
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 30
(lipiec–wrzesień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

Rok X

Warszawa–Opole 2017

CECYLIA DZIUBAK*
KATARZYNA STEC**

Próby utylizacji odpadów nieorganicznych zawierających związki wanadu powstających podczas produkcji pigmentów ceramicznych

Słowa kluczowe: ceramizacja, utylizacja, ścieki wanadowe, sorpcja, immobilizacja.

W produkcji pigmentów ceramicznych wykorzystujących związki metali grup przejściowych powstają technologiczne odpady stałe, ciekłe i gazowe o różnym stopniu toksyczności.

Duże stężenie toksycznych zanieczyszczeń ścieków technologicznych powoduje, że ich utylizacja, konieczna w świetle aktualnych wymagań środowiskowych, jest utrudniona i kosztowna, a często również niepełna. Stosowane zazwyczaj strącanie osadów, prowadzące do nadal kłopotliwego produktu odpadowego, jest tylko częściowym rozwiązaniem problemu, trudnym do realizacji i nieefektywnym, zwłaszcza w przypadku ścieków zawierających związki wanadu.

W pracy przedstawiono wyniki badań immobilizacji odpadów wanadowych metodą spiekania z wykorzystaniem różnych materiałów naturalnych. Do utylizacji tych odpadów zastosowano z pozytywnym skutkiem również techniki mikrofalowe.

1. Wprowadzenie

Wraz z rozwojem gospodarczym świata i wzrostem poziomu życia ludzi zwiększa się ilość niebezpiecznych odpadów przemysłowych i komunalnych o zróżnicowanej szkodliwości i toksyczności, które w przypadku niewłaściwego z nimi postępowania powodują degradację i stwarzają realne zagrożenie środowiska naturalnego. W zależności od charakterystyki, część odpadów jest poddawana recyklingowi, znaczna część ulega spalaniu, a niewykorzystane w tych dwóch procesach są składowane na wysypiskach [1–2]. Pozytywnym efektem spala-

* Dr hab., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, c.dziubak@icimb.pl

** Dr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach, k.stec@icimb.pl

nia odpadów jest znaczące zmniejszenie ich objętości oraz wytwarzanie energii cieplnej. Jednak powstające w procesie wtórne odpady stałe, jak: żużel, popioły i pyły zawierają nadal toksyczne, niekiedy radioaktywne, nieorganiczne związki w tym metali ciężkich, które ze względu na rozpuszczalność (w wodzie) nie spełniają wymagań środowiskowych podczas składowania. Produkty spiekania zawierają jednak wiele cennych składników i mimo swej toksyczności mogą być wykorzystane jako dodatek modyfikujący w procesach wytwarzania spiekanych termicznie materiałów budowlanych ze szkła i ceramiki [3–9].

Witryfikacja i ceramizacja odpadów prowadząca do wytworzenia spieków szklanych i szklano-ceramicznych jest najbardziej skutecznym sposobem ich unieszkodliwiania. Niebezpieczne odpady, w tym radioaktywne, wprowadzane do zestawu surowcowego szkieł borowo-krzemianowych (o małej zawartości alkaliów), wbudowują się jako modyfikatory do struktury szkła [10]. Toksyczne składniki wbudowane do nierozpuszczalnej struktury szklano-ceramicznej spieku nie przedostają się do wód gruntowych podczas składowania i nie stwarzają zagrożenia skażenia wody i środowiska [11]. Mniej skuteczne jest betonowanie toksycznych odpadów, gdyż z czasem może nastąpić ich uwalnianie do otoczenia na skutek wietrzenia i niszczenia bakteryjnego betonów [12].

Osobną grupę odpadów przemysłowych, znacznie trudniejszych do utylizacji, stanowią odpady ciekłe, które powstają w garbarni, galwanizerni oraz przy produkcji pigmentów ceramicznych. W procesie produkcji pigmentów ceramicznych powstają ścieki technologiczne o różnych właściwościach w zależności od metody przygotowania zestawów surowcowych oraz zastosowanych dodatków chromoforowych i mineralizatorów. Skład chemiczny ścieków ściśle zależy od rodzaju syntezowanego pigmentu i można powiedzieć, że jest jego cechą charakterystyczną. Dla każdego rodzaju ścieków, odpowiednio do ich charakterystyki fizykochemicznej i toksyczności, wymagane są przy utylizacji indywidualne, specjalne procedury postępowania rozszerzone o metody chemiczne.

