

Zygmunt KOWALSKI, Czesław MAZANEK  
Politechnika Krakowska, Kraków

## ANALIZA WSKAŹNIKÓW TECHNOLOGICZNYCH DLA RÓŻNYCH WARIANTÓW METODY PRODUKCJI CHROMIANU SODU Z RECYRKULACJĄ ODPADÓW CHROMOWYCH

**Streszczenie.** Przedstawiono wyniki analiz energochłonności i materiałochłonności produkcji chromianu sodu z zastosowaniem nowych rozwiązań technologicznych opartych na wynikach badań nad wykorzystaniem odpadów chromowych do produkcji chromianu (VI)sodu. Prace te prowadzono dla wyznaczenia optymalnych parametrów technologicznych, co w efekcie pozwala na wybór optymalnej koncepcji technologicznej. Analizę przeprowadzono dla pięciu wariantów nowych rozwiązań technologiczno-aparaturowych, w tym jednego zrealizowanego.

## ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL INDEXES FOR DIFFERENT VARIANTS OF THE SODIUM CHROMATE(VI) PRODUCTION PROCESS USING CHROMIC WASTES

**Summary.** Technological indexes for the different variants of sodium chromate(VI) production process with utilization of chromic wastes were calculated. Analysis of the results confirmed the advantages of new methods in comparison with old dolomite one.

### Wprowadzenie

Odpady zawierające chrom powstają w wielu dziedzinach przemysłu. Jedną piątą całkowitej ilości tych odpadów powstaje w przemyśle chemicznym, głównie przy produkcji chromianu(VI) sodu. W Polsce jedynym producentem związków chromu są Z.Ch. „Alwernia”, które co roku zrzucają na składowisko około 50 tys. ton odpadów chromowych. W efekcie w ciągu 50 lat produkcji zgromadzono na hałdach ponad 3 mln ton odpadów chromowych. Dalszych 0,5 mln ton znajduje się na terenie Z.Ch. „Rudniki”. Źródłem odpadów zawierających chrom jest również przemysł metalurgiczny, garbarski i galwaniczny. Generalnie, na zwalowiskach krajowych znajduje się około 5 mln ton tego toksycznego odpadu. Szczególnie niebezpieczne są odpady powstające przy produkcji chromianu(VI) sodu, zawierające do 2% Cr(VI) ze względu na jego kancerogenne działanie (Kowalski 1990; Kowalski, Cholewa, Mazanek 1998; Kowalski, Mazanek 1998; Kowalski, Mazanek, Wantuch 1998; Kowalski, Wantuch 1999).

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki analiz energochłonności i materiałochłonności produkcji chromianu sodu z zastosowaniem nowych rozwiązań technologicznych opartych na rezultatach badań nad wykorzystaniem odpadów chromowych do produkcji chromianu(VI) sodu. Badania miały na celu wyznaczenie optymalnych parametrów procesu produkcji chromianu(VI) sodu umożliwiających z kolei wybór optymalnej koncepcji technologicznej. Dla oceny analizowanych rozwiązań wykorzystano komputerową symulację każdego z wybranych wariantów, w oparciu o model matematyczny opisujący proces produkcji chromianu(VI) sodu. Model ten, tj. układ równań opisujący proces otrzymywania chromianu(VI) sodu w funkcji wybranych parametrów procesowych, pozwolił na wyznaczanie wielkości przydatnych do praktycznej oceny procesu, takich jak: masowe udziały stosowanych surowców, bilanse masowe podstawowych węzłów technologicznych, wskaźniki technologiczne, np.: wydajność jednostkową, sprawność procesu, ilość i zawartość związków chromu w odpadzie chromowym powstającym w procesie (Kowalski 1993; Kowalski, Waławska 1995; Kowalski, Waławska 1996; Waławska, Kowalski 1994; Waławska, Kowalski 1997; Waławska 1998; Waławska, Kowalski 1998).

Na podstawie uzyskanych wskaźników procesu, jak i danych projektowych o parametrach produkcji obliczono wskaźniki energo- i materiałochłonności dla pięciu wariantów nowych rozwiązań technologiczno-aparaturowych produkcji chromianu sodu (jednego zrealizowanego i czterech przyszłościowych). Dla porównania skalkulowano także te wskaźniki dla produkcji klasyczną metodą dolomitową (Projekt celowy 1999), stosowaną w Polsce do połowy 1999 roku. W analizach ujęto także wpływ restrukturyzacji tej produkcji na pracochłonność i poziom hałasu (będący także pewną miarą stopnia zużycia energii elektrycznej).

