

Wykorzystanie oksywodorotlenku cyrkonu do usuwania anionów z ciekłych odpadów technologicznych

Barbara SOŁTYSIK*, Jolanta MIŚKIEWICZ, Mariola BODZEK-KOCHEL, Joanna GLUZIŃSKA, Marzena PYSZ – Instytut Nowych Syntez Chemicznych, Oddział Chemii Nieorganicznej „ICHN” w Gliwicach

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2016, 70, 10, 644–649

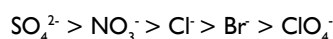
Wstęp

Wymagania ochrony środowiska wymuszają wdrażanie tzw. czystych technologii (*clean technology*), których głównymi wyznacznikami są: zrównoważone wykorzystanie surowców, poprawa efektywności energetycznej czy działania w zakresie szeroko rozumianej ochrony środowiska. Duże znaczenie w tego typu technologiach odgrywają związki cyrkonu, m.in. ditlenek oraz oksywodorotlenek cyrkonu. Charakter fizykochemiczny tych związków decyduje o tym, że stosowane są głównie w katalizie i wymianie jonowej. Posiadają one właściwości amfoteryczne, są praktycznie nierozpuszczalne w wodzie, ich oszacowany iloczyn rozpuszczalności wynosi $1 \cdot 10^{-54}$ [1]. Dobrze rozpuszczają się w mocnych kwasach mineralnych oraz bardzo stężonych alkaliach. Ponadto posiadają specyficzne właściwości powierzchniowe i strukturalne [2].

Związki cyrkonu znajdują obecnie znaczące miejsce w wielu dziedzinach przemysłu. Wynika to z ich właściwości mechanicznych oraz chemicznych, w tym z braku lub niskiej toksyczności, w porównaniu ze związkami, które zostały przez nie zastąpione [3, 4, 1, 5÷22].

Wykorzystanie właściwości jonowymiennych oksywodorotlenku cyrkonu

Wg informacji literaturowych, właściwościami jonowymiennymi charakteryzują się nierozpuszczalne, uwodnione tlenki metali wielowartościowych, wśród nich Zr(IV). Należą one do grupy syntetycznych wymienniczy nieorganicznych o dużej skuteczności i selektywności. Właściwości jonowymiennie oksywodorotlenku cyrkonu zależą od warunków prowadzenia procesu otrzymywania (pH, temperatura wytrącenia, stężenie i rodzaj związku wyjściowego). Używając podczas syntezy nadmiaru mocnej zasady (np. NaOH) i stosując wysokie, końcowe pH roztworu strąca się związek hydroksylowy o charakterze kationitu. Natomiast w procesie strącania roztworów chlorków lub azotanów cyrkonu amoniakiem, przy pH=9, uzyskuje się materiał o dobrych właściwościach anionowymiennych. Powinowactwo jonowymiennie oksywodorotlenku cyrkonu wobec anionu maleje w szeregu:



Proces usuwania jonów siarczanowych z solanek można prowadzić drogą wymiany jonowej, za pomocą wymienniczy jonowego zawierającego oksywodorotlenek cyrkonu, z centrami aktywnymi, zdolnymi do wymiany grupy OH⁻ na jony SO₄²⁻. W kolumnie jonitowej stosowane mogą być zarówno kationity, jak i anionity cyrkonowe, po uprzednim naniesieniu związku cyrkonowego na matrycę z żywicy syntetycznej lub na nośnik nieorganiczny.

Japońska firma Kaneka Corporation jako pierwsza zastosowała anionit cyrkonowy w procesie usuwania jonów siarczanowych

z przemysłowych solanek [2]. Proces przebiega w systemie dwóch reaktorów i dwóch próżniowych filtrów obrotowych. Przedstawiona metoda jest bardziej ekonomiczna od wcześniej stosowanej, barowej. Umożliwia wyeliminowanie stosowanych dotychczas metod usuwania niepożądanych składników (np. strącanie siarczanów w postaci siarczanu baru kierowanego na składowisko odpadów).