Bardzo toksyczne są ścieki powstające w procesie wytwarzania: cyrkonowego pigmentu niebieskiego $ZrSiO_4(V)$ i żółtego pigmentu o strukturze baddeleyitu $ZrO_2(V)$ zawierające związki wanadu, ponieważ w obu przypadkach wanadan amonowy jest surowcem chromoforowym, a wymagana efektywność wbudowania go do struktury krystalicznej pigmentu jest uwarunkowana nadmiarem w zestawie surowcowym. To powoduje, że po wbudowaniu chromoforu wanadowego do sieci krystalicznej ZrO_2 i $ZrSiO_4$, pewna jego część jest adsorbowana powierzchniowo na ziarnach pigmentu oraz występuje w ściekach w postaci rozpuszczalnych poliwanadanów $(VO_3^-)_n$, które w zależności od stężenia i pH roztworu przechodzą w związki innego rodzaju, np.:



Niezależnie od formy chemicznej rozpuszczalne wanadany, powodujące toksyczność ścieków technologicznych, są trudne do unieszkodliwienia prostymi metodami.

W niniejszym artykule opisano próby utylizacji toksycznych związków wanadu znajdujących się w ściekach technologicznych powstających podczas produkcji (w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych) pigmentów cyrkonowo-wanadowych: żółtego $ZrO_2(V)$ i niebieskiego $ZrSiO_4(V)$.

2. Wykonanie badań

Celem badań było opracowanie metody utylizacji toksycznych związków wanadu znajdujących się w ściekach technologicznych powstających podczas produkcji ceramicznych pigmentów cyrkonowo-wanadowych: żółtego $ZrO_2(V)$ i niebieskiego $ZrSiO_4(V)$.

Badaniami objęto dwa rodzaje ścieków odpowiednio do dwóch typów pigmentów ceramicznych wytwarzanych z udziałem związków wanadu: ściek o stężeniu 1336 mg V/dm^3 i $\text{pH} = 5,4$ oznaczony symbolem ZrV, powstający podczas produkcji żółtego pigmentu na bazie ZrO_2 oraz drugi (CV) o stężeniu 400 mg V/dm^3 i $\text{pH} = 11,5$, powstający podczas produkcji niebieskiego pigmentu o strukturze cyrkonu ($ZrSiO_4$).

Wykorzystano do utylizacji metodę chemiczną, gdzie zastosowano czynniki kompleksujące EDTA (komplekson III), CDTA (komplekson IV) oraz kompleksy na bazie tlenku glinu, kaolinu i szkła wodnego (SAK 1200), a także tlenku glinu, kaolinu i glifosu (SAK 1600), w środowisku kwaśnym i zasadowym w różnej temperaturze 10°C i 80°C . Metodą fizyczną była ceramizacja mieszaniny surowców mineralnych: bentonitu i kaolinitu oraz odpadowego katalizatora cerowego z zaadsorbowanymi ze ścieku związkami wanadu. Przeprowadzono też próby usuwania związków wanadu ze ścieków z wykorzystaniem mikrofal.

Kaolin (Jęglowa) i bentonit (Ziębiec) w stanie surowym oraz po przepaźeniu w temperaturze 400 , 700 , 900 i 1200°C mieszano ze ściekiem w stosunku wagowym $2:1$ w laboratoryjnym mieszadle do uzyskania jednolitej masy, którą następnie suszono. W taki sposób do 100 g substancji adsorbującej dodawano ze ściekiem związki wanadu w ilości $66,8 \text{ mg V}$ i 40 mg V . Otrzymane masy po wysuszeniu były kalcynowane ponownie w temperaturze 400 , 700 , 900 i 1200°C , celem wbudowania wanadu do struktury otrzymanych spieków. W przypadku katalizatora cerowego, po jego zmieleniu do uziarnienia $d_{50} = 2,11 \mu\text{m}$, do masy 100 g wprowadzano ze ściekiem wanad w ilości $70,3 \text{ mg}$ w przeliczeniu na V, po czym wysuszoną mieszaninę wypalano w temperaturze 1200°C . Wszystkie spieki mielono na mokro z dodatkiem wody w stosunku wagowym $1:1$, co powodowało wymywanie ze struktury wanadu niewbudowanego.