## 1. Wybór wariantów technologicznych

Zastosowanie odpadów chromowych, takich jak odpad otrzymywany w procesie wytwarzania chromianu sodu (tzw. błoto pochromowe) czy odpad z istniejących hałd z produkcji związków chromu w Z.Ch. „Alwernia” – zamiast wypełniacza dolomitowego oraz odpadu pogarbarskiego o wysokiej zawartości chromu(III), jako substytutu rudy chromowej, a także wprowadzenie różnego rodzaju recykulacji (wewnątrzprocesowej, wewnątrzzakładowej, pozazakładowej) pozwala na wielowariantowe prowadzenie procesu otrzymywania chromianu(VI) sodu o wspólnych węzłach technologicznych (Kowalski, Waławska 1995; Kowalski, Waławska 1996; Waławska, Kowalski 1997; Waławska 1998; Waławska, Kowalski 1998).

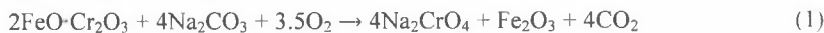
Zbiór węzłów technologicznych definiowany jest w tym przypadku jako zespół operacji i procesów jednostkowych. W procesie otrzymywania chromianu(VI) sodu można wyróżnić następujący zbiór podstawowych węzłów (Kowalski, Waławska 1996; Waławska 1998):

### 1. Przygotowanie wsadu

Obejmuje on operacje związane z przygotowaniem surowców typu: suszenie, mielenie, ważenie, mieszanie.

### 2. Otrzymywanie chromianu(VI) sodu

Węzeł ten obejmuje kalcynację mieszaniny surowców, ługowanie otrzymanego spieku chromianu(VI) sodu wodą, oddzielanie nierozpuszczalnych w wodzie zanieczyszczeń, przemywanie wodą otrzymanego odpadu chromowego. Główny proces to kalcynacja mieszaniny węglanu sodu i surowca chromonośnego – rudy chromowej, zawierającej chromit  $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$  lub odpadu pogarbarskiego zawierającego tlenek chromu(III) – prowadzona w temperaturze 1423K, w atmosferze utleniającej, w obecności wypełniacza rozcieńczającego produkty reakcji. Przebiega on według sumarycznej reakcji (Awierbuch, Pawłow 1973; Encyklopedia 1994; Nriagu, Nieboer 1995; Papp 1995):



W temperaturze procesu, zarówno węglan sodu ( $T_f = 1124\text{K}$ ) jak i powstający chromian(VI) sodu ( $T_f = 1065\text{K}$ ) występują w fazie ciekłej. Chromian(VI) sodu pojawia się już w temperaturze 873K jako produkt reakcji przebiegającej w fazie stałej, a w temperaturze 928K tworzy ciekłą mieszaninę eutektyczną  $\text{Na}_2\text{CrO}_4\text{--Na}_2\text{CO}_3$  zawierającą 62,5% mas.  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ . Obecność fazy ciekłej utrudnia dostęp tlenu do nie przereagowanych ziaren rudy chromowej zmniejszając szybkość reakcji, która zależy od szybkości dyfuzji tlenu z powietrza przez ciekłą warstwę stopów otaczających ziarna chromitu. Aby zwiększyć szybkość procesu utleniania, zmniejsza się grubość warstwy stopu poprzez zwiększenie powierzchni fazy stałej. Osiąga się to stosując drobno zmielone wypełniacze, którymi mogą być również odpady chromowe. Surowce chromonośne o wysokiej zawartości chromu(III) zawierają zwykle zanieczyszczenia typu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Dodatek tlenu wapnia wiąże je w związki trudno rozpuszczalne w wodzie wg reakcji:



### 3. Obróbka odpadu chromowego z bieżącej produkcji

Wilgotne błoto pochromowe (o zawartości 30–40%  $\text{H}_2\text{O}$ ) dzieli się w odpowiedniej proporcji na dwa strumienie, jeden strumień odprowadza się na składowisko odpadów, a drugi po suszeniu zwraca do procesu. Suszenie prowadzi się tylko w przypadku zawrotu błota pochromowego do węzła 1. Składowanie odpadu chromowego z bieżącej produkcji jest to węzeł umowny, symbolizujący magazynowanie odpadu chromowego z bieżącej produkcji chromianu(VI) sodu na składowisku odpadów chromowych.

