

# Zastosowanie chitozanu oraz jego modyfikowanych pochodnych do usuwania śladowych ilości metali ciężkich ze ścieków przemysłowych

Piotr RADOMSKI\* – Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska, Kraków; Marek PIĄTKOWSKI, Dariusz BOGDAŁ – Katedra Biotechnologii i Chemii Fizycznej, Politechnika Krakowska, Kraków; Andrzej JAROSIŃSKI – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków

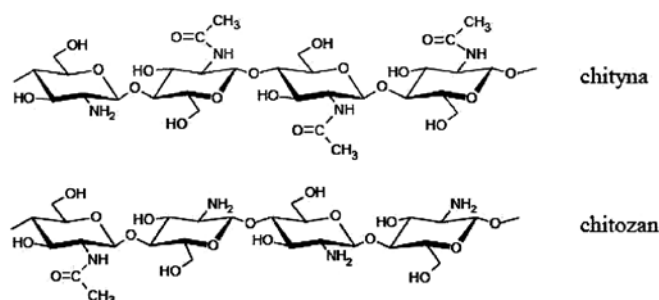
Prosimy cytować jako: CHEMIK 2014, 68, 1, 39–46

## Wstęp

W ostatnich latach znacząco wzrasta dbałość o środowisko naturalne. Jest to związane zarówno z nakazami prawnymi, jak i eliminacją zagrożeń powodujących bezpośrednie narażenie zdrowia ludzkiego. Metale ciężkie mogą się kumulować w organizmach żywych powodując trwałe uszkodzenia komórek i zaburzenia prowadzące do chorób, a nawet śmierci [1]. Wciąż poszukuje się skutecznych sposobów usuwania metali ciężkich ze ścieków w tych zakładach, w których ich obecność jest niekorzystna, a zawartość na tyle mała, że ekstrakcja jest zbyt kosztowna. Odzysk metali ciężkich (wśród nich metali szlachetnych) wpływa nie tylko na koszty produkcji, ale też chroni środowisko naturalne przed niekorzystnym oddziaływaniem niektórych z nich; poszukuje się technik ich usuwania oraz ponownego wykorzystania [2,3]. Zróżnicowany skład ścieków przemysłowych wymaga różnorodnych metod oczyszczania. Jony metali ciężkich usuwa się najczęściej poprzez wytracanie ich trudno rozpuszczalnych związków, najczęściej wodorotlenków, siarczków, siarczanów oraz węglanów [4, 5]. Oprócz wspomnianych szeroko stosowane są metody jonowymiennie oraz sorpcyjne. Oczyszczanie ścieków z zastosowaniem złoża z żywicą jonowymienną pozwala na skuteczne usunięcie wybranych jonów metali ciężkich, nawet przy ich małym stężeniu w ścieku.

Sorpcja jako metoda usuwania zanieczyszczeń z wody i ścieków oraz odzysku cennych metali, jest przedmiotem licznych badań [6]. Ponadto poszukiwane są substancje do statycznej sorpcji jonów metali ciężkich, np. czynników neutralizujących wycieki aparaturowe lub sorbenty niezbędne przy oczyszczaniu skażonych wód gruntowych. Korzystne jest, aby substancje te reagowały z jonami metali niebezpiecznych, a jednocześnie nie wiązały jonów metali alkaicznych, niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmów żywych. Taki związek musi również wykazywać całkowitą obojętność biologiczną, a ewentualna degradacja nie może prowadzić do powstania związków toksycznych. Substancjami spełniającymi te warunki są m.in. chitozan i jego modyfikowane pochodne – hydrozele chitozanowe [7].

Spośród tego typu pochodnych na szczególną uwagę zasługuje kopolimer chitozan/kwas asparaginowy sieciowany glikolem etylenowym, otrzymany w polu promieniowania mikrofalowego. Kopolimer ten w środowisku wodnym wykazuje właściwości hydrożelu oraz bioaktywność i biodegradowalność [8÷10]. Sam chitozan, to z chemicznego punktu widzenia kopolimer 2-acetamido-2-deoksy-β-D-glukopiranozy oraz 2-amino-2-deoksy-β-D-glukopiranozy, jest produktem deacetylacji chityny – naturalnej substancji występującej w szkieletach stawonogów – i wykazuje właściwości sorpcyjne w stosunku do jonów metali, cholesterolu i białek. Właściwości te wynikają z obecności reaktywnych grup aminowych oraz wodorotlenowych w makrocząsteczce chitozanu [11]. Na Rysunku 1 przedstawiono ogólną strukturę chityny i chitozanu.