Oznaczanie stężenia związków wanadu w otrzymanym roztworze wodnym wykonano w Laboratorium Badań Materiałów Ogniotrwałych metodą nieakredytowaną według normy PN-EN ISO 12677:2005 – Analiza chemiczna wyrobów ogniotrwałych techniką XRF oraz według nieakredytowanej procedury badawczej PBA-37/wyd. 4 z 26.05.2010 r.

Z różnicy ilości wanadu wprowadzonego do spiekanego zestawu i odmytego wodą ze spieku określano skuteczność usuwania wanadu ze ścieku, odpowiednio do zastosowanej metody.

3. Wyniki badań i dyskusja

3.1. Usuwanie wanadu ze ścieków metodą chemiczną

Badano dwa rodzaje ścieków o stężeniu 1336 mg V/dm³ i 400 mg V/dm³ odpowiednio do dwóch typów produkowanych pigmentów: żółtego ZrO₂(V) i niebieskiego ZrSiO₄(V). Zastosowano odczynniki kompleksujące: EDTA (komplekson III), CDTA (komplekson IV) oraz kompleksony o nazwie handlowej SAK 1200 i SAK 1600, następnie zmieniano odczyn ścieków oraz temperaturę. Wyniki eksperymentów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Wyniki badania zawartości wanadu w ścieku CV powstającym podczas produkcji niebieskiego pigmentu cyrkonowego jako efekt działania odczynnikami kompensującymi w środowisku kwaśnym i zasadowym w temperaturze stałej i zmiennej [13]

Czynnik kompleksujący	Stężenie wanadu w ścieku surowym [mg V/dm ³]	Stężenie wanadu w ścieku po procesie usuwania [mg V/dm ³]
Komplekson III	393	386
Komplekson VI	369	358
SAK 1200	368	365
SAK 1600	400	368
Odczyn kwaśny	393	369
Odczyn zasadowy	369	364
Temperatura 10°C	368	356
Temperatura 80°C	400	378

Tabela 2

Wyniki badania zawartości wanadu w ścieku ZrV powstającym podczas produkcji żółtego pigmentu cyrkonowego w wyniku działania odczynnikami kompensującymi w środowisku kwaśnym i zasadowym w temperaturze stałej i zmiennej [13]

Czynnik kompleksujący	Stężenie wanadu w ścieku surowym [mg V/dm ³]	Stężenie wanadu w ścieku po procesie usuwania [mg V/dm ³]
Komplekson III	1 185	1 025
Komplekson VI	1 210	1 031

cd. tab. 2

Czynnik kompleksujący	Stężenie wanadu w ścieku surowym [mg V/dm ³]	Stężenie wanadu w ścieku po procesie usuwania [mg V/dm ³]
SAK 1200	1 296	1 106
SAK 1600	1 336	1 168
Odczyn kwaśny	1 185	1 119
Odczyn zasadowy	1 210	1 098
Temperatura 10°C	1 296	1 203
Temperatura 80°C	1 336	1 213

Zastosowana metoda chemiczna, niezależnie od rodzaju czynnika kompleksującego i stężenia ścieku towarzyszącego produkcji pigmentu żółtego (1336 mg/dm³) i prawie trzykrotnie niższego (368–400 mg/dm³) stężenia ścieku pochodzącego od pigmentu niebieskiego ZrSiO₄(V), nie jest odpowiednia do usuwania rozpuszczalnego wanadu ze ścieków. Na wynik operacji nie ma wpływu ani pH roztworu, ani zmienne warunki temperaturowe (tab. 2).