W amerykańskim patencie [23] przedstawiono sposób usuwania anionów z solanek przy zastosowaniu uwodnionego tlenku cyrkonu, naniesionego na granulowany węgiel aktywny lub węgiel aktywny nasycyony organicznymi żywicami. Adsorbent o preferowanej średnicy cząstek 0,5–5 mm, charakteryzuje się dużą wydajnością jonowymienną i wysoką wytrzymałością mechaniczną, co pozwala na stosowanie tego materiału zarówno w procesach adsorpcji prowadzonych w sposób ciągły w kolumnach, jak i adsorberach zbiornikowych z mieszadłami.

Jony siarczanowe usuwane są drogą adsorpcji przez uwodniony tlenek cyrkonu o ogólnym wzorze Zr(OH)₄·nH₂O (n w zakresie 4–200) [24]. Desorpcję jonów i regenerację adsorbentu prowadzi się, wykorzystując alkalia takie, jak: roztwory węglanów, wodorowęglanów ziem alkalicznych lub wodorotlenków metali alkalicznych. Temperatury graniczne i czas trwania procesu desorpcji są takie same, jak dla adsorpcji. W przedstawionym sposobie usuwania siarczanów z solanek przewidziano całkowitą lub częściową cyrkulację, wielokrotnie regenerowanego, niesuszonego adsorbentu.

Zjawisko wymiany jonowej wykorzystano do opracowania wynalazku dotyczącego odzysku siarczanów z wody morskiej lub innej solanki, z zastosowaniem adsorbentu cyrkonowego o amorficznej, spolimeryzowanej strukturze, naniesionego na nośnik organiczny [25]. Zastosowanie adsorbentu umożliwia usuwanie nie tylko siarczanów, ale i boranów, wodorowęglanów, fosforanów oraz fluorków. W innym rozwiązaniu tych samych autorów [26] przedstawiono sposób usuwania siarczanów z solanek przy zastosowaniu wymienniczy jonowego osadzonego na syntetycznej żywicy. Proces prowadzi się w sposób ciągły (pH roztworów w zakresie 2–3, temp. 40–60°C lub wyższej 100–120°C). Wydajność kolumny jest silnie zależna od temperatury.

Oczyszczanie solanek z jonów siarczanowych i boranowych możliwe jest także dzięki produktowi firmy Dow Chemical Company, o nazwie MSC-1, gdzie oksywodorotlenek cyrkonu osadzony jest na węglu aktywnym [27]. Zarówno proces adsorpcji jak i desorpcji zachodzi w temp. 65°C w kolumnie, gdzie przez złożone jonitu przepuszczany jest roztwór o pH=2. Zaadsorbowane siarczany i borany usuwane są przez przemywanie określoną ilością wody, wodorotlenku sodu, a następnie kwasu solnego, w wyniku czego zregenerowany jonit cyrkonowy jest zdolny do dalszej pracy.

W japońskim patencie [28] przedstawiono metodę oczyszczania solanek z jonów siarczanowych, przy zastosowaniu uwodnionego tlenku cyrkonu. W pierwszym etapie następuje adsorpcja siarczanów z solanki, zanieczyszczonej alkaliem, na jonicie cyrkonowo-żywicowym. Wartość pH procesu desorpcji jonów jest wyższa od pH etapu adsorpcji.

*Autor do korespondencji:

Mgr inż. Barbara SOŁTYSIK, e-mail: barbara.soltysik@ichn.gliwice.pl

W innym patencie [29] przedstawiono sposób oczyszczania wodnych roztworów chlorków metali alkalicznych z jonów siarczanowych, przy zastosowaniu adsorbenta cyrkonowego o średnicy cząstek 1–20 μm . Preferowane warunki etapu adsorpcji to: $\text{pH}=3\text{--}6$, a temperatura nie niższa niż 50°C . Desorpcję jonów prowadzono w takiej samej temperaturze, przy $\text{pH}=9$, dla osiągnięcia którego stosować można wodny roztwór amoniaku, wodorotlenki metali alkalicznych, wodorotlenek tetra-alkilo-amoniowy itp.