### 4. Eksploatacja istniejącego składowiska odpadów chromowych

Jest to węzeł umowny, którego wprowadzenie pozwala na odróżnienie odpadu powstającego aktualnie w procesie od odpadów chromowych już nagromadzonych na składowisku i pobieranych z niego.

### 5. Suche wzbogacanie odpadu chromowego z istniejącego składowiska

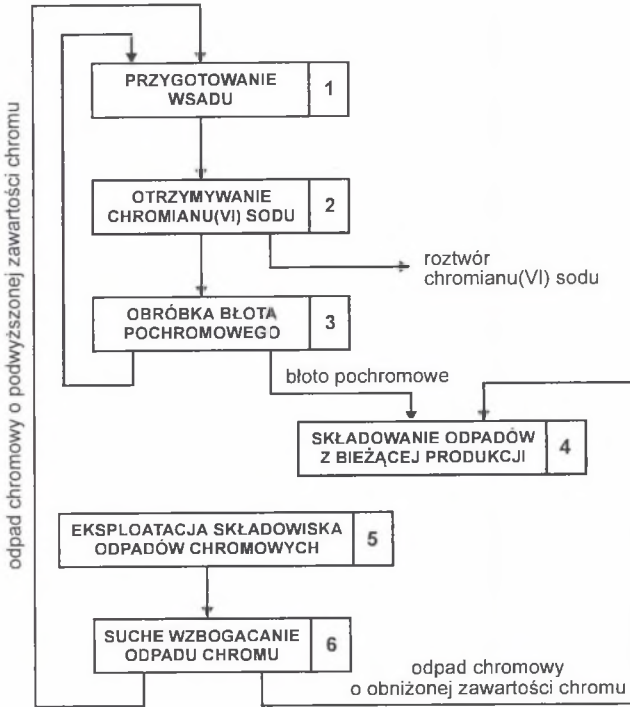
Pozwala na zwiększenie zawartości chromu w odpadzie chromowym wprowadzanym do procesu, poprzez wydzielenie frakcji o wyższej zawartości chromitu na drodze klasyfikacji ziarnowej (Kowalski, Waławska 1996; Waławska, Kowalski 1994; Waławska 1998; Waławska, Kowalski 1998). Obecność rudy chromowej w odpadzie z istniejącego składowiska wynika z jej niepełnego przereagowania w procesie otrzymywania chromianu(VI) sodu (równ. 1) powodując podwyższenie zawartości chromu(III) we frakcjach bliskich frakcji rudy chromowej, jaka jest stosowana w procesie, tj. około 100  $\mu\text{m}$  (Waławska 1998). Przedstawiony wybór węzłów narzucał sposób ich powiązań (rys. 1), wynikający z przebiegu procesu otrzymywania chromianu(VI) sodu (Waławska 1998):

Wyodrębniono dwie grupy wariantów nowych rozwiązań technologicznych, różniących się rodzajem stosowanego surowca chromonośnego o wysokiej zawartości chromu: A – warianty z rudą chromową, B – warianty z zastosowaniem zamiast rudy chromowej odpadu pogarbarskiego. Główne warianty podzielono następująco:

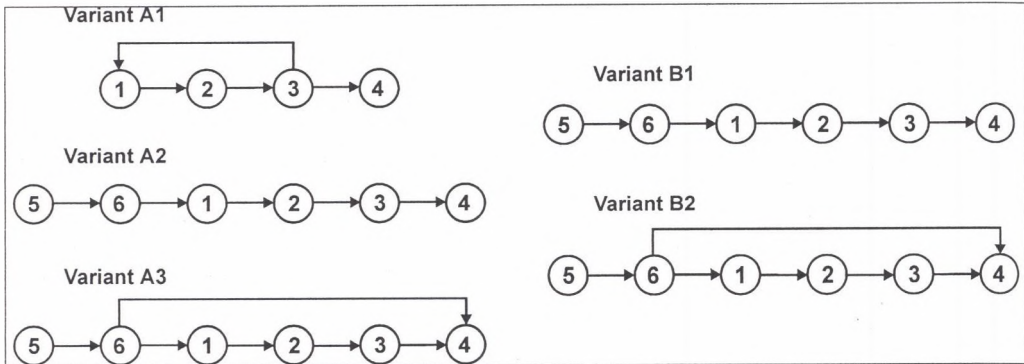
A1 – zastosowanie recykulacji wewnątrzprocesowej części powstającego odpadu chromowego;