3.2. Usuwanie związków wanadu ze ścieków poprzez ceramizację glinokrzemianowych surowców mineralnych

W przypadku bentonitu próbki do badań przygotowano przez mieszanie adsorbenta surowego i przeprażonego ze ściekiem o stężeniu związków wanadu wynoszącym 40 mg V/dm³. Temperaturę wstępnego prażenia bentonitu i temperaturę prażenia mieszanin bentonitu ze ściekiem wanadowym oraz stężenie wanadu niewbudowanego do struktury zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Wyniki usuwania wanadu ze ścieków przy wykorzystaniu bentonitu (Ziębiec) [13]

Temperatura wstępnej obróbki termicznej bentonitu [°C]	Zawartość wanadu wprowadzona do mieszaniny z bentonitem [mg V]	Temperatura prażenia mieszaniny bentonitu ze ściekiem [°C]	Zawartość związków wanadu niezaadsorbowanego przez bentonit [mg V]
Surowy	40	400	0,33
		700	0,67
		900	nie wykryto
400	40	400	nie wykryto
		700	nie wykryto
		900	nie wykryto
700	40	400	nie wykryto
		700	5,33
		900	9,65

cd. tab. 3

Temperatura wstępnej obróbki termicznej bentonitu [°C]	Zawartość wanadu wprowadzona do mieszaniny z bentonitem [mg V]	Temperatura prażenia mieszaniny bentonitu ze ściekiem [°C]	Zawartość związków wanadu niezaadsorbowanego przez bentonit [mg V]
900	40	400	3,35
		700	32,85
		900	30,82
1200	40	400	34,21
		700	35,31
		900	31,26

Z analizy danych zestawionych w tabeli 3 wynika, że podczas prażenia mieszaniny (bentonit + zaadsorbowane związki wanadu) następuje wbudowanie wanadu do struktury spieku w ilości uzależnionej od temperatury wstępnego prażenia bentonitu oraz temperatury wypalania ponownego. Przeprowadzone badania świadczą o tym, że najlepsze właściwości sorpcyjne ma materiał otrzymany z bentonitu przeprażonego wstępnie w temperaturze 400°C, gdyż adsorbuje on całą zawartość wanadu podczas prażenia ponownego w temperaturze z zakresu 400–900°C. Bentonit surowy wykazuje dobre właściwości sorpcyjne po wyprażeniu mieszaniny ze ściekiem w temperaturze 900°C, a bentonit wstępnie prażony w temperaturze 700°C jest najbardziej aktywny po ponownym przeprażeniu w temperaturze 400°C. Ze wzrostem temperatury wstępnego prażenia bentonitu (od 700 do 1200°C) zmieniają się niekorzystnie jego właściwości sorpcyjne, co przejawia się zmniejszeniem ilości adsorbowanego wanadu.

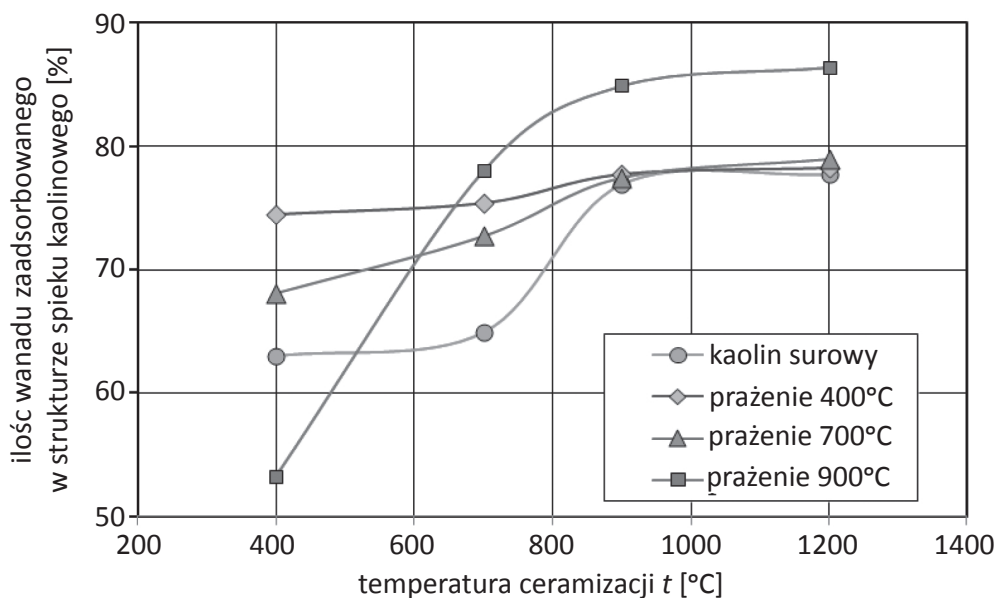
Optymalnymi warunkami usuwania wanadu ze ścieków za pomocą bentonitu jest wstępna obróbka termiczna w temperaturze 400°C, a następnie po zaadsorbowaniu związków wanadu ze ścieków związanie go w trwały spiek w temperaturze 400–900°C.