Siarczany z zanieczyszczonej solanki można usuwać także, wykorzystując jonit – oksywodorotlenek cyrkonu, naniesiony na materiał kompatybilny z roztworem solanki [30]. Wymiana jonowa zachodzi w kolumnie wypełnionej jonitem o średnicy cząstek nie mniejszej niż 30 μm (preferowana średnica $>50\ \mu\text{m}$). Wg autorów, 1 mol oksywodorotlenku cyrkonu, o wzorze $\text{ZrO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (gdzie $n=0,3\text{--}7$), adsorbuje 1 mol jonów siarczanowych.

Mezoporowaty adsorbent jonowymienny można zastosować do usuwania jonów arsenu(V), fluorkowych i fosforanowych [31]. Uzyskuje się go metodą nanoszenia na porowaty jonit poliakrylowo-styrenowy azotanu lub chlorku cyrkonu z roztworu alkoholowego. Następnie poprzez odparowanie alkoholu i kontakt porowatego materiału pokrytego związkami cyrkonu z roztworem zasady, następuje przejście soli cyrkonu w oksywodorotlenek, stanowiący fazę aktywną jonitu.

Fosforany(V) mogą być selektywnie adsorbowane z wody morskiej lub ścieków z wykorzystaniem jako adsorbentu amorficznego oksywodorotlenku cyrkonu $\text{ZrO}(\text{OH})_2 \cdot (\text{NaO})_{0,05} \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$ [21]. Z przeprowadzonych badań wynika, że adsorpcja fosforanów(V) wzrasta wraz ze wzrostem pH roztworu do wartości 6, po czym zaczyna się gwałtownie obniżać. W przypadku zastosowanego adsorbentu obserwowano znacznie większą skłonność adsorbowania fosforanów(V) w porównaniu z innymi adsorbentami, bazującymi na podwójnych wodorotlenkach warstwowych. Efektywną desorpcję zaadsorbowanych fosforanów przeprowadzić można, wykorzystując 0,1 M roztwór NaOH .

W sorpcji fosforanów(V) na uwagę zasługuje cyrkon mezostrukturalny syntezowany z uwodnionego siarczanu cyrkonu z wykorzystaniem jako matrycy, środka powierzchniowo czynnego (bromek heksadecylotrimetyloamonowy) [32]. Charakteryzuje się on wielkością porów 2–50 nm, dużą powierzchnią właściwą ($>1000\ \text{m}^2\ \text{g}^{-1}$) oraz 2–3 razy większą zdolnością sorpcji fosforanów w porównaniu z komercyjnymi żywicami anionowymiennymi.

W patencie amerykańskim [33] przedstawiono metodę otrzymywania i zastosowania kompleksu cyrkonowego o wzorze $\text{Zr}(\text{OH})_4 \cdot \text{A} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ lub $\text{ZrO}_2 \cdot \text{A} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (gdzie A stanowi anion, np. arsenu, chromu, selenu, fluoru, boranu, nadchloranu, $n=1\text{--}10000$) do usuwania cyjanków z mediów przemysłowych. Adsorpcję prowadzi się w $\text{pH}=7,5\text{--}11$. Jej wydajność wynosi powyżej 80%. Do desorpcji stosuje się NaOH , roztwór o stężeniu 1%. Regeneracja jonitu cyrkonowego możliwa jest poprzez użycie kwasu chlorowodorowego ($\text{pH}=3$) oraz płukanie lekko zakwaszoną wodą.

W kolejnym patencie [34] przedstawiono metodę anionowego oczyszczania wód gruntowych z jonów arsenu, żelaza lub nadchloranów. Prezentowany wynalazek, w sposób ekonomiczny, umożliwia uzdatnianie wody pitnej, przy wykorzystaniu węgla aktywnego, pokrytego wodorotlenkiem metali ziem rzadkich, m.in. cyrkonu, o powierzchni właściwej 850 m^2/g . Możliwości adsorpcyjne zależą od warunków, w których węgiel jest poddawany aktywacji, np. kwasem siarkowym, azotowym lub ich mieszaniną, w temperaturze powyżej 100°C i czasie 24 h.