Rys. 1. Ogólna struktura chityny i chitozanu [10]

Różnica między chityną i chitozanem leży w stopniu deacetylacji, zwykle definiowanym jako stosunek liczby grup glukozaminowych do całkowitej liczby grup N-acetyloglukozaminowych i glukozaminowych. Ten wskaźnik jest najważniejszym dla chitozanu i chityny parametrem opisowym. Jakość i właściwości produktów chitozanowych, takie jak czystość, lepkość, masa cząsteczkowa, struktura polimorficzna i stopień deacetylacji mogą się znacznie różnić ze względu na wiele czynników występujących w procesie produkcyjnym, a przez to wpływających na charakter finalnego produktu.

## Część doświadczalna

W celu modyfikacji chitozanu i otrzymania hydrożelu o właściwościach polikationowych, biopolimer poddano kopolimeryzacji z kwasem asparaginowym (KA) w środowisku glikolu etylenowego, który spełniał rolę wysokowrzącego rozpuszczalnika oraz czynnika sieciującego. Najwyższą wydajność reakcji uzyskują się przy stosunku molowym chitozan:kwas asparaginowy = 1:2. W tym celu w kolbie o pojemności 100 cm<sup>3</sup> umieszczono 0,50 g chitozanu, 0,82 g kwasu asparaginowego, 25 cm<sup>3</sup> wody oraz 10 cm<sup>3</sup> glikolu etylenowego. Homogeniczny roztwór umieszczono w reaktorze i poddano kopolimeryzacji według ustalonego programu. Po reakcji otrzymany produkt zalano 80 cm<sup>3</sup> metanolu i pozostawiono na 24 godziny, po czym sączono oraz przemywano kilkoma porcjami metanolu i suszono w temperaturze otoczenia. Proces prowadzono w reaktorze mikrofalowym Milestone START Lestation, który umożliwia podział procesu na następujące po sobie cykle o ściśle zaprogramowanych parametrach, jak: czas, temperatura i moc promieniowania mikrofalowego [10].

Chitozan oraz otrzymany kopolimer chitozan/kwas asparaginowy poddano procesowi statycznej sorpcji w ciągu 12 i 168 godzin. We wszystkich próbach zastosowano 1 g czynnika sorpcyjnego umieszczonego w 100 cm<sup>3</sup> roztworu zawierającego osobno jony Fe<sup>2+/3+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup> i Pb<sup>2+</sup>. Sorpcja prowadzona była w sposób statyczny w temperaturze otoczenia, w pojemnikach szczelnie zamykanych. Czynniki sorpcyjne były umieszczone w specjalnych torebkach dla ułatwienia pobierania roztworu do analizy. Z prób, w których sorpcja prowadzona była przez 12 godzin, co 1 godzinę pobierano roztwór do analizy na zawartość danego pierwiastka, zaś z serii, gdzie proces przebiegał w ciągu 168 godzin, próbkę pobierano co 24 go-