Do kaolinu (Jęglowa) surowego i przeprażonego dodawano ze ściekiem związki wanadu w ilości 66,8 mg (V). Po przeprażeniu mieszaniny i zmieleniu spieku przy stosunku do wody wynoszącym 1:1, oznaczono zawartość niewbudowanego wanadu (tab. 4, k. 3) i na podstawie obliczonego udziału wanadu w spieku określono efektywność oczyszczania ścieku przez masę kaolinową (ryc. 1).

Tabela 4

Bilans związków wanadu po procesie adsorbowania go przez kaolin (Jęglowa)
w różnych warunkach termicznych [13]

Temperatura wstępnego prażenia kaolinu [°C]	Temperatura prażenia mieszaniny [°C]	Ilość wanadu odmytego od masy po przeprażeniu [mg V]	Ilość wanadu wbudowanego do struktury podczas prażenia [mg V]	Procentowa zawartość wanadu zaadsorbowanego do struktury [%]
1	2	3	4	5
-	400	24,73	42,07	63,0
	700	23,43	43,37	64,9
	900	15,44	51,36	76,9
	1 200	14,88	51,92	77,7
400	400	17,07	49,73	74,5
	700	16,45	50,35	75,4
	900	14,92	51,88	77,7
	1 200	14,56	52,24	78,2
700	400	21,28	45,52	68,1
	700	18,27	48,53	72,7
	900	15,08	51,72	77,4
	1 200	14,09	52,71	78,9
900	400	35,52	31,28	53,2
	700	14,71	52,09	78,0
	900	10,11	56,69	84,9
	1 200	9,09	57,71	86,4



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 1. Wykres zawartości wanadu wbudowanego do struktury spieku w zależności od temperatury wstępnego prażenia kaolinu i temperatury ceramizacji

Z porównania danych z tabel 3 i 4 wynika, że skuteczność adsorpcyjna kaolinu jest niższa niż bentonitu i wynosi 63,0–86,4% związków wanadu w przeliczeniu na V, zaadsorbowanych do struktury spieku. Wyższą efektywność adsorpcji wykazuje kaolin prażony. Wzrost efektywności adsorpcji wanadu następuje wraz ze wzrostem temperatury prażenia mieszanki kaolinu ze ściekiem. Jako górną granicę temperatury ceramizacji należy przyjąć 900°C. Podwyższenie tej temperatury do 1200°C powoduje wzrost wbudowania zaledwie o 0,5–1,5%.

Celem identyfikacji formy wanadu wbudowanego do struktury wybrane spieki po zmieleniu i odmyciu poddano analizie rentgenowskiej (tab. 5).

Tabela 5

Wyniki identyfikacji faz krystalicznych w spiekach otrzymanych z kaolinu z dodatkiem ścieku wanadowego

Charakterystyka spieków	Kaolin surowy	Prażenie wstępne 400°C	Kaolin surowy
	prażenie 700°C	prażenie (ponowne) 700°C	prażenie 1200°C
Fazy krystaliczne	kwarc, rutil _(sl.)	kwarc	kwarc, mullit, rutil _(sl.)
Pasma rozpraszania charakterystyczne dla fazy amorficznej [Å]	4,22; 3,49	4,21; 3,50	4,10; 2,40; 1,977; 1,398

Źródło: Opracowanie własne.

W żadnym z badanych układów nie stwierdzono występowania krystalicznej formy wanadu.