Metodę otrzymywania jonitu cyrkonowego, stosowanego w celu oczyszczania wody morskiej, opisano w kolejnym patencie amerykańskim [35]. Porowata, nieorganiczna baza taka, jak węgiel aktywny, silikon czy tlenek glinu, pokryta jest substancją aktywną – oksywodorotlenkiem cyrkonu, tytanu itp. Utworzony, amfoteryczny jonit, w zależności od warunków prowadzenia procesu, umożliwia wymianę anionów lub kationów.

Oksywodorotlenek cyrkonu domieszkowany tlenkami żelaza Fe(III) i Fe(II), o wzorze cząsteczkowym $\text{ZrO}(\text{OH})_2 \cdot 1,6\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$, można wykorzystać do usuwania arsenianów(V), które zostają zredukowane do arsenianów(III) [36]. Sorbent ma powierzchnię właściwą równą 151 m^2/g . Charakteryzuje się niewielką przeciętną średnicą porów (543,7 nm). Równowaga sorpcji może zostać osiągnięta w czasie 25 h. Lepszy efekt adsorpcji uzyskuje się przy niższych wartościach pH .

Oksywodorotlenek cyrkonu wraz z etylenodiaminą w proporcji 3:1, o wzorze $[\text{ZrO}(\text{OH})^{2+}]_3[\text{NH}_2(\text{CH}_2)_2\text{NH}_2] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, można wykorzystać do separacji molibdenianów [37] ze specyficznych układów typu $\text{Cl}^- \cdot \text{MoO}_4^{2-}$, $\text{Br}^- \cdot \text{MoO}_4^{2-}$, $\text{I}^- \cdot \text{MoO}_4^{2-}$ i in.

Patent amerykański [38] przedstawia sposób otrzymywania nowego materiału wykorzystywanego w procesie dializy, gdzie sorbent składa się z kwaśnego fosforanu cyrkonu oraz zasadowego, uwodnionego tlenku cyrkonu. Fosforan cyrkonu, absorbuje takie kationy, jak: NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , natomiast oksywodorotlenek cyrkonu umożliwia wymianę anionów (P, F, CH_3COO^-). Wspólne wykorzystanie tych dwóch związków ma miejsce w systemie REDY, w którym fosforan cyrkonu odpowiedzialny jest za wymianę kationów, a oksywodorotlenek cyrkonu za wymianę anionów. Wynalazek charakteryzuje się możliwością wymiany jonowej bez konieczności oddzielania kwaśnego fosforanu cyrkonu (AZP) i alkalicznego oksywodorotlenku cyrkonu (NaHZO).

Proces usuwania siarczanów z zanieczyszczonych roztworów chlorkowych, możliwy jest poprzez wymianę jonów OH^- na jony SO_4^{2-} . Przykładowo, w procesie prowadzonym w kolumnie wypełnionej złożem jonitu, możliwe jest obniżenie jonów siarczanowych, w 26% roztworze NaCl , z poziomu 970 ppm do wartości 110 ppm [39]. Natomiast w procesie desulfuryzacji roztworów przemysłowych zawierających 0,037% SO_4^{2-} , zastosowanie jonitu cyrkonowego daje możliwość obniżenia jonów siarczanowych do 0,001%.

Podumowanie

Wymieniacz jonowy zawierający oksywodorotlenek cyrkonu stosować można do usuwania anionów i kationów z ciekłych odpadów technologicznych. Zarówno aniony jak i kationy cyrkonowe mogą być stosowane w kolumnie jonitowej, po wcześniejszym naniesieniu oksywodorotlenku cyrkonu na matrycę organiczną lub nieorganiczną. Jonit cyrkonowy, zdolny jest do usuwania jonów siarczanowych, boranów, wodorowęglanów, fosforanów, fluorków, arsenianów, cyjanków itp. Właściwości anionowymienne jonitu cyrkonowego uzależnione są, m. in. od:

- sposobu otrzymywania oksywodorotlenku cyrkonu (pH , temperatura strącania, stężenie, czystość i rodzaj surowca)
- rodzaju nośnika, na który naniesiona jest substancją aktywna
- warunków prowadzenia procesu wymiany jonowej.

