

Beata Winczaszek, Wojciech Adamski

Możliwości usuwania kationów wybranych metali w procesie wymiany jonowej na syntetycznych zeolitach

Jednym z najistotniejszych problemów w ochronie środowiska stała się obecnie racjonalizacja gospodarki wodno-ściekowej i odpadowej. W tym celu poszukuje się m.in. możliwości wykorzystania lub zagospodarowania różnych odpadów przemysłowych. Odpadem, dla którego znalezienie zastosowania – ze względu na jego znaczne ilości – jest bardzo istotne, są popioły lotne. W Polsce do produkcji cementu wykorzystuje się 65% z około 4 mln ton popiołów powstających rocznie. Pozostała część popiołów jest gromadzona na składowiskach, co także ma wpływ na zanieczyszczenie środowiska, a zwłaszcza jego zapylenie. Dodatkowym problemem są znaczne ilości już nagromadzonych popiołów lotnych.

Do innych sposobów unieszkodliwiania popiołów należą m.in. składowanie w wyrobiskach kopalnianych, immobilizacja, odzysk metali, produkcja materiałów ognioodpornych. Do stosunkowo nowych metod, wykorzystujących właściwości fizyczno-chemiczne popiołów lotnych – a zwłaszcza znaczną zawartość w nich glinu i krzemu – można zaliczyć produkcję zeolitów.

Zeolity są krystalicznymi, uwodnionymi, glinokrzmianami, przede wszystkim takich metali, jak wapń, magnez, sód, potas, stront i bar, o wzorze empirycznym $M_{2/n} \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$, w którym M oznacza metal o wartościowości n. Pierwszorzędowe elementy budowy sieci zeolitowej stanowią tetraedry glinu (AlO_4) i krzemu (SiO_4), w których atom glinu lub krzemu otoczony jest przez cztery atomy tlenu. Połączone ze sobą tetraedry tworzą poliedry – drugorzędowe jednostki budowy (SBU – secondary building unit). Jest wiele możliwych połączeń tetraedrów tworzących strukturę zeolitów. Poliedry zawierają do 16 atomów krzemu lub glinu. Jednostką strukturalną wyższego rzędu, powtarzalną już w całej strukturze, są cele (komory) zeolitu, utworzone przez połączone poliedry, a najprostsze powstają na przecięciu się kanałów. Komory mają zazwyczaj kształt pustych wielościanów.

Znane są różne metody prowadzenia procesu syntezy zeolitów z popiołów lotnych oraz sposoby ich wykorzystania, w tym w procesach oczyszczania wody i ścieków. Należy podkreślić znaczne zróżnicowanie metod uzyskiwania tych samych zeolitów (różne zakresy temperatur, proporcje składników, etapy postępowania) oraz mnogość form zeolitycznych możliwych do wyprodukowania [1–5].

Synteza, właściwości i zastosowanie zeolitów z popiołów lotnych

Synteza zeolitów może być realizowana jedno- lub wielostopniowo. Wyróżnia się cztery metody otrzymywania zeolitów z popiołów lotnych:

- klasyczna alkaliczna hydrotermiczna konwersja popiołu lotnego,
- alkaliczna fuzja połączona z klasyczną alkaliczną konwersją popiołu lotnego,
- konwersja sucha lub stopionych soli,
- synteza dwustopniowa [6].

Badania omówione w niniejszej pracy dotyczyły syntezy hydrotermicznej, która jest procesem fizykochemicznym, realizowanym w roztworze alkalicznym w warunkach ciśnienia atmosferycznego lub zwiększonego. Proces ten może przebiegać jedno- lub wielostopniowo, przy czym najczęściej prowadzi się go jednostopniowo. Synteza hydrotermiczna polega na obróbce mieszaniny popiołu lotnego i wodorotlenku sodu (lub potasu) w określonych warunkach temperatury i ciśnienia. Stosowane są także dodatki – najczęściej chlorek sodu. W dalszym etapie stosuje się filtrację, płukanie i suszenie materiału [7]. Czas prowadzenia procesu według danych literaturowych wynosi w różnych metodach od kilku godzin do kilku, a nawet kilkunastu dób. Bardzo zróżnicowane są także przedziały temperatur (niektóre syntezy prowadzi się w temperaturze pokojowej), przy czym im wyższa jest temperatura reakcji tym krótszy jej czas [7].