Autor do korespondencji:  
Dr inż. Piotr RADOMSKI, e-mail: prad@chemia.pk.edu.pl

dziny. Wszystkie analizy stężenia wykonano dwukrotnie, a dla każdej próbki przygotowano dwie ślepe próby. Pierwsza ślepa próba obejmowała pojemnik napełniony tylko roztworem zawierającym dany jon metalu; proces prowadzono przez 168 godzin, z tym że w ciągu pierwszych 12 godzin pobierano próbkę do analizy co godzinę, a następnie co 24 godziny. Druga ślepa próba polegała na tym, iż w pojemniku znajdowała się pusta torebka i roztwór zawierający jony danego metalu. Analityczną kontrolę stężenia wykonywano tak jak przy pierwszej ślepej próbce. Wykonanie tych analiz miało na celu ewentualną korektę otrzymanych wyników oraz sprawdzenie, czy materiały polimerowe, z których są wykonane pojemniki oraz torebki na czynnik sorpcyjny, nie wpływają na stężenie jonów metali ciężkich w analizowanych roztworach. Do analizy zawsze pobierano po 1 cm<sup>3</sup> roztworu, dla określenia zawartości poszczególnego metalu. Każdorazowo przed pobraniem próbki do analizy, roztwór w pojemniku był mieszany. Zmiany stężenia jonów metali ciężkich w roztworze dokonywano z zastosowaniem techniki kolorymetrycznej z wykorzystaniem aparatu Spekol II Carl Zeiss Jena.

### Otrzymane wyniki

W Tabelcy 1 i 2 przedstawiono stężenie roztworów po zakończeniu procesu sorpcji, tj. odpowiednio po 12 godzinach oraz 168 godzinach. Zaprezentowano także stopień usunięcia wybranego metalu po upływie 12 i 168 godzin.

Tabelca 1

#### Stężenie jonów metali oraz stopień ich usunięcia po 12 h sorpcji

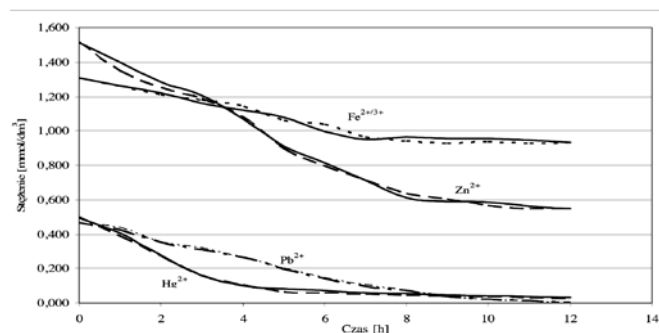
Jon metalu / próba		Zawartość poszczególnego metalu, mmol/dm <sup>3</sup>				Stopień usunięcia metalu (wartość średnia), %	
		Przed sorpcją		Po 12 h			
		Chitozan	chitozan/KA	Chitozan	chitozan/KA	Chitozan	chitozan/KA
Fe <sup>2+/3+</sup>	1	1,305	1,307	0,932	0,950	28,7	27,1
	2	1,305	1,305	0,930	0,957		
Zn <sup>2+</sup>	1	1,514	1,514	0,547	1,205	63,7	20,9
	2	1,514	1,518	0,550	1,188		
Hg <sup>2+</sup>	1	0,491	0,477	0,031	0,129	94,0	76,5
	2	0,497	0,497	0,031	0,102		
Pb <sup>2+</sup>	1	0,465	0,468	6,8·10 <sup>-3</sup>	0,079	99,2	82,5
	2	0,462	0,470	1,44·10 <sup>-3</sup>	0,085		

Tabelca 2

#### Stężenie jonów metalu oraz stopień usunięcia po 168 h sorpcji

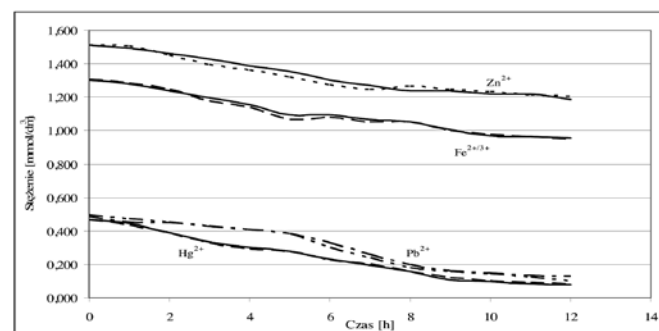
Jon metalu / próba		Zawartość poszczególnego metalu, mmol/dm <sup>3</sup>				Stopień usunięcia metalu (wartość średnia), %	
		Przed sorpcją		Po 168 h			
		Chitozan	chitozan/KA	Chitozan	chitozan/KA	Chitozan	chitozan/KA
Fe <sup>2+/3+</sup>	1	1,307	1,309	0,718	0,930	45,8	29,7
	2	1,307	73,100	0,700	0,911		
Zn <sup>2+</sup>	1	1,514	1,514	0,335	1,008	81,0	35,1
	2	1,515	1,514	0,286	0,996		
Hg <sup>2+</sup>	1	0,491	0,477	-	-	99,9	99,9
	2	0,497	0,497	-	-		
Pb <sup>2+</sup>	1	0,467	0,465	-	-	99,9	99,9
	2	0,465	0,467	-	-		

