

*Małgorzata Jaroń-Kocot*

## MOŻLIWOŚĆ OGRANICZANIA ARSENU I CHROMU W WODACH Z ODPADÓW PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO

### Streszczenie

Na podstawie wyników analiz odcinków wodnych omówiono wpływ odpadów arsenowych i błota pochromowego, a głównie wypłukujących się z nich jonów arsenu i chromu sześciowartościowego, na środowisko wodne. Odcieki uzyskano w wyniku namaczania zestalonych mieszanin w wodzie kopalnianej, które składały się z odpadów przemysłu chemicznego w odpowiednich proporcjach wagowych, a także odpadów poflotacyjnych, produktów odsiarczania z kotła fluidalnego oraz wapna pokarbidowego.

Badania wykazały, że ilości jonów arsenu i chromu (VI) przedostających się do wody można ograniczyć przez zestalenie odpadów przemysłu chemicznego z wapnem pokarbidowym i produktami odsiarczania z kotłów fluidalnych. Jony arsenu uwalniały się w ograniczonym zakresie z mieszaniny zawierającej wapno pokarbidowe, w ilości trzykrotnie większej od masy odpadów arsenowych i produkty odsiarczania o takiej samej masie jak odpady zawierające arsen. Z błota pochromowego najmniej chromu rozpuszczało się w wodzie, gdy mieszaniny zawierały wapno pokarbidowe. Najlepsza mieszanina zawierała czterokrotnie więcej wapna pokarbidowego niż masy błota pochromowego.

### Possibility of arsenic and chromium levels reduction in waters from chemical industry wastes

#### Abstract

On the basis of analyses of water sections an influence on aquatic environment was discussed of arsenic wastes and post-chromium mud, and mostly rinsing out of them arsenic ions and hexavalent chromium. Refluxes were obtained as a result of solidified mixtures vat rinsing with mine water. The solid mixtures were composed of chemical industry wastes in proper weight ratios, and also of flotation tailings, products of desulfurization from fluid kettle and carbide residue.

Tests showed that amount of arsenic and chromium (VI) ions passing to the water could be reduced by solidification of chemical industry wastes using carbide residue and products of desulfurization from fluid kettles. Arsenic ions were released in limited amount from a mixture containing carbide residue in an amount three times higher than the mass of arsenic wastes, and products of desulfurization of the same mass as the wastes containing arsenic. The least amount of chromium from the post-chromium mud dissolved in the water when mixtures contained carbide residue. The best mixture contained four times more carbide residue than mass of post-chromium mud.

## WPROWADZENIE

Proces ograniczania ilości jonów metali ciężkich, uwalnianych do wód, może polegać na fizycznym ich oddziaływaniu lub wynikać z wiązania chemicznego w efekcie procesów sorpcji fizycznej lub chemisorpcji. Usuwanie metali ciężkich z wód następuje wskutek: wiązania obojętnego (fizycznego), wytrącania, adsorpcji, współwytrącania, tworzenia się powłok ochronnych i flokulacji.

Zależy to w bardzo znacznym stopniu od odczynu ośrodka, gdyż jony wodorowe konkurują z kationami metali, oddziaływując na powierzchnię cząstek fazy stałej (Helios-Rybicka 1991).

W artykule przedstawiono wyniki badań nad ograniczaniem ilości jonów arsenu i chromu sześciowartościowego, uwalniających się do wód z odpadów przemysłu chemicznego. Przeanalizowano możliwości ograniczenia zanieczyszczeń wód tymi jonami:

- dzięki sorpcyjnym właściwościom odpadów poflotacyjnych, a głównie zawartych w nich węgla i kaolinitu,
- w wyniku związania jonów arsenu w związki trudno rozpuszczalne, tj. arseniany jedno-, dwu- i trójmetaliczne, przez metale ciężkie zawarte w popiołach z kotłów fluidalnych i wolny CaO obecny w wapnie pokarbidowym.

Wykorzystano także procesy polegające na redukcji chromu sześciowartościowego do chromu trójwartościowego, a następnie strąceniu chromu trójwartościowego jako wodorotlenku, przy użyciu wapna pokarbidowego (Jaroń-Kocot, Sablik 2003).