3.3. Usuwanie związków wanadu ze ścieków za pomocą odpadowego katalizatora cerowego

Odpadowy katalizator cerowy, mielony do uziarnienia $d_{50} = 2,11 \mu\text{m}$ o masie 100 g mieszano ze ściekiem wprowadzającym związki wanadu w ilości 70,3 mg (V), po czym mieszaninę wypalono w temperaturze 1200°C, zakładając wbudowanie części wanadu do struktury. Po zmieleniu spieku i oznaczeniu związków wanadu w roztworze nad osadem otrzymano wynik 0,72 mg V (tab. 6). Związanie 99% wanadu wprowadzonego do zestawu przed prażeniem świadczy o bardzo dobrych właściwościach sorpcyjnych katalizatora cerowego.

Tabela 6

Wyniki adsorpcji wanadu przez odpadowy katalizator cerowy

Zawartość wanadu wprowadzona z ciekim do mieszaniny [mg V]	Ilość wanadu oznaczona w roztworze po mieleniu spieku, do którego została wbudowana część wanadu [mg V]	Ilość wanadu związana przez odpadowy katalizator [%]	Skład fazowy katalizatora prażonego po adsorpcji wanadu
70,3	0,72	99,0	cerianit CeO ₂ , spinel o niezidentyfikowanym składzie

Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie badań rentgenowskich przyjęto interpretację, że związki wanadu wbudowując się do struktury tworzą z modyfikatorami katalizatora krystaliczną trwałą formę spinelu o niezidentyfikowanym składzie ilościowym.

3.4. Inne metody usuwania związków wanadu ze ścieków

Podjęto próby usuwania wanadu ze ścieków z zastosowaniem energii mikrofalowej. Objętość 100 dm³ ścieku o stężeniu 1458 mg V/dm³, pochodzącego z produkcji żółtego pigmentu ZrO₂(V), po szczelnym zamknięciu w naczyniu teflonowym, poddawano działaniu mikrofal według programu przedstawionego w tabeli 7.

Tabela 7

Warunki pracy systemu mikrofalowego zamkniętego – uzyskane wyniki [13]

Wyjściowe stężenie wanadu w ścieku [mg V/dm ³]	Czas pracy [min]	Moc [W]	Końcowe stężenie wanadu w ścieku [mg V/dm ³]
1458	5	200	58
	5	390	
	5	600	

Mikrofale powodują wzrost temperatury ścieku jako efekt kawitacji. Tarcie na skutek drgań cząstek wody zawartej w ścieku oraz obniżenie ciśnienia wywołują burzliwy przepływ cieczy, w którym bierze udział wiele faz jednej substancji, np. woda w fazie ciekłej i gazowej oraz zanieczyszczenia. W wyniku różnorodnych przemian termodynamicznych występujących podczas działania mikrofal następuje wytrącenie się zanieczyszczeń zawartych w ścieku. Po procesie zaobserwowano w naczyniu klarowną, przezroczystą ciecz nadosadową oraz brązowo-żółty osad na dole naczynia. Analiza chemiczna wykazała, że ze stężenia 1458 mg V/dm³ wanadu znajdującego się w ścieku, po procesie w cieczy nadosadowej pozostało 58 mg V/dm³, co wskazuje na ok. 95% efektywność metody. Metoda ta pozwoliła więc na bardzo skuteczne oczyszczanie ścieków z trudno usuwalnych związków wanadu.

4. Podsumowanie

– Unieszkodliwianie ścieków wanadowych z wykorzystaniem metody ceramizacji zostało potwierdzone dla bentonitu, kaolinitu i materiału odpadowego zawierającego CeO₂ jako fazę główną. Skuteczność metody jest zróżnicowana w zależności od rodzaju sorbentu i temperatury ceramizacji. Ze względu na konieczność stosowania procesów termicznych metoda jest wysokoenergetyczna dla każdego zastosowanego materiału.

– Dobrze rokuje zastosowanie mikrofal do utylizacji ścieków. Kawitacja występująca w ścieku w czasie działania ultradźwięków powoduje wytrącenie się

związków wanadu i prawdopodobnie będzie to najbardziej efektywna metoda, także z energetycznego punktu widzenia. Unieszkodliwienie ścieków wanadowych przeprowadzono z ok. 95% skutecznością.