Po 7 dniach (168 godzinach), w przypadku jonów rtęci i ołowiu nastąpiło ich praktycznie całkowite usunięcie z roztworu (ich zawartość w roztworze znajdowała się poniżej granicy oznaczalności dla zastosowanej metody – 0,2 ppm). Ponadto dla chitozanu otrzymano zadowalający stopień usunięcia jonów cynku z roztworu także po 7 dniach. Jednak w przypadku rtęci oraz ołowiu, znaczący ich ubytek z roztworu następuje już po pierwszych 12 godzinach procesu (Tab. 1).



Rys. 2. Zmiana stężenia metalu podczas 12-godzinnej sorpcji – czynnik sorpcyjny: niemodyfikowany chitozan

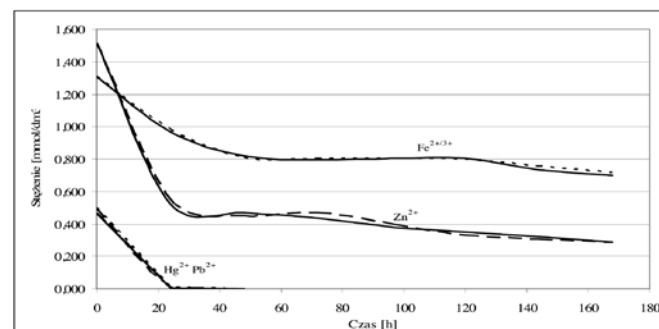
W przypadku jonów rtęci największy ich ubytek następuje już po pierwszych 6 godzinach i wynosi prawie 85% względem zawartości początkowej. Zadowalające rezultaty osiągnięto także dla ołowiu po 12 godzinach – stopień usunięcia ponad 95%.



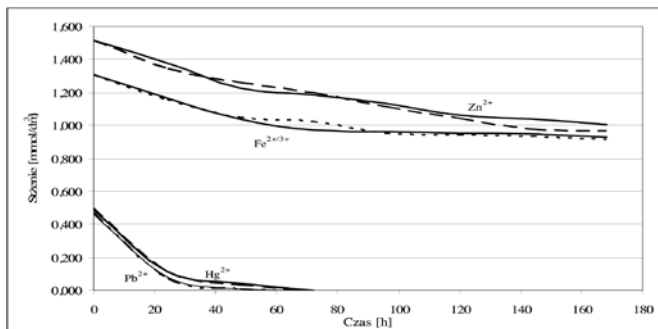
Rys. 3. Zmiana stężenia metalu podczas 12-godzinnej sorpcji – czynnik sorpcyjny: kopolimer chitozan/kwas asparaginowy

Zastosowanie kopolimeru chitozan/kwas asparaginowy sieciowanego glikolem etylenowym zmodyfikowało przebieg procesów sorpcyjnych w porównaniu do czystego chitozanu. Stopień usunięcia ołowiu oraz rtęci wahał się w granicy 80%, zaś stopień eliminacji jonów cynku i żelaza z roztworu był nieznaczny w porównaniu z niemodyfikowanym chitozaniem.

Na Rysunkach 4 i 5 przedstawiono zmianę zawartości jonów metalu w przypadku, gdy procesy sorpcyjne były prowadzone przez 168 godzin.