A2 – zastosowanie recykulacji wewnątrzskładowej poprzez wprowadzenie do procesu odpadu chromowego z istniejącej hałdy;

A3 – zastosowanie recykulacji wewnątrzskładowej poprzez wprowadzenie do procesu odpadu chromowego o podwyższonej zawartości chromu po suchym wzbogacaniu;



Rys. 1. Schemat powiązań podstawowych węzłów procesu otrzymywania chromianu(VI) sodu  
 Fig. 1. Scheme of connections of the basic nodes in the sodium chromate (VI) producing process



Rys. 2. Warianty technologiczne produkcji chromianu(VI) sodu – połączenia węzłów  
 Fig. 2. Technological variants of sodium chromate(VI) production – connections of nodes

B1 – zastosowanie pozazakładowej recykulacji odpadów poprzez wprowadzenie do procesu odpadu pogarbarskiego i wewnątrzzakładowej wykorzystującej odpad chromowy z istniejącego składowiska;



B2 – zastosowanie pozazakładowej recykulacji odpadów poprzez wprowadzenie do procesu odpadu pogarbarskiego i recykulacji wewnątrzzakładowej wykorzystującej odpad chromowy ze składu o podwyższonej zawartości chromu po suchym wzbogacaniu.

Połączenia węzłów dla poszczególnych wariantów przedstawiono na rysunku 2.

## 2. Analiza wybranych wskaźników technologicznych

Wskaźnik energochłonności skumulowanej  $X_j$  definiowano (Kowalski 1990) jako sumę energii zużywaną we wszystkich fazach procesu produkcji poszczególnych związków chromu (GJ/t produktu). Materiałochłonność skumulowana  $M_j$  jest definiowana (Kowalski 1990) jako suma wskaźników zużycia wszystkich surowców potrzebnych do wytworzenia 1 t produktu. Pracochłonność  $PR$  obliczono w roboczogodzinach na jednostkę produktu. Wskaźnik procentowy stopnia zmniejszenia emisji hałasu  $H$  obliczono szacując liczbę urządzeń o poziomie natężenia hałasu powyżej 80 dB, wyeliminowanych w efekcie przeprowadzonej modernizacji, w stosunku do odpowiedniej liczby tych urządzeń w metodzie dolomitowej.

Tablica 1

Zużycie surowców i czynników energetycznych dla różnych wariantów produkcji chromianu(VI) sodu

Surowce i czynniki energetyczne	Cena jednost. [zł]	Wskaźniki zużycia [jednost./t produktu]					
		MD	A1	A2	A3	B1	B2
Ruda chromowa [Mg]	460	1,502	1,080	0,782	0,576	–	–
Soda amoniakalna [Mg]	410	0,860	0,772	0,617	0,617	0,579	0,540
Dolomit [Mg]	20	1,749	–	–	–	–	–
Tlenek wapnia [Mg]	180	–	0,116	0,123	0,123	0,039	0,078
Gaz ziemny [m <sup>3</sup> ]	0.46	962	500	450	300	290	290
Para technologiczna [GJ]	16	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Energia elektryczna [kWh]	0.14	374	280	200	160	150	150

Tablica 2

Energochłonność, materiałochłonność, pracochłonność i poziom hałasu dla różnych wariantów produkcji chromianu(VI) sodu; zastosowano przeliczniki:

1MWh = 0,003GJ, 1 m<sup>3</sup> gazu ziemnego = 0,0334 GJ;

a – tylko surowce naturalne, b – surowce naturalne wraz z odpadami

Wariant	$X_j$		$M_j^a$		$M_j^b$	$PR$	$H$
	[GJ/t]	[%]	[kg/t]	[%]	[kg/t]	[rgb/t]	[%]
MD	32,93	100	4111	100	4111	70	100
A1	17,30	53	2099	51	4692	40	62
A2	15,63	48	1523	37	4115	40	50
A3	10,62	32	1317	32	4157	38	45
B1	10,29	31	659	16	4115	38	45
B2	10,29	31	659	16	4115	38	45

Zestawienia wskaźników zużycia surowców i czynników energetycznych podano w tablicy 1. W tablicy 2 podano wskaźniki energochłonności  $X_j$ , materiałochłonności  $M_j$ , pracochłonności  $PR$  (uwzględniono jedynie robociznę bezpośrednią) i poziomu hałasu  $H$  dla metody dolomitowej (MD) i pięciu wariantów nowej technologii produkcji chromianu sodu (A1, A2, A3, B1, B2) opisanych wyżej (Kowalski 1999a; Projekt celowy 1999).

