4 serii. W Tablicach 2 ÷ 5 przedstawiono uzyskane wyniki, dla każdego poziomu wraz z obliczonym współczynnikiem zmienności dla każdej serii oraz średnim współczynnikiem zmienności dla danego poziomu. Powtarzalność dla metody analitycznej

wyznaczono stosując prawo propagacji uwzględniając średnie wartości współczynnika zmienności dla każdego z poziomów. Jej wartość wynosi 5%.

Tablica 2

Wyniki pomiarów dla próbek biomasy uzyskane w warunkach powtarzalności i precyzji pośredniej dla poziomu 1

Numer serii	Poziom 1			
	Seria 1	Seria 2	Seria 3	Seria 4
Pomiar 1	0,015	0,014	0,015	0,0142
Pomiar 2	0,014	0,014	0,014	0,0138
Pomiar 3	0,015	0,014	0,015	0,0149
Pomiar 4	0,015	0,014	0,014	0,0137
Pomiar 5	0,015	0,014	0,014	0,0135
Pomiar 6	0,015	0,013	0,014	0,0142
Pomiar 7	0,014	0,014	0,013	0,0148
Pomiar 8	0,015	0,014	0,015	0,0140
Współczynnik zmienności, %	3,0	3,0	4,2	3,5
Średni współczynnik zmienności	3,5			

Tablica 3

Wyniki pomiarów dla próbek biomasy uzyskane w warunkach powtarzalności i precyzji pośredniej dla poziomu 2

Numer serii	Poziom 2			
	Seria 1	Seria 2	Seria 3	Seria 4
Pomiar 1	0,120	0,126	0,116	0,120
Pomiar 2	0,125	0,121	0,120	0,118
Pomiar 3	0,124	0,122	0,118	0,114
Pomiar 4	0,113	0,128	0,117	0,121
Pomiar 5	0,119	0,121	0,118	0,124
Pomiar 6	0,121	0,117	0,113	0,116
Pomiar 7	0,119	0,129	0,123	0,118
Pomiar 8	0,123	0,124	0,121	0,121
Współczynnik zmienności, %	3,1	3,3	2,6	2,7
Średni współczynnik zmienności	2,9			

Tablica 4

Wyniki pomiarów dla próbek biomasy uzyskane w warunkach powtarzalności i precyzji pośredniej dla poziomu 3

Numer serii	Poziom 3			
	Seria 1	Seria 2	Seria 3	Seria 4
Pomiar 1	0,454	0,462	0,456	0,466
Pomiar 2	0,453	0,449	0,453	0,452
Pomiar 3	0,456	0,468	0,467	0,459
Pomiar 4	0,447	0,462	0,459	0,452
Pomiar 5	0,451	0,458	0,459	0,453
Pomiar 6	0,449	0,457	0,460	0,454
Pomiar 7	0,459	0,455	0,453	0,457
Pomiar 8	0,449	0,462	0,460	0,469
Współczynnik zmienności, %	0,9	1,2	1,0	1,4
Średni współczynnik zmienności, %	1,1			

Tablica 5

Wyniki pomiarów dla próbek biomas uzyskane w warunkach powtarzalności i precyzji pośredniej dla poziomu 4

	Numer serii	Poziom 4			
		Seria 1	Seria 2	Seria 3	Seria 4
Pomiar 1		0,797	0,789	0,796	0,801
Pomiar 2		0,795	0,792	0,789	0,812
Pomiar 3		0,789	0,799	0,783	0,800
Pomiar 4		0,822	0,816	0,790	0,796
Pomiar 5		0,796	0,810	0,802	0,723
Pomiar 6		0,799	0,814	0,806	0,788
Pomiar 7		0,791	0,809	0,776	0,792
Pomiar 8		0,802	0,794	0,793	0,794
Współczynnik zmienności, %		1,3	1,3	1,2	3,5
Średni współczynnik zmienności, %		1,8			

Na podstawie pomiarów zebranych w Tablicy 2÷5 obliczono wartość precyzji pośredniej dla każdego poziomu. Otrzymano następujące wartości: dla poziomu pierwszego – 4,0%, dla poziomu drugiego – 3,3%, dla poziomu trzeciego – 1,3%, dla poziomu czwartego – 2,1 %. Wartość precyzji pośredniej metody analitycznej wyznaczono stosując prawo propagacji i wynosi ona: 5,7%.