Należy podkreślić, że synteza prowadzona może być tylko w pewnych przedziałach temperatur, ponieważ nadmierny jej wzrost skutkuje uszkodzeniem struktur zeolitycznych. Krystalizacja poszczególnych typów zeolitów jest funkcją czasu i temperatury reakcji oraz stężenia stosowanej zasady.

Najczęściej w literaturze opisywane są procesy syntezy takich zeolitów, jak Na-X, Na-P, Na-PI ($Na_6Al_6Si_{10}O_{32} \cdot 12H_2O$), hydroksysodalit ($Na_{1,08}Al_2Si_{11,68}O_{7,44} \cdot 1,8H_2O$), linde F ($KAlSiO_4 \cdot 1,5H_2O$), A ($NaAlSi_3O_8 \cdot 2,25H_2O$), X ($NaAlSi_3O_8 \cdot 3,0725H_2O$), Y ($NaAlSi_2O_6 \cdot 4,46H_2O$). W pracy [8] omówiono wyniki syntezy zeolitów w bardzo różnych warunkach reakcji (ponad 200 przypadków), zmieniając frakcję popiołu, stężenie wodorotlenku sodu, zawartość popiołu w mieszaninie, temperaturę i czas reakcji, liczbę płukań oraz warunki suszenia (czas i temperatura). Dodatkowo badano wpływ obróbki magnetycznej i dopalania. Wykazano, że już minimalne zmiany temperatury lub czasu reakcji skutkowały innym składem zeolitycznym produktu, a także jego strukturą mikroporowatą i zdolnościami adsorpcyjnymi określonymi izotermą adsorpcji BET.

Zeolity, ze względu na zdolności jonowymiennie, są skutecznym materiałem do usuwania jonów metali z roztworów wodnych. Wyniki badań nad usuwaniem jonów metali na zeolitach wskazują, że proces ten ma charakter sorpcyjno-jonowymienny, ale dominującym procesem jest wymiana jono- wa [2]. Pojemność jonowymienna zeolitów jest funkcją zawartości kationów jonowymiennych oraz stosunku Si:Al. Maksymalna pojemność jonowymienna zeolitu występuje wówczas, gdy Si:Al=1. W rzeczywistości maksymalna pojemność jonowymienna nie jest równa teoretycznej, wyznaczonej przez zawartość kationów jonowymiennych w zeolicie. Poszczególne kationy w strukturze zeolitów w różnym stopniu podlegają wymianie, na co wpływa lokalizacja tych kationów oraz rozmiar kanałów sorpcyjnych. Zjawisko to określa się jako efekt sitowy [9]. Na przebieg usuwania jonów metali przez zeolity wpływa także pH roztworu, który z jednej strony decyduje o formie występowania metalu w środowisku wodnym, a z drugiej wpływa na strukturę zeolitu. Wpływ pH na strukturę zeolitu jest związany z dysocjacją grup funkcyj- nych, zwłaszcza przy wyższych wartościach [10]. Od pH roztworu zależy dominująca forma występowania metalu, która wpływa na zdolność usuwania go przez zeolity. Stąd przy danym pH roztworu selektywność zeolitu względem metalu będzie zależała od dominującej formy metalu i twor- zonych przez niego kompleksów. Ponadto kinetyka usuwania jonów metalu zależy od rozmiaru tworzonych kompleksów [10]. Zeolity syntetyczne wykazują zróżnicowaną zdolność jonowymienną w zakresie 0,3+4,7 mval/g (tab. 1), natomiast w wypadku popiołu lotnego parametr ten wynosi poniżej 0,05 mval/g [1].

