



Metody ocen technologii środowiskowych

*Zygmunt Kowalski, Małgorzata Piotrowska**

Politechnika Krakowska, Warszawska 24, 31-155 Kraków,

**Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN,
Wybickiego 7, 31-261 Kraków*



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO





Metody ocen technologii produkcji

Dla przeprowadzenia kompleksowej oceny danej technologii produkcji istotny jest wybór odpowiedniej metody oceny technicznej, ekologicznej i ekonomicznej procesów wytwórczych. Metodyki te mają zarówno charakter ilościowy (bilanse procesów i ich wskaźniki techniczno-ekonomiczne), jakościowy (metody oceny subiektywnej, eksperckiej), jak i mieszany.

Tabela 1. Metody ocen technologii

Charakter metody	Materiałochłonność	Energochłonność	Kalkulacja kosztów produkcji	Czystsze produkcje	Rachunek skumulowany	Schalteger	Opcje realizacji	Logika rozmyta	B	L	Jakość technologiczna
						i Sturm			A	C	
									T	A	
Oceny częściowe i/lub finalne											
Ilościowa	+	+	+	+	+	+					
Jakościowa				+			+	+	+	+	
Ilościowo-jakościowa				+				+		+	+
Techniczna	+	+		+				+		+	
Ekologiczna				+	+	+		+		+	
Ekonomiczna			+	+				+			
Techniczno-ekologiczno-ekonomiczna				+			+	+	+		+
Techniczno-ekologiczna				+	+					+	
Ekologiczno-ekonomiczna				+							

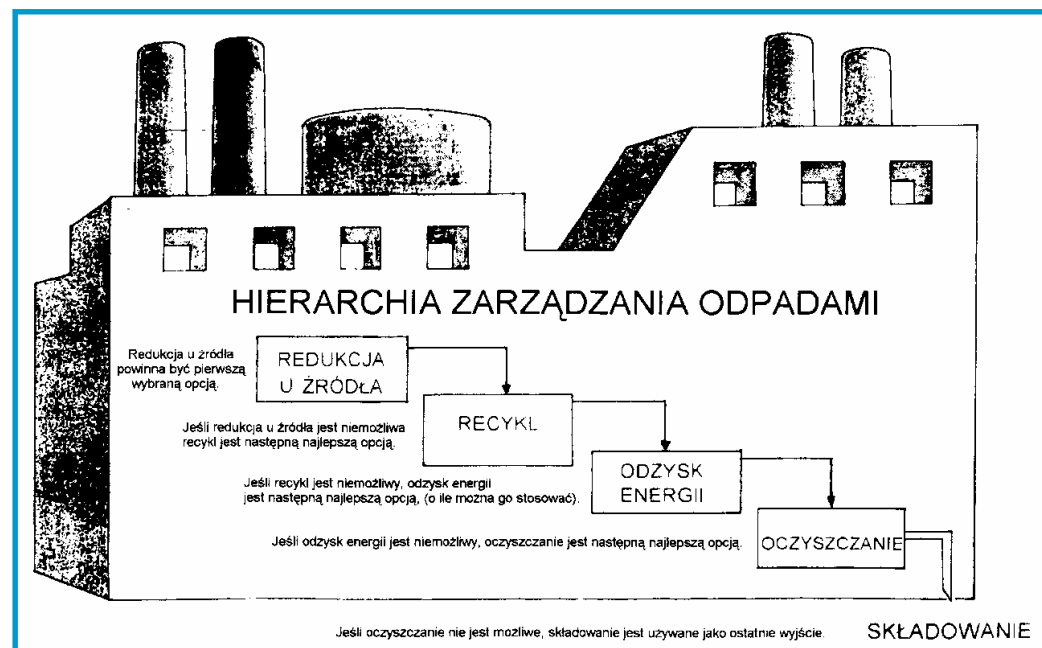


Czystsze produkcje jako podstawowy element zrównoważonego rozwoju i zapobiegania zanieczyszczaniu środowiska

Każda działalność produkcyjna wpływa w jakimś stopniu na środowisko naturalne. Nie mogą więc istnieć produkcje „czyste ekologicznie”. Możemy mówić natomiast o „czystszej produkcji” (*Cleaner production*), tj. takiej, której negatywne oddziaływanie na środowisko naturalne ograniczone jest do minimum. Stosowanie czystszych produkcji umożliwia osiągnięcie wyższego poziomu ekologicznego produkcji i sposobu użytkowania produktów.