## 1. METODYKA BADAŃ

W celu określenia wpływu odpadów wytypowanych do badań na środowisko wodne, przeanalizowano skład chemiczny odpadów, a także ich wyciągów wodnych. Skład chemiczny odpadów określono metodą spektrometrii fluorescencji rentgenowskiej PB-05.

Podstawę do sporządzania wyciągów wodnych stanowiła procedura służąca do ustalania stawki opłat za składowane odpady, ujęta w Dz. U. Nr 120, poz. 1284 z 29.12.2000 roku. Stosowano odważane w odpowiednich ilościach odpady w stanie powietrznosuchym i wodę destylowaną. Analizy chemiczne wyciągów wodnych wykonywano metodami standardowymi oraz techniką spektrometrii plazmowej.

Analizę mineralogiczną odpadów poflotacyjnych przeprowadzono przy użyciu dyfraktometru rentgenowskiego firmy Philips PW 3710.

Do badań czasu wiązania się mieszanin odpadowych służył aparat Vicata. Trwałość zestalonych mieszanin określono metodą rozmakalności, polegającą na obserwacji zmian kształtu zestalonej próbki pod wpływem wody.

## 2. CHARAKTERYSTYKA ANALIZOWANYCH ODPADÓW

Analizie poddano dwa rodzaje odpadów z przemysłu chemicznego, tj. odpady zawierające związki arsenu i błoto pochromowe zawierające związki chromu, głównie chromu sześciowartościowego. Do ograniczenia szkodliwego oddziaływania odpadów chemicznych na środowisko wodne, zastosowano odpady poflotacyjne, produkty odsiarczania z kotła fluidalnego i wapno pokarbidowe. Produkty odsiarczania z kotła fluidalnego i wapno pokarbidowe pełniły dodatkowo rolę medium zestalającego odpady chemiczne.

Właściwości fizykochemiczne badanych odpadów były następujące:

- Odpady zawierające związki arsenu, w postaci gęstej, śliskiej ciemnozielonej masy, charakteryzowały się zawartością wilgoci całkowitej 27,8%. Zawartość arsenu w odpadach wynosiła 62 mg/kg. Siarka całkowita stanowiła 6,03% wagowych odpadów. W wyciągu wodnym nie stwierdzono obecności siarczków, a zawartość siarczanów była mała i wynosiła 148,0 mg/dm<sup>3</sup>. Zawartość jonów arsenu była natomiast bardzo duża – 2050 mg/dm<sup>3</sup>. Odczyn wyciągu wodnego był silnie kwaśny, pH = 1,25.
- Błoto pochromowe charakteryzowało się zawartością wilgoci całkowitej około 18%. Było ono sypkie i suche, drobnoziarniste, koloru żółto-brązowego. Zawartość chromu w odpadach wynosiła 3,5%, a siarki całkowitej 0,42%. W wyciągu wodnym stwierdzono jony chromu sześciowartościowego w ilości 340,0 mg/dm<sup>3</sup>. Odczyn wyciągu wodnego był zasadowy, pH = 9,50.
- Odpady poflotacyjne miały postać wodnych zawiesin o zawartościach części stałych 190 g/dm<sup>3</sup> (odpady I) i 450 g/dm<sup>3</sup> (odpady II). Charakteryzowały się 91,7% zawartością ziarn poniżej 0,063 mm, przy czym 83,3% ziaren miało wielkości poniżej 0,025 mm. Mniejsze ziarna zwiększają powierzchnię właściwą odpadów i polepszają ich właściwości sorpcyjne. Gęstość rzeczywista odpadów poflotacyjnych wynosiła 1,93%, a straty prażenia 36,74%. Podstawowe składniki tych odpadów to krzemionka SiO<sub>2</sub> = 45,87% i tlenek glinu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 21,68%. Z badań składu mineralogicznego odpadów poflotacyjnych wynikało, że zawierały one minerały ilaste, tj. kaolinit, chloryt i illit (28%), kwarc (22%), halit (18%). Pozostałe składniki to dolomit (10%), piryt (~6%), człon szeregu izomorficznego FeCO<sub>3</sub>-MgCO<sub>3</sub> (~5%) i skalenie (~4%).
- Produkty odsiarczania z kotła fluidalnego EC Tychy zawierały związki wapnia w ilości 15,69%, w tym tlenku wapnia 8,20% oraz pierwiastki śladowe takie, jak: nikiel, ołów, miedź, kadm, cynk i inne. Gęstość rzeczywista tych popiołów wynosiła 2,57 g/cm<sup>3</sup>. Wyciąg wodny z odpadów był silnie zasadowy, pH = 12,9 i zawierał głównie jony wodorotlenowe (629 mg/dm<sup>3</sup>), jony wapniowe (1422 mg/dm<sup>3</sup>) i siarczanowe (1210 mg/dm<sup>3</sup>).
- Wapno pokarbidowe zastosowane do sporządzania mieszanin miało postać wodnej zawiesiny o zawartości części stałych 370 g/dm<sup>3</sup>. Zawierało ono 89,8% ziarn o wielkości nieprzekraczającej 0,063 mm. Zawartość związków wapnia jako CaO wynosiła 65,69%, w tym tlenek wapnia CaO = 5,87%. Gęstość rzeczywista wapna wynosiła 2,12 g/cm<sup>3</sup>. Wyciąg wodny z wapna pokarbidowego był silnie zasadowy, pH = 13,1 i zawierał głównie jony wodorotlenowe (629 mg/dm<sup>3</sup>) i jony wapniowe (719,4 mg/dm<sup>3</sup>).
- Woda z kopalnianego zbiornika powierzchniowego była słabo zmineralizowana o zawartości jonów chlorkowych w ilości 592,1 mg/dm<sup>3</sup> i o odczynie obojętnym, pH = 7,65.