Obliczone wskaźniki energochłonności wyniosły od 32,93 GJ/t, dla metody dolomitowej produkcji chromianu sodu, do 17,3 GJ/t dla wdrożonej w 1999 roku metody z recyrkulacją błota pochromowego (wariant A1). Docelowa restrukturyzacja procesu wytwarzania chromianu sodu może pozwolić na osiągnięcie wskaźnika energochłonności na poziomie 10,3 GJ/t, dla wariantów B1 i B2 przewidujących zastosowanie jako surowca do produkcji chromianu sodu wyłącznie odpadów chromowych.

Tak duże różnice pomiędzy metodą dolomitową i metodami z recyrkulacją odpadów chromowych wynikały głównie ze zmniejszenia wskaźnika zużycia gazu ziemnego. Wdrożenie metody z recyrkulacją błota pochromowego (wariant A1) spowodowało zmniejszenie wskaźnika zużycia gazu ziemnego na jednostkę produktu z 962 do 500 m<sup>3</sup>. Wynikało to zarówno z eliminacji dolomitu jako surowca – oszczędność około 1,5 GJ/t dolomitu (Awierbuch, Pawłowski 1973; Kowalski 1999a), jak i zastosowania jednego długiego pieca w miejsce trzech krótszych oraz nowoczesnych rozwiązań aparaturowych (np. palniki do „kinetycznego” spalania gazu ziemnego, które zastąpiły dawne „dyfuzyjne”). Rozwiązania docelowe przewidujące zastosowanie w procesie pieców o długości powyżej 100 m powinny zmniejszyć poziom zużycia gazu ziemnego do wielkości 300 m<sup>3</sup>/t produktu (wariant A3 i dalsze).

Wskaźniki dla metody dolomitowej mają charakter porównawczy. Wariant A1 jest obecnie stosowany w praktyce przemysłowej. Przy ocenie wskaźników procesu uwzględniono także zrealizowaną dla wariantu A1 modernizację aparaturową całego wydziału produkcyjnego chromianu sodu (Projekt celowy 1999). W wariacie A2 natomiast ujęto efekty dalszej przewidywanej modernizacji produkcji, w szczególności budowy nowego węzła mielenia i rozpoczęcie eksploatacji starej hałdy odpadów chromowych. Wariant A3 obejmuje budowę węzła wzbogacania odzyskiwanego odpadu w chrom i budowę nowego dłuższego pieca do wytwarzania chromianu sodu. Dane dla wariantów A2, A3, B1 i B2 mają w niektórych przypadkach charakter szacunkowy i zostały opracowane w różnych koncepcjach rozwojowych (Kowalski 1999a; Kowalski 1999b).

Mniejszy wpływ na poziom energochłonności ma wskaźnik zużycia elektryczności, ale i w tym zakresie różnice pomiędzy poszczególnymi wariantami są znaczne. Wskaźnik ten obniża się z 374 kWh dla metody dolomitowej do 200 kWh/t produktu dla wariantu A2, głównie ze względu na budowę nowego węzła mielenia, zmniejszenie ilości surowca mielonego (eliminacja dolomitu i zmniejszenie wskaźnika zużycia rudy chromowej w procesie) oraz nowoczesnych niskoenergochłonnych rozwiązań aparaturowych zastosowanych we wdrożonym wariacie A1. Rozwiązania docelowe przewidują osiągnięcie wskaźnika 150 kWh/t produktu, głównie w efekcie całkowitego wyeliminowania procesów mielenia surowców naturalnych i zastąpienia ich odpadami wymagającymi tylko wstępnego rozdrabniania.

Z danych w tablicy 2 widać, że materiałochłonność liczona jako suma wskaźników zużycia wszystkich surowców (także odpadów chromowych) jest praktycznie na tym samym poziomie. Duże różnice występują natomiast, jeśli pod uwagę weźmiemy tylko zużycie surowców naturalnych i półproduktów. Dla metody dolomitowej wskaźnik materiałochłonności wynosił 411 kg/t produktu. Dla wariantu A1 obniżył się do 2088 kg/t. Całkowite zastąpienie surowców naturalnych odpadami pozwoli osiągnąć tak liczony wskaźnik materiałochłonności na poziomie zaledwie 658 kg/t produktu dla wariantów B1 i B2.