Tabela 1. Zdolność jonowymienna wybranych zeolitów

Zeolit	Zdolność wymienna, mval/g
4A-X	4,7
Na-P1	2,7
Linde F	1,9
Sodalit	0,3

Wyniki niektórych badań [11] wskazują na dziesięciokrot- nie większą wydajność zeolitów syntetycznych w stosunku do naturalnych, np. klinoptylolitu. Przykładowo, wydajność zeo- litu Na-P1 w stosunku do jonów chromu, niklu, cynku i miedzi wynosiła 0,838 mmolCr/g, 0,342 mmolNi/g, 0,499 mmolZn/g, 0,795 mmolCu/g, podczas gdy klinoptylolit charakteryzował się wydajnością odpowiednio 0,079 mmolCr/g, 0,034 mmolNi/g, 0,053 mmolZn/g oraz 0,093 mmolCu/g. Zeolity syntetyczne mogą także znaleźć istotne zastosowanie do usuwania pier- wiastków radioaktywnych [12].

Celem przeprowadzonych badań było określenie podatno- ści wybranych jonów metali na usuwanie w procesie wymiany jonowej na zeolitach syntezowanych z popiołów lotnych po- chodzących z Elektrociepłowni Wrocław oraz porównanie skuteczności usuwania metali przez popioły lotne i zeolity.

Metodyka badań

W badaniach zastosowano zeolity zsyntezowane z popio- łów lotnych pochodzących z Elektrociepłowni Wrocław. Me- todykę syntezy zeolitów opracowano wzorując się na stand- ardach opisanych w literaturze [8]. Popiół lotny poddano obróbce hydrotermicznej bez dodatkowej obróbki wstępnej,

tj. bez wydzielenia określonej frakcji popiołu, dopalania i magnesowania. Obróbka hydrotermiczna prowadzona była w autoklawie z intensywnością mieszania 400 obr./min. Zastosowano autoklaw LA500, wykonany z kwasoodpornej stali, ze zlewką teflonową. W syntezie zastosowano wodorot- lenek sodu o stężeniu 2 mol/dm³. Zawartość popiołu wyno- siła 100 g/dm³, przy czym dodano 10 g chlorku sodu na każde 100 g popiołu. Proces przeprowadzono w temperaturze 100 °C pod ciśnieniem atmosferycznym. Syntezę przeprowa- dzono w atmosferze obojętnej, poprzedzając proces trzykrot- nym płukaniem urządzenia azotem gazowym do ciśnienia 20 atmosfer. Czas syntezy wynosił 6 godz. Po pierwszym etapie otrzymana próbka poddana została sześciokrotnemu płukaniu wodą dejonizowaną, a następnie suszeniu w tempe- raturze 100 °C przez 6 godz.

Uzyskany materiał został poddany analizie jakościowej metodą proszkowej dyfrakcji rentgenowskiej w celu określe- nia struktur zeolitycznych powstałych w wyniku syntezy. Analizę jakościową, polegającą na identyfikacji struktur kry- stalicznych oraz minerałów, przeprowadzono przy zastoso- waniu dyfrakcji rentgenowskiej. Zastosowano dyfraktometr rentgenowski X'PERT firmy Philips wyposażony w generator PW 1830, moduł kontrolny PW 3710 oraz licznik PW 3719. Zastosowano promieniowanie CuK α , goniometr pionowy i li- cznikową rejestrację kąta i położenia refleksu. Zakres pomia- rowy kąta 2-theta wynosił 5+100°, przy kroku 0,05°. Przyjęto czas zliczania pojedynczego impulsu równy 2 sekundy. Na- pięcie wynosiło 40 kV, natomiast natężenie prądu 30 mA. Przeprowadzono obróbkę danych eksperymentalnych prowa- dzającą do usunięcia tła obliczenia pozycji, intensywności in- tegralnej i wysokości pików. W tym celu zastosowano pro- gram komputerowy DHN-Powder Diffraction System. Identyfikacja faz polegała na porównaniu uzyskanych sygnałów z sygnałami wzorcowymi zawartymi w bazie danych (ICDD PDF-2). Jednocześnie przeprowadzono porównanie pomiędzy składem popiołu, z którego zsyntezowano zeolit, a wytworzonym zeolitem. Celem porównania było określenie zmian w składzie chemicznym i wyznaczenie nowo powsta- łych struktur, w szczególności struktur zeolitycznych.