### 3. WYNIKI BADAŃ

Badania ilości jonów arsenu i chromu sześciowartościowego uwalniających się z odpadów przemysłu chemicznego wykonano w wodach z mieszanin zawierających odpady arsenowe i błoto pochromowe z dodatkami odpadów poflotacyjnych, produktów odsiarczania z kotłów fluidalnych i wapna pokarbidowego w różnych proporcjach wagowych. Dodatek wody kopalnianej, potrzebny do wymieszania wszystkich składników, był uzależniony od ilości wody zawartej w odpadach poflotacyjnych i wapnie pokarbidowym. Każdą z mieszanin pozostawiano na 24 godziny. Po tym czasie próbki zalewano powoli wodą kopalnianą. W odciekach analizowano jony arsenu lub chromu, siarczany i mierzono pH.

Skład mieszanin i zawartości jonów metali oraz pH w odciekach wodnych przedstawiono w tablicach 1 i 2. Wyniki procesu zestalania się mieszanin odpadowych przedstawiono w tablicach 3 i 4. Mierzono czasy wiązania się próbek mieszanin oraz ich trwałość po zestaleniu. Po 24 godzinach namakania próbek w wodzie kopalnianej oznaczano zawartość jonów arsenu i chromu sześciowartościowego, przy czym w kolumnie 8 przedstawiono dane oznaczone, a w kolumnie 9 dane przeliczone w odniesieniu do masy i do zawartości jonów arsenu i chromu (VI) przedstawionych w kolumnie 3 tablicy 1 i 2.

Tablica 1. Zawartość jonów arsenu oraz pH w odcieku wodnym z mieszanin zawierających odpady arsenowe