Rys. 4. Zmiana stężenia metalu podczas 7-dniowej sorpcji – czynnik sorpcyjny: niemodyfikowany chitozan



Rys. 5. Zmiana stężenia metalu podczas 7-dniowej sorpcji – czynnik sorpcyjny: kopolimer chitozan/kwas asparaginowy

Przy zastosowaniu hydrożelu chitozanowego czas sorpcji jonów rtęci oraz ołowiu wydłużył się praktycznie o 12 godzin względem sorpcji prowadzonej w identycznych warunkach z użyciem niemodyfikowanego sorbentu. W przypadku żelaza oraz cynku osiągnięto gorsze rezultaty niż przy czystym chitozanie. Jednak cały proces sorpcji przebiegał łagodnie, tak jak podczas badań 12-godzinnych.

Ślepe próby wykazały, że zastosowane materiały pojemników i torebek nie powodowały zmiany stężenia jonów metali w roztworach (Tab. 3).

Tablica 3

Wyniki analizy stężenia jonów metali w ślepych próbach po 12 i 168 godzinach

Ślepa próba	Zawartość poszczególnego metalu w roztworze, mmol/dm <sup>3</sup>			
	Fe <sup>2+/3+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>
1 (pojemnik) 12h	1,305	1,515	0,493	0,465
2 (pojemnik i torebka) 12h	1,305	1,514	0,494	0,466
1 (pojemnik) 168 h	1,306	1,515	0,492	0,465
2 (pojemnik i torebka) 168 h	1,305	1,512	0,494	0,462

Tablica 4

Wzrost ilości zaadsorbowanego metalu [mg] na czystym chitozanie [g] w ciągu 12 godzin

Czas sorpcji, h	Zdolność sorpcyjna, mg/g			
	Fe <sup>2+/3+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>
1	0,24	0,92	0,66	1,95
2	0,51	1,61	2,31	4,34
3	0,77	2,08	3,08	6,68
4	0,99	2,87	4,13	7,85
5	1,32	4,00	5,50	8,44
6	1,63	4,65	6,63	8,58
7	1,95	5,24	7,54	8,80
8	1,98	5,81	8,09	8,90
9	2,04	6,00	8,83	9,01
10	2,01	6,13	9,18	9,12
11	2,07	6,27	9,36	9,23
12	2,10	6,31	9,54	9,34

Na podstawie otrzymanych wyników określono zdolności sorpcyjne chitozanu oraz jego modyfikowanej pochodnej. Przedstawiono ilość zaadsorbowanego metalu odpowiednio dla chitozanu (Tab. 4) i jego kopolimeru (Tab. 5) w trakcie prowadzenia ekspery-

mentu przez 12 godzin. Otrzymane wartości są średnimi z dwóch równoległych pomiarów i są przedstawione w postaci miligramów zaadsorbowanego metalu na gram czynnika sorpcyjnego [mg/g].

Tablica 5

Wzrost ilości zaadsorbowanego metalu [mg] na hydrożelu chitozanowym [g] w ciągu 12 godzin

Czas sorpcji, h	Zdolność sorpcyjna, mg/g			
	Fe <sup>2+/3+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>
1	0,14	0,08	0,58	0,54
2	0,35	0,37	1,65	0,82
3	0,67	0,67	2,83	1,25
4	0,89	0,91	3,58	1,63
5	1,26	1,15	3,99	2,18
6	1,23	1,47	4,98	3,54
7	1,39	1,66	5,61	4,84
8	1,43	1,71	6,44	6,04
9	1,71	1,77	7,38	6,69
10	1,86	1,88	7,67	6,91
11	1,92	1,95	7,91	7,29
12	1,98	2,08	8,02	7,56

W wyniku częściowej blokady grup funkcyjnych, przez kopolimeryzację chitozanu z kwasem asparaginowym w środowisku glikolu etylowego, zmniejsza się zdolność sorpcyjna otrzymanego sorbentu względem jego niemodyfikowanego składnika – chitozanu. Przedstawiono wyniki procesów sorpcyjnych prowadzonych przez 168 godzin (Tab. 6 i 7).