W celu wyznaczenia poprawności [12] wykorzystano szereg certyfikowanych i referencyjnych materiałów odniesienia. Wyniki przedstawiono w Tablicy 6.

Tablica 6

Dokładność i poprawność metody chromatograficznej

Próbka	Zawartość chloru w materiale wzorcowym, %	Zawartość chloru wyznaczona jako wartość średnia z sześciu powtórzeń, %	Poprawność, %
INCT-MPH-2	0,284±0,002	0,298±0,020	104,9±9,7
INCT-TL-I	0,0573±0,0048	0,0556±0,0040	97,0±12,0
IPE-952	0,623±0,009	0,604±0,014	97,0±8,3
IPE-879	0,477±0,013	0,463±0,007	97,1±3,2
IPE-881	0,116±0,007	0,118±0,003	101,3±6,4

Wyliczone wartości poprawności spełniają kryterium akceptacji, tj. 80% – 120%.

Do porównania metody chromatografii jonowej z metodą miareczkowania potencjometrycznego wykorzystano parametry walidacyjne tj. dokładność i precyzję. Do porównania precyzji metod zastosowano test F-Snedecora. Na podstawie wyliczonej wartości statystyki testu F-Snedecora stwierdzono, że metoda miareczkowa różni się od metody chromatografii jonowej pod względem precyzji w sposób statystycznie istotny. W Tablicy 7 przedstawiono wyniki z porównania precyzji metod analitycznych.

Tablica 7

Porównanie precyzji metod analitycznych

	Metoda chromatograficzna	Metoda miareczkowa
Wyniki [%]	0,015	0,020
	0,014	0,018
	0,015	0,016
	0,015	0,019
	0,015	0,012
	0,015	0,010
	0,014	0,012
	0,015	0,014
średnia	0,015	0,015
odchylenie standardowe	0,441*10 ³	0,004
Wartość testu F-Snedecora	68,01	
Wartość krytyczna testu F-Snedecora	3,79	

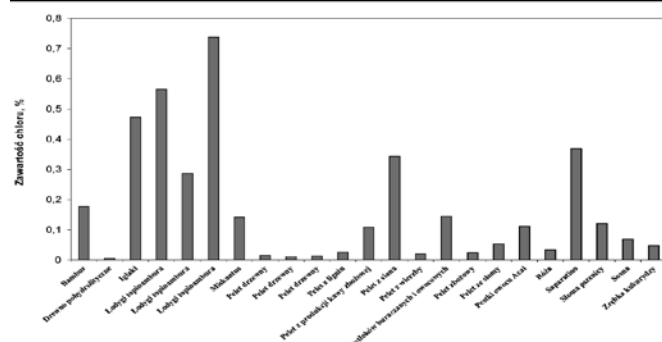
Do porównania dokładności metod zastosowano test Cochra-na-Coxa, ponieważ metody te różnią się pod względem precyzji. Wyliczona statystyka testu wynosi 2,713 i jest większa od wartości krytycznej tj. 2,365. Wobec czego porównywane metody różnią się między sobą w sposób statystycznie istotny, pod względem dokładności (Tab. 8).