Lp.	Skład mieszaniny	Stężenia		
		arsen mg/dm <sup>3</sup>	siarczany mg/dm <sup>3</sup>	pH
1	2	3	4	5
1.	Odpady arsenowe	2050,0	148,0	1,25
2.	Odpady arsenowe: odpady poflotacyjne II 1 : 1	650,0	969,0	1,33
3.	Odpady arsenowe: odpady poflotacyjne I: popioły 1 : 1 : 1	1600,0	1500,0	3,55
4.	Odpady arsenowe: odpady poflotacyjne II: wapno pokarbidowe 1 : 1 : 1	1220,0	354,0	5,1
5.	Odpady arsenowe: wapno pokarbidowe: popioły: woda 1 : 1 : 1 : 1	395,0	1090,0	7,65
6.	Odpady arsenowe: wapno pokarbidowe: popioły: woda 1 : 1 : 2 : 2	1630,0	1330,0	11,7
7.	Odpady arsenowe: wapno pokarbidowe: popioły: woda 1 : 2 : 1 : 1	350,0	2210,0	12,9
8.	Odpady arsenowe: wapno pokarbidowe: popioły: woda 1 : 2 : 1 : 0,5	34,5	444,0	12,2
9.	Odpady arsenowe: wapno pokarbidowe: popioły: woda 1 : 2 : 2 : 2	33,0	1630,0	12,6
10.	Odpady arsenowe: wapno pokarbidowe: popioły 1 : 3 : 1	0,96	763,0	8,9
11.	Odpady arsenowe: wapno pokarbidowe: popioły 1 : 4 : 1	4,9	296,0	12,05
12.	Odpady arsenowe: wapno pokarbidowe: popioły 1 : 4 : 2	3,6	1800,0	11,95

**Tablica 2.** Zawartość jonów chromu sześciowartościowego oraz pH w odcieku wodnym z mieszanin zawierających błoto pochromowe

Lp.	Skład mieszaniny	Stężenia		
		chrom (VI) mg/dm <sup>3</sup>	siarczyn mg/dm <sup>3</sup>	pH
1	2	3	4	5
1.	Błoto pochromowe	340,0	93,0	9,50
2.	Błoto pochromowe: odpady poflotacyjne I 1 : 1	1970,0	547,0	10,4
3.	Błoto pochromowe: odpady poflotacyjne II 1 : 1	844,0	777,0	9,65
4.	Błoto pochromowe: odpady poflotacyjne I: popioły: woda 1 : 1 : 1 : 0,5	810,0	2450,0	13,1
5.	Błoto pochromowe: popioły: woda 1 : 1 : 1	982,0	2160,0	13,1
6.	Błoto pochromowe: wapno pokarbidowe 1 : 1	355,0	131,0	13,1
7.	Błoto pochromowe: wapno pokarbidowe 1 : 2	130,0	72,4	13,2
8.	Błoto pochromowe: wapno pokarbidowe 1 : 3	196,0	127,0	12,4
9.	Błoto pochromowe: wapno pokarbidowe 1 : 4	110,0	145,0	12,35
10.	Błoto pochromowe: wapno pokarbidowe: popioły 1 : 3 : 1	583,0	2250,0	11,5
11.	Błoto pochromowe: wapno pokarbidowe: popioły 1 : 4 : 2	264,0	1550,0	12,7

**Tablica 3.** Warunki zestalania się mieszanin i zawartość arsenu w odciekach wodnych

Lp.	Skład mieszaniny	Czas wiązania doba		Rozmakalność			Stężenia	
		początek	koniec	po 4 h	po 24 h	po 30 dobach	arsen <sup>1)</sup> mg/dm <sup>3</sup>	arsen <sup>2)</sup> mg/dm <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Wyniki testu wymywalności	-	-	-	-	-	-	-
2.	Odpady arsenowe: odpady poflotacyjne II 1 : 1	-	-	rozpad	-	-	90,0	34,8
3.	Odpady arsenowe: odpady poflotacyjne I: popioły 1 : 1 : 1	18h	1	bez zmian	bez zmian	bez zmian	243,0	56,3
4.	Odpady arsenowe: odpady poflotacyjne II: wapno 1 : 1 : 1	20		bez zmian	bez zmian	bez zmian	141,0	56,9
5.	Odpady arsenowe: wapno: popioły: woda 1 : 1 : 1 : 1	1	3	bez zmian	bez zmian	bez zmian	11,0	14,8
6.	Odpady arsenowe: wapno: popioły: woda 1 : 1 : 2 : 2	3	6	rozpad	-	-	5,15	37,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7.	Odpady arsenowe: wapno: popioły: woda 1 : 2 : 1 : 1	6	9	bez zmian	bez zmian	bez zmian	7,2	12,9
8.	Odpady arsenowe: wapno: popioły: woda 1 : 2 : 1 : 0,5	4	7	bez zmian	bez zmian	bez zmian	5,2	1,3
9.	Odpady arsenowe: wapno: popioły: woda 1 : 2 : 2 : 2	5	11	bez zmian	bez zmian	bez zmian	7,1	0,94
10.	Odpady arsenowe: wapno: popioły 1 : 3 : 1	4	5	bez zmian	bez zmian	bez zmian	0,9	0,04
11.	Odpady arsenowe: wapno: popioły 1 : 4 : 1	2	5	bez zmian	bez zmian	bez zmian	0,91	0,16
12.	Odpady arsenowe: wapno: popioły 1 : 4 : 2	1	4	bez zmian	bez zmian	bez zmian	1,05	0,095