Tablica 6

Wzrost ilości zaadsorbowanego metalu [mg] na czystym chitozanie [g] w ciągu 168 godzin

Czas sorpcji, h	Zdolność sorpcyjna, mg/g			
	Fe <sup>2+/3+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>
24	1,87	6,40	9,76	9,75
48	2,76	6,90	9,95	9,95
72	2,84	6,85	-	-
96	2,82	7,23	-	-
120	2,83	7,68	-	-
144	3,14	7,85	-	-
168	3,35	8,02	-	-

Tablica 7

Wzrost ilości zaadsorbowanego metalu [mg] na hydrożelu chitozanowym [g] w ciągu 168 godzin

Czas sorpcji, h	Zdolność sorpcyjna, mg/g			
	Fe <sup>2+/3+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>
24	0,82	1,00	7,59	7,59
48	1,48	1,77	9,11	9,11
72	1,74	2,12	9,89	9,89
96	1,96	2,55	-	-
120	2,01	3,03	-	-
144	2,06	3,31	-	-
168	2,17	3,45	-	-

Kopolimer chitozan/kwas asparaginowy osiąga zdolność sorpcyjną porównywalną do chitozanu dopiero 24 godziny później. W przypadku żelaza i ołowiu, ilość zaadsorbowanych jonów jest mniejsza niż kiedy użyty był czysty chitozan.

### Wnioski

Zastosowanie chitozanu oraz jego modyfikowanej pochodnej w postaci kopolimeru chitozan/kwas asparaginowy sieciowanego glikolem etylenowym daje dobre rezultaty w usuwaniu jonów metali ciężkich, takich jak rtęć oraz ołów. Uzyskane wyniki wskazują, że w przypadku jonów  $Hg^{2+}$  oraz  $Pb^{2+}$  następuje ich praktycznie całkowite usunięcie z oczyszczanego roztworu. W pierwszych 12 godzinach sorpcji osiągnięto już ponad 90% stopień usunięcia tych metali, zarówno przy zastosowaniu niemodyfikowanego chitozanu jako czynnika sorpcyjnego, jak i hydrożelu. W przypadku jonów  $Fe^{2+/3+}$  i  $Zn^{2+}$  osiągnięto mniejsze stopnie usunięcia rzędu 30% i 60% przy użyciu czystego chitozanu oraz 27% i 20% dla kopolimeru chitozan/kwas asparaginowy w czasie 12 godzin sorpcji. W przypadku 7-dniowej sorpcji, po trzech dniach zawartość jonów rtęci i ołowiu w roztworze była poniżej granicy oznaczalności przyjętej metody analitycznej, tj. 0,2 ppm. Dla zastosowanych czynników sorpcyjnych, na podstawie zmian stężeń w roztworach, obliczono zdolności sorpcyjne. W przypadku jonów rtęci i ołowiu, niezależnie od zastosowanego sorbentu, osiągnięto zdolność sorpcyjną rzędu 10 mg jonów metalu na 1 g czynnika po 48 godzinach dla chitozanu oraz 72 godzinach dla hydrożelu. W ten sposób poprzez modyfikację chitozanu można wpływać na szybkość sorpcji, a zarazem zdolność sorpcyjną stosowanego sorbentu. Ponadto chitozan jest rozpuszczalny już w słabo kwaśnym środowisku wodnym ( $pH < 6,3$ ) dając bardzo lepki roztwór, co może powodować powstawanie zatorów w instalacjach pracujących przy oczyszczaniu roztworów ze śladowych ilości jonów metali ciężkich. Sieciowanie chitozanu z wykorzystaniem kwasu asparaginowego i glikolu etylenowego w reakcji kopolimeryzacji eliminuje ten problem, gdyż otrzymany produkt nie jest rozpuszczalny w żadnym rozpuszczalniku.

Statyczne prowadzenie sorpcji miało na celu określenie przydatności wymienionych czynników do usuwania śladowych ilości jonów metali ciężkich z roztworów, gdzie nie ma możliwości zastosowania technik dynamicznych, np. przy eliminacji skażeń miejscowych. Zastosowane czynniki sorpcyjne są całkowicie biodegradowalne i otrzymywane na bazie odnawialnych surowców, co jest zgodne z zasadami tzw. zielonej chemii. Opracowanie ekologicznych materiałów sorpcyjnych do likwidacji skażeń, bądź wycieków aparaturowych, jest obecnie koniecznością. Z przedstawionych rezultatów badań wynika, że do usuwania śladowych, ale niebezpiecznych jonów metali ciężkich, z powodzeniem można zastosować chitozan oraz jego kopolimer z kwasem asparaginowym.