Z uwagi na fakt, że większość popiołów wykazuje właści- wości radioaktywne, przeprowadzono pomiar obecności na- turalnych izotopów promieniotwórczych w wyciągu wodnym z zeolitu. Analizę jakościową i ilościową izotopów przeprowa- dzono metodą wielokanałowej spektrometrii promienio- wania gamma, w oparciu o pomiary widm na wielokanało- wym spektrometrze promieniowania gamma (model GENIE- -2000 firmy Canberra-Packard), z niskoenergetycznym detektorem półprzewodnikowym (model GX2518). Spektro- metr był sprzężony z komputerem, przy pomocy którego analizowano zmierzone widma. W badaniu zidentyfikowano naturalne izotopy promieniotwórcze należące do szeregu uranowo-radowego, najbardziej rozpowszechnionego w przy- rodzie. Zeolity poddano wmywaniu dynamicznemu (BN-77/0441-01 i PN-93/G-11010). Czas ługowania wynosił 30 min, przy stosunku objętościowym zeolitu do wody 1:3.

Do badań skuteczności wymiany jonowej wytypowano miedź, cynk, nikiel, chrom, kobalt, kadm, rtęć i mangan. Badania nad usuwaniem jonów metali przy zastosowaniu zeolitów przeprowadzono w układzie porcjowym, przyjmując dawkę zeolitu równą 1 g/dm³. Do przygotowania roztworów soli metali zastosowano wzorce analityczne w postaci azota- nów poszczególnych metali o stężeniu 1 gMe/dm³. W ten

sposób otrzymano roztwory soli badanych metali o sześciu różnych stężeniach. Do naczynek o pojemności 100 cm³ odważono po 50 mg zeolitu i dodano po 50 cm³ przygotowanego roztworu soli danego kationu, a następnie całość wytrząsano przez 3 godz. Po tym czasie próbki przesączono w celu uzyskania klarownego roztworu do dalszych badań. Zabieg sączenia był niezbędny ze względu na zatykanie kapilar dawkujących w stosowanych urządzeniach badawczych. Aby wyeliminować błąd wynikający z sorpcji metali na sączkach, przygotowano ślepe próbki. W tym celu roztwory jonów metali dawkiowane do zeolitów poddano sączeniu i w przesączu oznaczono ich stężenia. W celu oceny jednorodności zastosowanego materiału zeolitycznego przygotowano po trzy próbki każdego roztworu soli metalu i zeolitu. Założono, że rozrzut wartości w obrębie każdej trójki nie powinien przekraczać 10%. W dalszej analizie wyników badań oraz przy sporządzaniu wykresów przyjęto średnie arytmetyczne wartości stężeń dla każdej trójki próbek. W ten sam sposób przygotowano próbki z zastosowaniem popiołu, stanowiącego materiał wyjściowy do syntezy zeolitów, w celu porównania właściwości obu materiałów. Zadaniem porównania była ocena poprawy właściwości produktu syntezy względem materiału wyjściowego w zakresie usuwania jonów metali ze ścieków i ocena celowości takiej modyfikacji.

Oznaczenie zawartości jonów rtęci wykonano przy zastosowaniu analizatora rtęci AMA 254 firmy ALTEL, natomiast jony pozostałych metali w próbkach oznaczono przy pomocy spektrometru absorpcji atomowej AWANTA 932 firmy GBC.