<sup>1)</sup> Stężenie jonu zostało oznaczone.

<sup>2)</sup> Stężenie jonu zostało przeliczone w stosunku do masy odpadu z kolumny 3 tablicy 1.

**Tablica 4.** Warunki zestalania się mieszanin i analiza chromu w odciekach wodnych

Lp.	Rodzaj mieszaniny i jej skład	Czas wiązania doba		Rozmakalność			Stężenia	
		początek	koniec	po 4 h	po 24 h	po 30 dobach	chrom <sup>+6(1)</sup> mg/dm <sup>3</sup>	chrom <sup>+6(2)</sup> mg/dm <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Wyniki testu wymywalności	-	-	-	-	-	-	-
2.	Błoto pochromowe: odpady poflotacyjne I 1 : 1	-	-	bez zmian	bez zmian	bez zmian	86,5	145,5
3.	Błoto pochromowe: odpady poflotacyjne II 1 : 1	-	-	rozpad	-	-	70,9	69,82
4.	Błoto pochromowe: odpady poflotacyjne I: popioły: woda 1 : 1 : 1 : 0,5	3	5	bez zmian	bez zmian	bez zmian	30,3	33,4
5.	Błoto pochromowe: popioły: woda 1 : 1 : 1	3	5	bez zmian	bez zmian	bez zmian	59,5	60,6
6.	Błoto pochromowe: wapno pokarbidowe 1 : 1	5	7	bez zmian	bez zmian	bez zmian	42,4	31,6
7.	Błoto pochromowe: wapno pokarbidowe 1 : 2	16	23	bez zmian	bez zmian	bez zmian	18,5	10,0
8.	Błoto pochromowe: wapno pokarbidowe 1 : 3	6	13	bez zmian	bez zmian	bez zmian	1,65	8,82
9.	Błoto pochromowe: wapno pokarbidowe 1 : 4	8	13	bez zmian	bez zmian	bez zmian	3,76	6,92
10.	Błoto pochromowe: wapno pokarbidowe: popioły 1 : 3 : 1	3	5	bez zmian	bez zmian	bez zmian	3,5	20,64
11.	Błoto pochromowe: wapno pokarbidowe: popioły 1 : 4 : 2	3	5	bez zmian	bez zmian	bez zmian	2,16	6,14

<sup>1)</sup> Stężenie jonu zostało oznaczone.

<sup>2)</sup> Stężenie jonu zostało przeliczone w stosunku do masy odpadu z kolumny 3 tablicy 2.

#### 4. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Wyciąg wodny z mieszanin zawierających odpady arsenowe zawierał największą ilość jonów arsenu  $2050 \text{ mg/dm}^3$  i charakteryzował się silnie kwaśnym odczynem wynoszącym pH 1,25 (tabl. 1). Równie silnie kwaśny odczyn (pH = 1,33) lecz znacznie mniejsza zawartość jonów arsenu, była w odcieku wodnym (próbka nr 2) z mieszaniny odpadów arsenowych z odpadami poflotacyjnymi. Efekt ten był najprawdopodobniej wynikiem sorpcji jonów arsenu na odpadach poflotacyjnych. Nie był to jednak proces trwały, gdyż po 30 dniach w odcieku wodnym stwierdzono znacznie więcej jonów arsenowych ( $90,0 \text{ mg/dm}^3$ , tabl. 3, kolumna 8) w odniesieniu do takiej samej masy odpadów arsenowych niż w odcieku wodnym analizowanym po 24 godzinach od chwili sporządzenia mieszaniny ( $34,8 \text{ mg/dm}^3$ , tabl. 3 kolumna 9).