Zmniejszenie pracochłonności wynika przede wszystkim ze zmniejszenia liczby urządzeń do obsługi oraz automatyzacji i komputeryzacji procesów. I tak, wyeliminowanie ręcznego składania wsadu chromianowego i zmniejszenie liczby pieców obrotowych i urządzeń towarzyszących (1 linia produkcyjna zamiast trzech) pozwoliły zmniejszyć pracochłonność z poziomu 70 rbg/t dla metody dolomitowej do 40 rbg/t produktu dla zrealizowanego wariantu A1 z recyrkulacją błota pochromowego.

Wskaźnik zmniejszenia emisji hałasu  $H$  obliczono szacując liczbę urządzeń o poziomie natężenia hałasu powyżej 80 dB, wyeliminowanych w efekcie przeprowadzonej modernizacji, w stosunku do odpowiedniej liczby tych urządzeń w metodzie dolomitowej. Wskaźnik ten wiąże się głównie z energochłonnością procesu, gdyż takie urządzenia, jak młyny kulowe, czy wentylatory, były głównym źródłem hałasu. Zmniejszenie liczby linii produkcyjnych, eliminacja surowców naturalnych i zastąpienie transportu pneumatycznego nowoczesnymi rodzajami transportu mechanicznego przyczyniły się do wyeliminowania 38% urządzeń o natężeniu hałasu powyżej 80 dB dla zrealizowanego wariantu A1, w stosunku do klasycznej metody dolomitowej. Dalsze analizy wskazują na szansę eliminacji jeszcze kilkunastu procent takich urządzeń, po realizacji wariantu A3.

## Podsumowanie

Wykonana analiza energochłonności, materiałochłonności, pracochłonności i poziomu hałasu potwierdza znaczną obniżkę tych wskaźników w efekcie modernizacji technologiczno–aparaturowej produkcji chromianu sodu. Obliczone wskaźniki energochłonności dla wdrożonej w 1999 roku metody z recyrkulacją błota pochromowego są niższe o 48% w stosunku do klasycznej metody dolomitowej produkcji chromianu sodu. Docelowa restrukturyzacja procesu wytwarzania chromianu sodu może pozwolić na osiągnięcie wskaźnika energochłonności dla wariantów B1 i B2 przewidywanych zastosowanie jako surowca do produkcji chromianu sodu wyłącznie odpadów chromowych na poziomie 31% wskaźnika metody dolomitowej.

Wyniki analizy wskazują, że materiałochłonność liczona jako suma wskaźników zużycia wszystkich surowców (także odpadów chromowych) jest praktycznie na tym samym poziomie. Duże różnice występują natomiast, jeśli pod uwagę weźmiemy tylko zużycie surowców naturalnych i półproduktów. Dla metody dolomitowej wskaźnik materiałochłonności wynosił 4111 kg/t produktu. Dla wariantu A1 obniżył się o 49%. Całkowite zastąpienie surowców naturalnych odpadami pozwala osiągnąć tak liczony wskaźnik materiałochłonności na poziomie wynoszącym zaledwie 16% materiałochłonności metody dolomitowej dla wariantów B1 i B2.

Zmniejszenie pracochłonności wynika przede wszystkim ze zmniejszenia liczby urządzeń do obsługi i automatyzacji oraz komputeryzacji procesów. W stosunku do metody dolomitowej obniżka wynosi około 43% dla zrealizowanego wariantu A1 z recyrkulacją błota pochromowego. Podobny poziom jest przewidywany dla wszystkich pozostałych wariantów.

Wskaźnik procentowy stopnia zmniejszenia emisji hałasu  $H$  obliczono szacując liczbę urządzeń o poziomie natężenia hałasu powyżej 80 dB, wyeliminowanych w efekcie przeprowadzonej modernizacji, w stosunku do odpowiedniej liczby tych urządzeń w metodzie dolomitowej. Wskaźnik ten wiąże się głównie z energochłonnością procesu, gdyż takie urządzenia jak młyny kulowe, czy wentylatory były głównym źródłem hałasu. Wskaźnik ten jest niższy o 38% dla zrealizowanego wariantu A1, w stosunku do klasycznej metody dolomitowej. Dalsze analizy wskazują na możliwość jego obniżenia o 55% w stosunku do metody dolomitowej dla wariantów docelowych.