Dyskusja wyników

Synteza zeolitów z popiołów lotnych wykorzystuje właściwości popiołów, przede wszystkim duży udział związków glinu i krzemu. Utworzenie form zeolitycznych zależy od warunków prowadzenia procesu. W literaturze opisano szereg metod syntezy zeolitów w bardzo różnych warunkach temperatury, zawartości popiołu i zastosowanego wodorotlenku, a także czasu reakcji. Na jakość produktu końcowego wpływają także właściwości samego popiołu, a szczególnie jego skład frakcyjny oraz zawartość glinu i krzemu. Z tego względu istotne było określenie przydatności popiołu pochodzącego z Elektrociepłowni Wrocław do syntezy materiału zeolitycznego. Jednocześnie przy wyborze warunków prowadzenia procesu kierowano się minimalizacją kosztów, stąd zrezygnowano z obróbki przez dopalanie, magnesowanie i wydzielanie konkretnej frakcji. Ponadto wybrano możliwie najkrótszy czas i najniższą temperaturę reakcji, a także standardowe warunki ciśnienia.

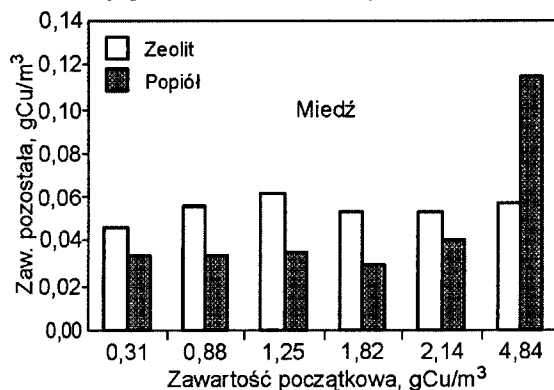
W badanym materiale stwierdzono obecność mulitu i sylimanitu oraz następujących struktur zeolitycznych: NaAlSiO₄, (NH₄)₃Al₃Si₃O₁₂Cl, Na₅Al₃CSi₃O₁₂Cl, (Na₂O)·0,33NaAlSiO₄, Na₈(AlSiO₄)₆(OH)₂·4H₂O, 1,0Na₂O·Al₂O₃·1,68SiO₂·1,73H₂O, 1,08Na₂O·Al₂O₃·1,68SiO₂·1,8H₂O. Ponadto stwierdzono występowanie obecnych także w popiele takich składników, jak SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Mn₃O₄, P₂O₅, TiO₂ i C.

Porównanie popiołu i materiału będącego produktem jego przemiany jednoznacznie wskazało na pojawienie się nowych faz (co potwierdziło pojawienie się na dyfrakogramie zeolitu bardzo intensywnych pików przy kątach 2-theta równych 13,9340° (int.=76,5%) i 24,2934° (int.=100%) oraz kilku mniej intensywnych (w okolicach 2-theta=34°, 53° i 58°). Zmieniły się również intensywności względne pozostałych pików, co świadczyło o zmianie składu fazowego materiału.

Wyniki pomiaru obecności naturalnych izotopów promieniotwórczych w wyciągu wodnym z zeolitu wykazały, że nie nastąpiło wymywanie izotopów z zeolitu. Zmierzone wartości były na poziomie tła.

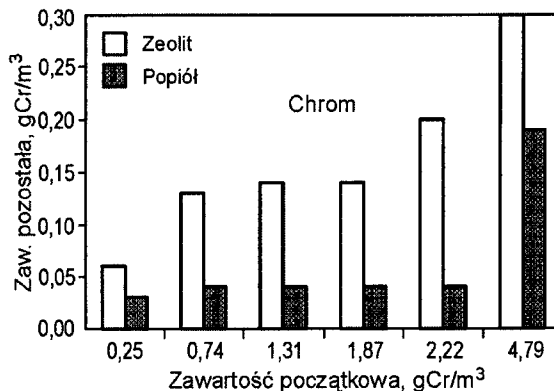
Przeprowadzone badania dotyczące usuwania jonów wybranych metali ciężkich z roztworów modelowych, przy wykorzystaniu zeolitów zsyntezowanych z popiołów lotnych oraz analogiczne z zastosowaniem popiołów, pozwalają stwierdzić, że w odniesieniu do niektórych metali nie uzyskano znaczącej różnicy w skuteczności usuwania między zeolitami a popiołami, przy czym zaobserwowano kilka różnych wariantów wyników:

– przy małych stężeniach metalu (Cu) uzyskano lepszą skuteczność dla popiołu, jednakże przy większych stężeniach skuteczność jego usuwania zmalała (rys. 1),



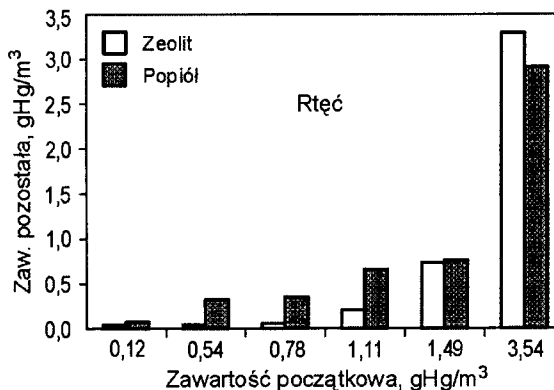
Rys. 1. Usuwanie jonów miedzi na popiele i zeolicie

– uzyskano lepszą skuteczność usuwania metalu (Cr) przy zastosowaniu popiołu, niż zeolitu (rys. 2),



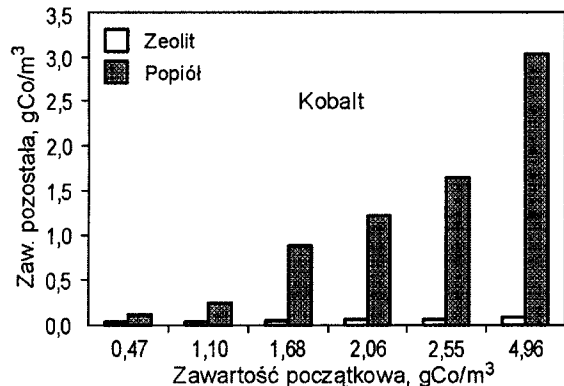
Rys. 2. Usuwanie jonów chromu na popiele i zeolicie

– uzyskano bardzo zbliżoną skuteczności (Hg) w wypadku obu materiałów (rys. 3).

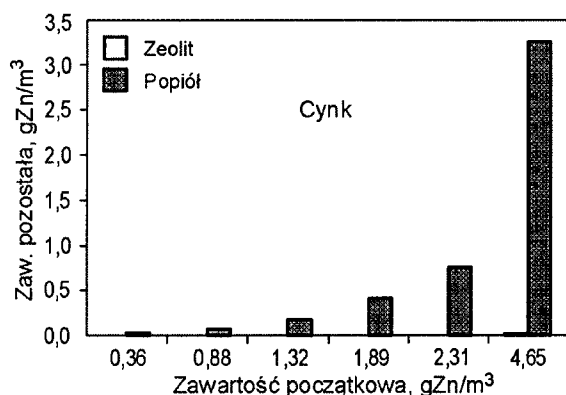


Rys. 3. Usuwanie jonów rtęci na popiele i zeolicie

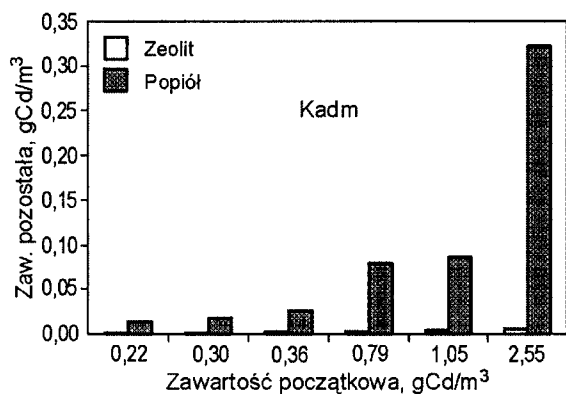
Zastosowanie zeolitów zsyntezowanych z popiołów lotnych okazało się skuteczną metodą usuwania jonów kobaltu, cynku, kadmu, niklu i manganu z roztworów modelowych (rys. 4–8).