Wody z mieszanin składających się z odpadów poflotacyjnych oraz z różnych zawartości wapna pokarbidowego lub produktów odsiarczania (próbki 3 i 4) zawierały znaczne ilości jonów, mimo, że część z nich została zaadsorbowana na odpadach poflotacyjnych i także związana z metalami zawartymi w produktach odsiarczania i wapnie. Przy kwaśnym odczynie (pH = 3,55 i pH = 5,1), w odcieku wodnym rozpuszczają się siarczki żelaza, cynku lub kompleksy związków siarki zawartych w produktach odsiarczania, co może powodować rozpuszczanie się odpadu arsenowego (siarczek arsenu) (Jaroń-Kocot 2003). W powtórzonym wyciągu wodnym stwierdzono znacznie więcej jonów arsenu – odpowiednio  $243 \text{ mg/dm}^3$  i  $141 \text{ mg/dm}^3$  (tabl. 3, kolumna 8) aniżeli w odcieku wodnym 3 i 4 w przeliczeniu do takiej samej masy odpadów arsenowych ( $56,3 \text{ mg/dm}^3$  i  $56,9 \text{ mg/dm}^3$ , tabl. 3, kolumna 9).

W wodach pochodzących z mieszanin zawierających odpady arsenowe, wapno pokarbidowe, produkty odsiarczania i wodę kopalnianą (próbki 5 i 7) stwierdzono mniejsze stężenia jonów arsenu. Również zmniejszyła się ilość arsenu uwolniona w sporządzonym ponownie wyciągu wodnym (tabl. 3, kolumna 8). Większa zawartość wody w mieszaninie pogarszała trwałość wiązania się jonów arsenu z metalami zawartymi w popiołach lotnych i wapnie pokarbidowym (próbka 6).

Dodawanie do odpadów arsenowych jeszcze większych ilości wapna pokarbidowego i produktów odsiarczania powodowało zmniejszanie się ilości jonów arsenu rozpuszczających się w wodzie (próbki 8, 9, 10 i 11). Z zestalonych mieszanin (próbek 8, 9, 10 i 11) do wód uwalniały się również niewielkie ilości jonów arsenu.

Najmniej jonów arsenu uwalniało się z odpadów arsenowych do wód z mieszaniny wapna pokarbidowego i produktów odsiarczania w stosunku wagowym 1:3:1, a ilość uwolnionych z niej jonów arsenu wynosiła  $0,96 \text{ mg/dm}^3$ , przy pH = 8,9. Była to mieszanina, która podczas mieszania zachowywała dobrą płynność i miała krótki czas zestalania – 4 doby.

Mając na uwadze powyższe wyniki badań można przypuszczać, że w środowisku zasadowym, w obecności wapna pokarbidowego i produktów odsiarczania, rozpuszczalność jonów arsenu w wodach jest ograniczona, gdyż najprawdopodobniej jony te ulegają sorpcji na tych odpadach.

Podobnie zachowały się jony chromu sześciowartościowego. Najmniejsze zawartości chromu sześciowartościowego stwierdzono w odciekach wodnych otrzymanych z mieszanin błota pochromowego z wapnem pokarbidowym. Prawdopo-



dobnie w wyniku obecności zanieczyszczeń towarzyszących wapnu pokarbidowemu (węgiel wapnia, siarczki amonu), chrom sześciowartościowy został zredukowany do chromu trójwartościowego, a następnie strącony jako wodorotlenek  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ . Z mieszaniny błota pochromowego z wapnem pokarbidowym w stosunku wagowym 1:3 uwalniała się najmniejsza ilość jonów  $\text{Cr}^{+6}$  ( $110 \text{ mg/dm}^3$ ). Mieszanina ta wykazywała również dobre właściwości wiążące. W powtórzonym wyciągu wodnym, uwolniło się do wody znacznie mniej jonów chromu sześciowartościowego –  $3,76 \text{ mg/dm}^3$  (tabl. 4, kolumna 8) niż przed jej zestaleniem, w stosunku do ich ilości stwierdzonej w odcieku wodnym 9 w przeliczeniu do takiej samej masy błota pochromowego –  $6,92 \text{ mg/dm}^3$  (tabl. 4, kolumna 9).