### Literatura

1. Gala A., Sanak-Rytlewska S.: *The use of organic waste for removing  $Pb^{2+}$  ions from aqueous solution*. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 2009, **25**, 2, 47–59.
2. Radomski P., Piątkowski M., Jaroński A.: *Zastosowanie chitozanu oraz jego modyfikowanych pochodnych do usuwania śladowych ilości metali ciężkich ze ścieków przemysłowych*. *Materiały zjazdowe 54 PTChem*, Lublin, 2011, 92.
3. Jaroński A., Madejska L., Natanek W.: *Dobór warunków eliminacji metali ciężkich ze ścieków pogalwanicznych*. *Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej*, 200, **245**, 99–103.
4. Grabas K.: *Usuwanie jonów metali ciężkich ze ścieków przemysłowych i wód nadsadowych ze stawu „Kowary” (powiat jeleniogórski)*. *Ochrona Środowiska* 2009, **31**, 2, 49–54.
5. Bartkiewicz B.: *Oczyszczanie ścieków przemysłowych*. PWN, Warszawa, 2002.
6. Lach J., Okoniewska E., Ociepa E.: *Wpływ jonów metali ciężkich na adsorpcję Cr (VI) z roztworów wodnych na węglach aktywnych wg-12 i f-300*. *Nauka Przyroda Technika* 2011, **5**, 4, 2011.

7. Piątkowski M., Bogdał D., Radomski P., Jaroński A.: *Chitosan-based hydrogel for industrial waste treatment*. *Technical Transactions* 2011, **8**, 127–134.
8. Piątkowski M.: *Chemiczna modyfikacja chitozanu w polu promieniowania mikrofalowego*. *Czasopismo techniczne* 2008, **13**, 101–113.
9. Mucha M.: *Chitozan – wszechstronny polimer ze źródeł odnawialnych*. WNT, Warszawa, 2010.
10. Piątkowski M., Bogdał D., Radomski P., Jaroński A.: *Wykorzystanie chemicznie modyfikowanego chitozanu w sorpcji jonów metali*. *Czasopismo techniczne* 2010, **10**, 257–266.
11. Struszczyk M.H.: *Chitin and chitosan, part I. Properties and production*. *Poli-mery* 2002, **47**, 5, 316–323.

\* Dr inż. Piotr RADOMSKI ukończył studia na Wydziale Inżynierii i Technologii Chemicznej Politechniki Krakowskiej (2008). Jest asystentem w Katedrze Technologii Nieorganicznej i Biotechnologii Środowiska Politechniki Krakowskiej.

e-mail: prad@chemia.pk.edu.pl, tel. 12 628 27 08

Dr inż. Marek PIĄTKOWSKI ukończył studia na Wydziale Inżynierii i Technologii Chemicznej Politechniki Krakowskiej (2007). Jest asystentem w Katedrze Biotechnologii i Materiałów Odnawialnych Politechniki Krakowskiej.

Prof. dr hab. inż. Dariusz BOGDAŁ ukończył studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Krakowskiej (1985). Przez wiele lat pracował w Katedrze Chemii i Technologii Tworzyw Sztucznych, a obecnie jest Kierownikiem Katedry Biotechnologii i Materiałów Odnawialnych Politechniki Krakowskiej.

Dr hab. inż. Andrzej JAROSIŃSKI ukończył studia na Wydziale Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (1969). Od 1972 r. pracuje w Instytucie Chemii i Technologii Nieorganicznej Politechniki Krakowskiej.

# 2014 PRENUMERATA

## CHEMIK nauka • technika • rynek

Miesięcznik CHEMIK nauka • technika • rynek to źródło rzetelnych i fachowych informacji dla naukowców, inżynierów i kadry zarządzającej w przemyśle chemicznym. Jest uznanym od 68 lat łącznikiem nauki z przemysłem i biznesem.

### 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](http://www.miesiecznikchemik.pl/prenumerata)