Tablica 8

Wyniki testu Cochra-na-Coxa

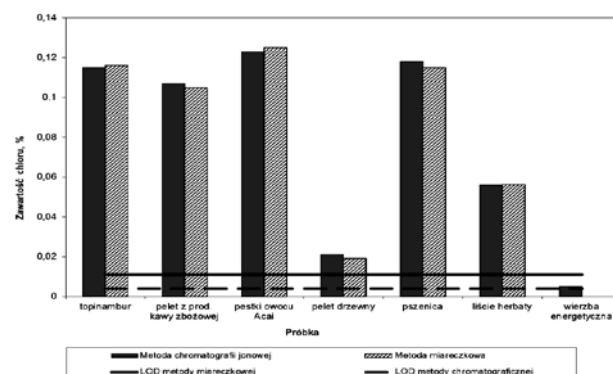
	Metoda chromatograficzna	Metoda miareczkowa
Wyniki	0,015	0,020
	0,014	0,018
	0,015	0,016
	0,015	0,019
	0,015	0,012
	0,015	0,010
	0,014	0,012
	0,015	0,014
Średnia	0,015	0,015
Odchylenie standardowe	0,441*10 ⁻³	0,003
Wartość Z testu	2,85*10 ⁻⁸	1,94*10 ⁻⁶
Wartość C testu	2,713	
Wartość krytyczna	2,365	

W wyniku przeprowadzonych badań oznaczono zawartość chloru w różnego rodzaju próbkach biomas, w tym także biomasę wykorzystywanej do celów energetycznych, za pomocą chromatografii jonowej. Uzyskane wyniki przedstawiono na Rysunku 8.



Rys. 8. Zawartość chloru w różnego rodzaju próbkach biomas

Na Rysunku 9 przedstawiono wyniki oznaczania zawartości chloru w przykładowych próbkach biomas, na poziomie stężeń od 0,005 do 0,123 %wag., uzyskanych za pomocą omawianych metod.



Rys. 9. Zawartość chloru w próbkach biomas

Ze względu na większą czułość metody chromatograficznej w stosunku do metody miareczkowej, możliwe było wyznaczenie tą metodą stężenia chloru w próbce wierzby energetycznej, wynoszącego 0,005 %wag.

Podsumowanie i wnioski

Dostępność nowych, zautomatyzowanych technik analitycznych znacznie ułatwia i usprawnia pracę w laboratorium. Nowoczesne rozwiązania umożliwiają oznaczenie badanego analitu z dużą większą dokładnością. Ponadto ze względu na większą czułość nowoczesnej aparatury możliwe jest oznaczanie stężenia analitu na niskich poziomach stężeń. Zastosowanie metody chromatografii jonowej do oznaczania zawartości chloru w biomasie energetycznej stwarza możliwości wykonywania oznaczeń zawartości chloru w szerokim zakresie stężeń. Oznaczona zawartość tego pierwiastka w próbkach biomasy mieściła się w zakresie od 0,005 %wag. dla wierzby energetycznej do 0,738 %wag. dla łodyg topinambura. Optymalne warunki rozdzielania zapewnia selektywność metody, która pozwala oznaczać jednocześnie kilka pierwiastków obecnych w paliwie.

Powtarzalność metody wynosi 5%, a precyzja pośrednia 6%. Wyznaczona poprawność na różnych poziomach stężeń spełnia kryterium akceptacji tj. 80% – 120%. Granica oznaczalności dla metody chromatografii jonowej wynosi 0,004 %wag. i jest znacznie niższa od granicy oznaczalności dla metody miareczkowej, która wynosi 0,011 %wag.

Przeprowadzone testy statystyczne wykazały różnice pod względem precyzji i dokładności porównywanych metod. Większą dokładność wykazuje metoda chromatografii jonowej. Na podstawie wyliczonej wartości statystyki testu F-Snedecora stwierdzono, że metoda miareczkowa jest mniej precyzyjna w stosunku do metody chromatograficznej. Istotną rolę w wyborze danej metody analitycznej odgrywa granica oznaczalności, koszty pojedynczej analizy oraz czasochłonność i łatwość jej wykonania.

Opisane badania były finansowane z budżetu Zadania Badawczego nr 4 pt. „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych” w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych pt.: „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii” realizowanego ze środków NCBiR i ENERGA S.A.