Mniejsze ilości chromu sześciowartościowego uwalniały się również z mieszaniny zawierającej błoto pochromowe, wapno pokarbidowe i produkty odsiarczania w proporcjach wagowych 1:4:2. Zwiększanie ilości produktów odsiarczania powodowało jednak utratę płynności próbek.

W wyciągu wodnym po 30 dniach od czasu zestalenia się próbek uwalniały się do wody jony  $\text{Cr}^{+6}$  w ilościach różnych w stosunku do próbek wyjściowych w przeliczeniu na taką samą masę odpadów. Do wód o pH na poziomie 12–13 uwalniały się większe ilości jonów, natomiast, gdy pH obniżało się do około  $\sim 10$ , jony chromu (VI) rozpuściły się w ilościach o połowę mniejszych.

## PODSUMOWANIE

Badania wód z odpadów arsenowych i błota pochromowego, a także z ich mieszanin z odpadami poflotacyjnymi, produktami odsiarczania z kotła fluidalnego i wapnem pokarbidowym, w odpowiednio dobranych proporcjach wagowych, wykazały, że ilości uwalniających się do wody jonów arsenu i chromu (VI) można ograniczyć przez zestalenie odpadów przemysłu chemicznego z wapnem pokarbidowym i produktami odsiarczania z kotłów fluidalnych. Ilości tych jonów zależnie od składu mieszanin były różne. Najmniejsza ilość jonów arsenu przedostawała się do wód z odpadów arsenowych zmieszanych z wapnem pokarbidowym w ilości trzykrotnie większej od masy odpadów arsenowych i produktami odsiarczania z kotła fluidalnego o takiej samej masie jak odpady zawierające arsen. W przypadku błota pochromowego najkorzystniejsze wyniki uzyskano z mieszaniny zawierającej w swym składzie czterokrotnie więcej wapna pokarbidowego niż masa błota.

Mimo trwałego zestalenia się mieszanin odpadów uwalniały się z nich do wody jony arsenu i chromu sześciowartościowego. W niektórych przypadkach były to ilości wielokrotnie mniejsze, a w niektórych porównywalne z tymi, które otrzymano przed zestaleniem się mieszanin. Jednak występują i dlatego też odpady przemysłu chemicznego nie mogą być składowane na powierzchni, powinny być przechowywane w mogilnikach.

## Literatura

1. Grabas K., Steininger M. (2005): *Usuwanie metali ciężkich ze ścieków przemysłowych z wykorzystaniem modyfikowanych adsorbentów mineralno-węglowych „Hydrosorb”*. Przemysł Chemiczny nr 84/3.



2. Helios-Rybicka E., Koziół J. (1991): *Rola mineralów ilastych w wiązaniu metali ciężkich w środowisku wodnym*. Zeszyty Naukowe AGH, Sozologia i Sozotechnika z. 31.
3. Jaroń-Kocot M. (2002): *Charakterystyka i minimalizacja skażeń powietrza i wody w procesie podziemnego lokowania drobnopowłokowych odpadów powęglowych i energetycznych*. Praca doktorska. Katowice, GIG.
4. Jaroń-Kocot M., Sablik J. (2003): *Minimalizacja skażeń wód dołowych związkami chromu w procesie podziemnego lokowania popiołów lotnych*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 10.
5. Pajdowski L. (1981): *Chemia ogólna*. Warszawa, PWN.
6. Trzebiatowski W. (1953): *Chemia nieorganiczna*. Warszawa, PWN.

**Recenzent:** dr inż. Irena Pluta