Tak znaczne efekty wynikają z jednej strony z pełnej restrukturyzacji produkcji chromianu sodu oraz zastosowania w wariantach przyszłościowych najnowszych rozwiązań technologiczno–aparaturowych i wyników najnowszych badań z zakresu technologii związków chromu, z drugiej zaś strony z bardzo przestarzałych rozwiązań technologiczno–aparaturowych stosowanych dotychczas w klasycznej metodzie dolomitowej.

## LITERATURA

1. Awierbuch T., Pawłow P., 1973: *Technologie sojedinenij chroma*, Chimija, Leningrad.
2. *Encyclopedia of Chemical Technology, Chromium Compounds*, Vol. 6, 1994: John Wiley & Sons, New York.
3. Kowalski Z., 1990: *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej*, Chemia 51.
4. Kowalski Z., 1993: *Chemik* 10, 292.
5. Kowalski Z., Walawska B., 1995: *Prace Naukowe Instytutu Technologii Nieorganicznej i Nawozów Mineralnych Politechniki Wrocławskiej* 42/24, 213.
6. Kowalski Z., Walawska B., 1996: *Materiały konferencyjne IV Symposium Naukowo–Technicznego „Mielenie i Separacja Pneumatyczna w przemyśle”*, ICHN Gliwice i Alpine AG, Rudy.
7. Kowalski Z., Cholewa J., Mazanek Cz., 1998: *Problem racjonalnego wykorzystania odpadów powstających przy przetwarzaniu rudy chromitowej na związki chromu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo*, 197.
8. Kowalski Z., Mazanek Cz., 1998: *Sodium chromate – material flow analysis and technology assessment. Journal of Cleaner Production* 6, 135.
9. Kowalski Z., Mazanek Cz., Wantuch W., 1998: *Wykorzystanie stałych odpadów chromonowych – stan aktualny i perspektywy. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej* 547, 117.
10. Kowalski Z., Wantuch W., 1999: *Process of solid chrome waste utilisation – A Polish experience. Chemical Business* 1, 34.
11. Kowalski Z., 1999a: *Koncepcja docelowego rozwiązania produkcji chromianu sodu, materiały własne autora – nie publikowane.*
12. Kowalski Z., 1999b: *Koncepcja docelowego modelu produkcji związków chromu w Polsce, materiały własne autora – nie publikowane.*
13. Nriagu J., Nieboer E., 1995: *Chromium in natural and human environment*. John Wiley & Sons, New York.
14. Papp J.F., 1995: *Chromium Life Cycle Study*. U.S. Bureau of Mines, USA.
15. *Projekt celowy nr C–1/137/98*, 1999: *Sprawozdania z etapów 3–5*, Politechnika Krakowska, praca nie publikowana.
16. Walawska B., Kowalski Z., 1994: *Materiały konferencyjne II Ogólnopolskiej Konferencji „Inżynieria Procesowa w Ochronie Środowiska”*, Jachranka, 123.
17. Walawska B., 1998: *Praca doktorska*, Politechnika Wrocławska.
18. Walawska B., Kowalski Z., 1997: *Materiały konferencyjne II Kongresu Technologii Chemicznej*, Wrocław, 53.
19. Walawska B., Kowalski Z., 1998: *Badania nad wykorzystaniem odpadów chromowych w procesie produkcji chromianu sodu. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej* 547, 122.



**Abstract**

The results of analysis of the energy and materials consumptions, for different variants of the sodium chromate(VI) production with utilisation of chromium containing wastes and their comparison with classical dolomite method, are presented. Evaluation was carried out for the five variants of the sodium chromate(VI) production process with new technological and equipment solutions including that implemented on industrial scale. Analysis confirmed economical effectiveness of carried out technological and equipment modernization and revealed that the complete substitution of chromic waste for natural raw materials is very favourable. It is possible reducing energy and materials consumption by 69 and 84% respectively, as well as labour demand and noise level in relation to old production model. So significant effects are the results of a general modernisation of sodium chromate(VI) production process with the use of the modern technological and technical solutions, as well as application of the result of the latest investigations on chromium compounds technology. On the other hand it is involved with outdated solutions used in classical dolomite method.