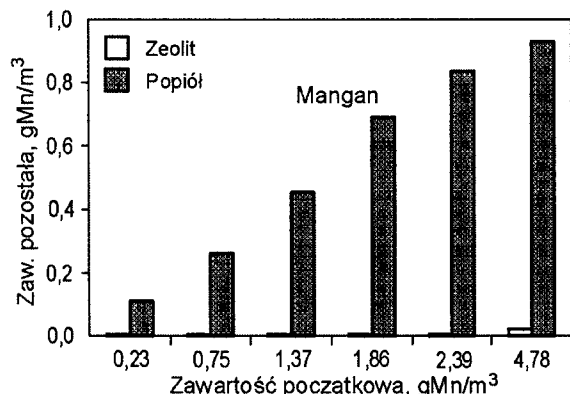
Rys. 4. Usuwanie jonów kobaltu na popiele i zeolicie



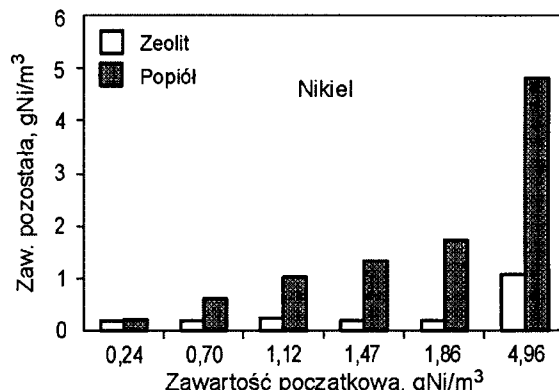
Rys. 5. Usuwanie jonów cynku na popiele i zeolicie



Rys. 6. Usuwanie jonów kadmu na popiele i zeolicie



Rys. 7. Usuwanie jonów manganu na popiele i zeolicie



Rys. 8. Usuwanie jonów niklu na popiele i zeolicie

W niektórych przypadkach (Mn, Cd, Zn, Co), przy maksymalnym zastosowanym stężeniu metalu (ok. 5 gMe/m³) nie uzyskano znaczącego obniżenia skuteczności w porównaniu z odpowiednią wartością dla stężenia najmniejszego. Nie stwierdzono przekroczenia wartości równowagowej dla układu zeolit-roztwór, co może oznaczać, że z dużą skutecznością można usuwać jony tych metali z roztworów o jeszcze większych stężeniach.

Uzyskany rozrzut wyników był praktycznie we wszystkich wypadkach mniejszy od założonego, wynoszącego 10%. Na tej podstawie można stwierdzić, iż materiał był jednorodny i gwarantował jednakową skuteczność usuwania metali.

Wnioski

◆ Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na skuteczność procesu syntezy i uzyskanie form zeolitycznych z popiołu lotnego poddanego obróbce hydrotermicznej. Uzyskany materiał był bezpieczny pod względem promieniowania radioaktywnego, ponieważ nie następowało wymywanie izotopów z zeolitu.

◆ Wyniki badań podatności jonów metali na usuwanie przy zastosowaniu zeolitów i popiołów lotnych wykazały, że zastosowanie syntetycznych zeolitów do usuwania jonów miedzi, chromu i rtęci z roztworów wodnych byłoby nieuzasadnione, jednakże popiół lotny może stanowić atrakcyjny materiał do zastosowania w procesie usuwania jonów miedzi i chromu. Jednocześnie wyniki badań wykazały, że największą skuteczność usuwania jonów metali przy zastosowaniu zeolitów uzyskano w przypadku jonów kobaltu, cynku, kadmu i manganu.

◆ Rozrzut uzyskanych wyników był praktycznie we wszystkich wypadkach mniejszy od 10%, co dowodzi, iż badany materiał był jednorodny i zapewniał stałą skuteczność usuwania jonów metali.