Wg danych literaturowych, prowadzenie procesu odsiarczania, korzystne jest w zakresie pH roztworów 1–6, przy temperaturze powyżej 50°C , w czasie 0,5–3 h. Zaleca się przeprowadzenie desorpcji jonitu cyrkonowego poprzez przemycie ciepłą wodą, przy zastosowaniu czynnika alkalizującego, jakim jest wodorotlenek sodu, wodny roztwór amoniaku itp., (temp. $>50^\circ\text{C}$, $\text{pH} > 7$). Rozmiary cząstek, wg różnych autorów, mieszczą się w zakresie od 0,01 μm do 5 mm. Prędkość wymiany jonowej zwiększa się wraz ze zmniejszeniem wielkości ziarna jonitu i wzrostem temperatury, przy czym należy zaznaczyć, iż dla małych wielkości ziaren istnieje niebezpieczeństwo zatykania porów wypełnienia podczas filtracji.

Z ciekłych odpadów technologicznych, w podobny sposób można usuwać borany, wodorowęglany, fosforany i fluorki. Stosując oksywodorotlenek cyrkonu można oczyszczać wody gruntowe z jonów arsenu, żelaza lub nadchloranów, w temperaturze powyżej 100°C i czasie 24 h. Podaje się, iż dla pewnych anionitów szybkość sorpcji jest bardzo niska i osiągnięcie stanu równowagi wymaga nawet kilku dni. Ponadto stosowanie niektórych pochodnych oksywodorotlenku cyrkonu

($[\text{ZrO}(\text{OH})^{2+}]_3[\text{NH}_2(\text{CH}_2)_2\text{NH}_2] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZrO}(\text{OH})_2 \cdot 1,6\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$), umożliwia skuteczne usuwanie zanieczyszczeń z ciekłych odpadów technologicznych.

Z dostępnych danych literaturowych, wynika, iż wydajność procesu adsorpcji zależy od właściwości fizykochemicznych samego wymiennika, warunków prowadzenia procesu oraz rozwiązań aparaturowych.

Stosowanie oksydwodorotlenku cyrkonu lub jego pochodnych, w procesach wymiany jonowej, korzystne jest ze względu na możliwość:

- zastosowania w ochronie środowiska, poprzez jego użycie w procesach utylizacji odpadów przemysłowych
- wyeliminowania, stosowanych dotychczas, metod usuwania niepożądanych składników
- wprowadzenia nowych sposobów obniżenia zawartości szkodliwych substancji w odprowadzanych ściekach.