Literatura

1. Kobayashi N., Fan L-S.: Biomass direct chemical looping process: A perspective. *Biomass and Bioenergy* 2011, 35, 1252–1262.
2. N. Bątarek-Giesia, B. Jagustyn: *Zawartość chloru w biomasie stałej wykorzystywanej do celów energetycznych*. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 2009, 40, 396.
3. Król D., Łach J., Poskrobko S.: *O niektórych problemach związanych z wykorzystaniem biomasy nieleśnej w energetyce*. *Energetyka i Ekologia* 2010.
4. Ściążko M., Zieliński H.: *Termochemiczne przetwórstwo węgla i biomasy*. Wydawnictwo Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla i Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Zabrze-Kraków 2003.
5. Hardy T., Kordylewski W., Mościcki K.: *Zagrożenie korozją chlorkową w wyniku spalania i współspalania biomasy w kotłach*.
6. Peng B., Wu D., Lai J., Xiao H., Li P.: *Simultaneous determination of halogens (F, Cl, Br and I) in coal using pyrohydrolysis combined with ion chromatography*. *Fuel* 2011, 94, 629–631.
7. Landsberger S., Vermette V. G., Wolfe M., Powell M. A.: *Determination of halogens in coal using thermal and epithermal neutron activation analysis*. *J. Coal Qual.* 1989, 8, 95–97.
8. Duo W., Leclerc D.: *Thermodynamic analysis and kinetic modeling of dioxin formation and emissions from power boilers firing salt-laden hog fuel*. *Chemosphere* 2007; 67(9), 164–176.
9. Van Loo S., Koppejan J.: *The handbook of biomass combustion and co-firing*. Earthscan, cop 2008, 41 London.
10. Bettinelli M., Spezia S., Minoia C., Ronchi A.: *Determination of chlorine, fluorine, bromine and iodine in coals with ICP-MS and I.C.*, *Atom. Spectrosc.* 2002, 23, 105–110.

11. Flores E., Mesko M. F., Moraes D. P., Pereira J. S. F., Mello P. A., Barin J. S.: *Determination of halogens in coal after digestion using the microwave-induced combustion technique*. *Anal. Chem.* 2008,80, 1865–1870.
12. Konieczka P., Namieśnik J., i wsp.: *Ocena i Kontrola jakości wyników pomiarów analitycznych*., WNT Warszawa 2007

Mgr inż. Iga KUKLIS – absolwentka Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej (2011). Od grudnia 2011 r. pracownik Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu na stanowisku inżynier. Obszar zainteresowań naukowych to właściwości energetyczne paliw stałych, biomas i odpadów, analiza powierzchni właściwej paliw stałych, porozymetria rtęciowa.

Mgr inż. Justyna TARNOWSKA – absolwentka WCh Politechniki Śląskiej (2004). Pracownik Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu na stanowisku inżynier (od 2008 r.). Główne zainteresowania naukowe to chromatografia gazowa, produkty degradacji amin stosowanych przy absorpcji CO₂.

Mgr inż. Ewa ZAPAŁA – absolwentka WCh Politechniki Rzeszowskiej (2007). Stanowisko inżyniera w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu od 2008 r. Główne obszary zainteresowań naukowych, to zastosowanie chromatografii jonowej w analizie próbek paliw stałych, biomas i odpadów oraz roztworów pochodzących z procesu usuwania CO₂ metodą aminową.

Mgr inż. Grażyna FABJAŃSKA - ŚWIECA – Absolwentka WCh Politechniki Śląskiej (1977). W latach 1977 — 1982 pracownik Polskiej Akademii Nauk, od 1982 r. Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu. Jest kierownikiem Laboratorium Paliw i Węgla Aktywnych w ICHPW od 2006 r. Obszar zainteresowań naukowych, to analiza elementarna paliw.

CHEMIK nauka • technika • rynek

2014

PRENUMERATA

CHEMIK nauka-technika-rynek, to m.in.:

- publikacje naukowo-techniczne, problemowe, przeglądowe
- opinie ludzi nauki i przemysłu – warto wiedzieć, co inni mają do powiedzenia
- rzetelne źródło informacji o firmach, inwestycjach, konferencjach, targach naukowo-technicznych

www.miesiecznikchemik.pl/prenumerata