LITERATURA

1. X. QUEROL, N. MORENO, J.C. UMANA, A. ALASTUEY, E. HERNANDEZ, A. LOPEZ-SOLER, F. PLANA: Synthesis of zeolites from coal fly ash: An overview. *International Journal of Coal Geology*, 2002, Vol. 50, pp. 413–423.
2. G. STEENBRUGGEN, G.G. HOLLMAN: The synthesis of zeolites from fly ash and the properties of the zeolite products. *Journal of Geochemical Exploration*, 1998, Vol. 62, pp. 305–309.

3. H. TANAKA, S. MATSUMURA, R. HINO: Formation process of Na-X zeolites from coal fly ash. *Journal of Materials Science*, 2004, Vol. 39, pp. 1677–1682.
4. H. TANAKA, S. FURUSAWA, R. HINO: Synthesis, characterization, and formation process of Na-X zeolite from coal fly ash. *Journal of Materials Synthesis and Processing*, 2002, Vol. 10, No. 3, pp. 143–148.
5. H. TANAKA, S. MATSUMURA, S. FURUSAWA, R. HINO: Conversion of coal fly ash to Na-X zeolites. *Journal of Materials Science Letters*, 2003, Vol. 22, pp. 323–325.
6. T. SUCHECKI: Zeolity z popiołów lotnych. Otrzymywanie i aplikacje w inżynierii środowiska. Ossolineum, Wrocław 2005, ss. 30–49.
7. G.G. HOLLMAN, G. STEENBRUGGEN, M. JANSSEN-JURKOVICIVA: A two-step process for the synthesis of zeolites from coal fly ash. *Fuel*, 1999, Vol. 78, pp. 1225–1230.
8. T. WAŁEK: Adsorpcja SO_2 i NO_x na złożu zeolitów syntetycznych otrzymanych z popiołów lotnych. Praca doktorska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004.
9. S. ZONES, M.E. DAVIS: Zeolite materials: recent discoveries and future prospects. *Current Opinion in Solid State & Materials Science*, 1996, Vol. 1, pp. 107–117.
10. S.K. OUKI, M. KAVANNAGH: Treatment of metals-contaminated wastewaters by use of natural zeolites. *Wat. Sci. Tech.*, 1999, Vol. 39, pp. 115–122.
11. E. ALVAREZ-AYUSO, A. GARCIA-SANCHEZ, X. QUEROL: Purification of metal electroplating waste waters using zeolites. *Water Research*, 2003, Vol. 37, pp. 4855–4862.
12. S. AKYÝL, M.A.A. ASLANI, S. AYTAS: Distribution of uranium on zeolite X and investigation of thermodynamic parameters for this system. *Journal of Alloys and Compounds*, 1998, Vol. 271/273, pp. 769–773.

Winczaszek, B., Adamski, W. Removing Metal Cations by Ion Exchange on Synthetic Zeolites. *Ochrona Środowiska* 2006, Vol. 28, No. 2, pp. 33–37.

Abstract: Industrial development and the concomitant rise in the volume of the wastes produced have spurred the search for efficient and reliable methods of their utilization. One of these is the utilization of the wastes from coal burning: the synthesis of zeolites from fly ash. Fly ash properties in general, and the silica and alumina content in particular, offer the possibility of synthesizing zeolites, an attractive material that can be used in environmental pollution control. Zeolites synthesized from fly

ash display ion-exchange properties. The study reported on in this paper aimed at assessing the performance of such zeolites in the removal of metals from wastewater. The method of synthesis and the results of qualitative analysis, as well as those of the examination of the radioactive properties of the initial and final product, were described. The efficiency of removal of heavy metals (Cu, Zn, Ni, Cr, Co, Cd, Hg and Mn) from model solutions of various concentrations were discussed. The results were compared with those obtained with fly ash and other synthetic zeolites.

Keywords: Zeolites, fly ash, wastewater treatment, ion exchange, heavy metals.