Literatura

1. Kirk-Othmer Encyklopedia of Chemical Technology, John Wiley&Sons In., New York, T. 22, 1970.
2. Cichy B., Bunikowska B., Kwiecień J., Kołodziejczyk J.: *Zirconium Hydroxide – Properties, Preparation and Use*. Polish Journal of Chemical Technology 2003, 5, 3, 55.
3. Lewicki A., Paryczak T., Rynkowski J.: *Dwutlenek cyrkonu w katalizie. Właściwości i zastosowania*. Wiadomości chemiczne 1996, 50, 11–12.
4. Kowalczyk J., Madejska L., Mazanek C.: *Możliwości wykorzystania krajowej bazy surowcowej dla otrzymywania związków cyrkonu*. Rudy i metale 1991, 36, 9.
5. Agoudjil N., Kermadi S., Larbot A.: *Synthesis of inorganic membrane by sol-gel process*. Desalination 2008, 223, 417.
6. Klocke F., Linke B., Schluetter D.: *Development of reliable grinding procedure for ceramic medical instruments*. Prod. Eng. Res. Devel. 2009, 6, 10.
7. Knot A., Kruger H. G., Selve S., Kups Th.: *Metal-ceramic composite layers on stainless steel through the combination of electrophoretic deposition and galvanic processes*. J. Mater. Sci. 2007, 42, 4545.
8. Lee J., Kwon B., Jang J., Yoon Yo, Kim J.: *High mobility organic transistor patterned by the shadow-mask with all structure on a plastic substrate*. J. Mater. Sci. 2007, 42, 1026.
9. Rudnev V. S., Yarovaya T. P., Kilin K. N., Malyshev I. V.: *Plasma-Electrolytic Oxidation of Valve Metals in Zr(IV) – Containing Electrolytes*. Prot. of Metals and Physical Chemistry of Surfaces 2010, 46, 456.
10. Virgens C., Rangel M.: *Influence of the preparation method on the textural properties of zirconia*. React. Kinet. Catal. Lett. 2005, 84, 183.
11. Saraidarov T., Reisfeld R.: *Synthesis and Characterization of Lead Sulfide Nanoparticles in Zirconia – Silica – Urethane Thin Films Prepared by the Sol-Gel Process*. Journal of Sol-Gel Science and Technology 2003, 26, 533.
12. Snytnikov V., Dubov D., Zaikovskii V., Ivanova A., Stoyanovskii V., Parmon V.: *Production of Nanomaterials by Vaporizing Ceramic Targets Irradiated by Moderate-Power Continuous-Wave CO₂ Laser*. Journal of Applied Mechanics and Technical Physics 2007, 48, 292.
13. Rodrigues C., Ferreira O., Alves O.: *Nanostructures of sodium titanate/zirconium oxide*. J. Nanopart. Res. 2010, 12, 2355.
14. Monopoli A., Nacci A., Calo V., Ciminale F., Cotugno P., Mangone A., Giannossa L., Azzone P., Cioffi N.: *Palladium/Zirconium Oxide Nanocomposite as a Highly Recyclable catalyst for C-C Coupling Reactions In Water*. Molecules 2010, 15, 4511.
15. Romanova R., Petrova E.: *Phase Composition of Aluminum-Zirconium Oxide Nanocrystals Prepared by Electrochemical Coprecipitation*. Russian Journal of Physical Chemistry 2006, 80, 974.
16. Reddy J., Sayari A.: *Nanoporous zirconium oxide prepared using the supramolecular templating approach*. Catalysis Letters 1996, 38, 219.
17. Arantes T., Mambri G., Stroppa D., Leite E., Longo E., Ramirez A., Camargo E.: *Stable colloidal suspensions of nanostructured zirconium oxide synthesized by hydrothermal process*. J. Nanopart Res. 2010, 10, 1007.
18. Vaivars G., Mokrani T., Hendricks N., Linkov V.: *Inorganic membranes based on zirconium phosphate for fuel cell*. J. Solid State Electrochem. 2004, 8, 882.
19. Tanuma T., Okamoto H., Ohnishi K., Morikawa S. Suzuki T.: *Activated zirconium oxide catalysts to synthesize dichloropentafluoropropane by the reaction of dichlorofluoromethane with tetrafluoroethylene*. Applied Catalysis 2009, 359, 1.
20. Citak D., Tuzen M., Soylyk M.: *Simultaneous coprecipitation of lead, cobalt, copper, cadmium, iron and nickel in ford samples with zirconium (IV) hydroxide priori to their flame atomic absorption spectrometric determination*. Ford. Chem. Toxicol. 2009, 47, 2302.
21. Chitrakar R., Tezuka S., Sonoda A., Sakane K., Ooi K., Hirotsu T.: *Selective adsorption of phosphate from seawater and wastewater by amorphous zirconium hydroxide*. J. Colloid. Interface Sci. 2005, 15, 426.