– Wymagane jest potwierdzenie efektywności przedstawionej, nowatorskiej metody utylizacji za pomocą mikrofal poprzez sprawdzenie jej w innych warunkach i dla ścieków o innej charakterystyce. Konieczna jest także ocena energochłonności procesu*.

Literatura

- [1] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz.U. z 2001 r. nr 62, poz. 627.
- [2] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach, Dz.U. z 2001 r. nr 62, poz. 628.
- [3] Z a w a d a A., Ł ę g o w i k I., S t r z e l e c k a M., *Immobilizacja nieorganicznych odpadów stałych w materiałach spiekanych*, „Szkło i Ceramika” 2013, nr 2, s. 14–18.
- [4] D z i u b a k C., S z a m a ł e k K., B y l i n a P., *Ocena możliwości wytwarzania propantu ceramicznego metodą „granulowanie–spiekanie”*, „Szkło i Ceramika” 2012, nr 5, s. 2–6.
- [5] J a k u b i u k T., Ł o s i e w i c z A., T a ź b i e r s k i P., *Wykorzystanie odpadów komunalnych do wytwarzania katalizatorów ceramicznych*, „Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” 2012, nr 9, s. 78–88.
- [6] J a k u b i u k T., Ł o s i e w i c z A., T a ź b i e r s k i P., *Badania nad technologią wytwarzania materiałów podsadzkowych (propantów) stosowanych przy wydobywaniu gazu łupkowego. Cz. 2 – Otrzymywane propantów poprzez suszenie zawiesiny w suszarni rozpyłowej*, „Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” 2015, nr 23, s. 39–48.
- [7] Z a w a d a A., P r z e r a d a I., *Amorficzno-kryształiczne materiały spiekane otrzymane na bazie drobnofrakcyjnych surowców odpadowych*, „Szkło i Ceramika” 2011, nr 1, s. 36–41.
- [8] D r a j e w i c z M., C h o l e w a - K o w a l s k a K., W a s y ł a k J., *Zastosowanie surowców odpadowych w procesie topienia szkła*, „Szkło i Ceramika” 2009, nr 6, s. 8–11.
- [9] C h o l e w a - K o w a l s k a K., D r a j e w i c z M., W a s y ł a k J., J a r z ą b D., J o p M., *Surowce odpadowe w procesie topienia szkła*, „Szkło i Ceramika” 2011, nr 1, s. 32–35.
- [10] C i e c i ń s k a M., *Szkła dla immobilizacji odpadów radioaktywnych*, „Szkło i Ceramika” 2010, nr 1, s. 16–19.
- [11] C i e c i ń s k a M., S t o c h P., *Szkła aktywowane mechanicznie do immobilizacji substancji szkodliwych*, „Szkło i Ceramika” 2010, nr 6, s. 26–30.
- [12] S t o c h P., S t o c h A., *Ceramizacja odpadów radioaktywnych*, „Materiały Ceramiczne” 2007, nr 3, s. 95–101.
- [13] D z i u b a k C., S t e c K., *Opracowanie metodyki unieszkodliwiania ścieków zawierających wanad, powstających przy produkcji ceramicznych pigmentów cyrkonowych*, Sprawozdanie ICiMB, Warszawa 2014.

* Praca została sfinansowana ze środków na działalność statutową Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych.

*CECYLIA DZIUBAK
KATARZYNA STEC*

ATTEMPTS TO TREAT INORGANIC WASTES CONTAINING VANADIUM
COMPOUNDS FORMED DURING THE PRODUCTION
OF CERAMIC PIGMENTS

Keywords: ceramisation, treatment, vanadium wastewater, sorption, immobilisation.

In the manufacture of ceramic pigments using transition metal compounds, technological solid, liquid and gaseous wastes are created, having various toxicity levels.

Due to high concentration of toxic pollutants in technological wastewater, their utilization in the light of current environmental requirements is difficult, expensive and often also incomplete. Commonly used sediment precipitation leading to still inconvenient waste product is only a partial solution to the problem, difficult to implementation and ineffective, especially for wastewater containing vanadium compounds.

Researches on vanadium waste immobilisation by sintering with the use of various natural materials were presented. Microwave techniques were applied to treatment of such wastes, with positive effects.