22. Palmer D., Machesky M., Benezeth P., Wesolowski D., Anovitz L., Deshon J.: *Adsorption of Ions on Zirconium Oxide Surfaces from Aqueous Solutions at High Temperatures*. J. Solution Chem. 2009, 38, 907.
23. Patent 5948265 Stany Zjednoczone.
24. Patent 5536415 Stany Zjednoczone.
25. Patent 4414678 Stany Zjednoczone.
26. Patent 4488949 Stany Zjednoczone.
27. Patent 4692431 Stany Zjednoczone.
28. Patent 6–22935 Japonia.
29. Patent 5071563 Stany Zjednoczone.
30. Patent 5618437 Stany Zjednoczone.
31. Patent 6077809 Stany Zjednoczone.
32. Lee S., Lee B. C., Lee K. Y., Lee S. H., Iwamoto M.: *Phosphate sorption characteristics of zirconium meso-structure synthesized under different conditions*. Environmental Technology 2007, 28, 785.
33. Patent 0141904A1 Stany Zjednoczone.
34. Patent 0102562A1 Stany Zjednoczone.
35. Patent 4178270 Stany Zjednoczone.
36. Zheng Y. M., Lim S. F., Chen J. P.: *Preparation and characterization of zirconium-based magnetic sorbent for arsenate removal*. Journal of Colloid and Interface Science 2009, 338, 22.
37. Qureshi S. Z., Ahmad I., Khayer M. R.: *Synthesis and physical studies on a new anion exchange material: zirconium(IV) ethylenediamine and its application to the separation of MoO₄²⁻ from other anionic species*. Ann. Chim. Sci. Mat. 1999, 24, 531.
38. Patent 0078387A1 Stany Zjednoczone.
39. Bunikowska B., Synowiec: *Praca niepublikowana IChN, nr ew. 4200 (2000)*.

Mgr inż. Barbara SOŁTYSIK ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej (1986) – specjalność: Technologia Ropy i Węgla. W 2002 r. ukończyła studia podyplomowe „Zarządzanie jakością wg międzynarodowych standardów”. Jest asystentem w Oddziale Instytutu Nowych Syntez Chemicznych w Gliwicach. Specjalność – analityka i technologia chemiczna.
e-mail: barbara.soltysik@ichn.gliwice.pl, tel.: 32 2313051

Mgr inż. Jolanta MIŚKIEWICZ ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej (1984). Jest kierownikiem Zakładu Inżynierii Procesowej i Specjalnych Związków Nieorganicznych w Oddziale Instytutu Nowych Syntez Chemicznych w Gliwicach.
e-mail: jolanta.miskiewicz@ichn.gliwice.pl, tel.: 32 2313051

Dr inż. Mariola BODZEK-KOCHEL ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej (1998). W 2004 r. uzyskała stopień doktora nauk chemicznych z zakresu inżynierii chemicznej na tym samym wydziale. Obecnie jest Dyrektorem Oddziału Instytutu Nowych Syntez Chemicznych w Gliwicach. Specjalność – inżynieria i technologia chemiczna.
e-mail: mariola.bodzek-kochel@ichn.gliwice.pl, tel.: 32 2313051

Dr inż. Joanna GLUZIŃSKA ukończyła studia na Wydziale Górniczym Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (1996). W 2006 r. uzyskała stopień doktora w Instytucie Technologii Nieorganicznej i Nawozów Mineralnych Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej. Obecnie jest zastępcą Dyrektora Oddziału ds. Technicznych i Marketingu w Oddziale Instytutu Nowych Syntez w Gliwicach. Zainteresowania naukowe: technologia chemiczna nieorganiczna, oczyszczanie ścieków, utylizacja odpadów.
e-mail: joanna.gluzinska@ichn.gliwice.pl, tel.: 32 2313051

Mgr inż. Marzena PYSZ ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej (2009). Absolwentka studiów podyplomowych Uniwersytetu Łódzkiego „Bezpieczeństwo w użytkowaniu i zarządzaniu substancjami chemicznymi”. W Oddziale Instytutu Nowych Syntez w Gliwicach pełni funkcję kierownika Działu Komercjalizacji Badań i Promocji oraz pełnomocnika do spraw gospodarki chemikaliami. Zainteresowania z obszaru ochrony środowiska.
e-mail: marzena.pysz@ichn.gliwice.pl, tel.: 32 2313051