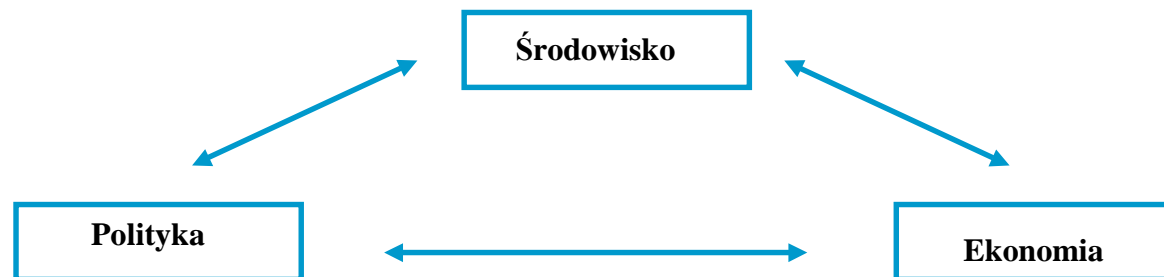
Czystsza produkcja to takie zarządzanie produkcją, które zapobiega i ogranicza oddziaływanie na środowisko we wszystkich fazach cyklu życia produktu, od wydobycia surowców do końcowego składowania zużytego produktu.

Cele czystszej produkcji są osiągnięte nie tylko przez modyfikacje technologii, ale także przez zmianę sposobu myślenia o problemach ekologicznych i ich związku z gospodarką. Najważniejszą z opcji zapobiegania zanieczyszczaniu środowiska jest redukcja ilości odpadów u źródła ich wytwarzania (rys. 1).

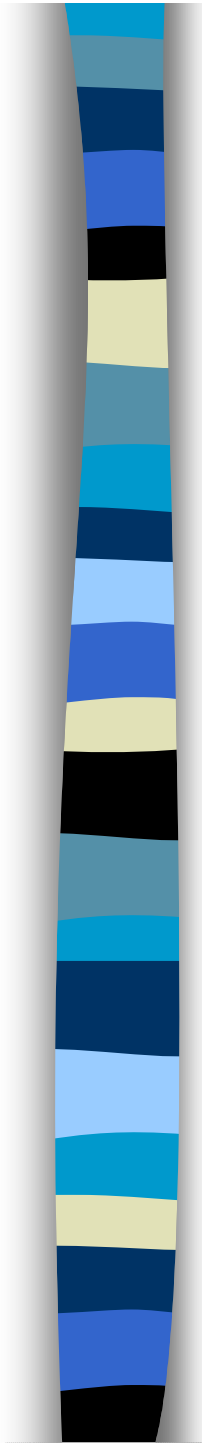


Rys. 1. Hierarchia opcji zapobiegania zanieczyszczaniu

Zrównoważony rozwój (ekorozwój) to taka forma rozwoju gospodarczego, która uwzględniałaby w całej rozciągłości potrzeby ochrony środowiska naturalnego. Jest to proces, w którym zarówno eksploatacja zasobów naturalnych, kierunki inwestowania i rozwoju technologii, jak i zmiany instytucjonalne przebiegają w pełnej harmonii zarówno z bieżącym, jak i przyszłym potencjałem wykorzystywanym do sprostania ludzkich potrzeb i aspiracji. Jest to taki rozwój, który uwzględnia obecne potrzeby społeczeństwa i środowiska, oraz zapewnia także przyszłym pokoleniom możliwość spełnienia ich potrzeb. Ochrona środowiska naturalnego w modelu zrównoważonego rozwoju jest ściśle związana z ekonomią i polityką. Zmiany w gospodarce przebiegają znacznie szybciej, niż zmiany w prawodawstwie (zależne od polityków). Jak powiązać elementy ekonomiczne, polityczne i interes środowiska naturalnego w jeden spójny, sprawnie działający system? Znając odpowiedź na to pytanie moglibyśmy szybciej i efektywniej chronić środowisko (rys.2).



Rys. 2. Sprzężenia zwrotne w społeczeństwie pomiędzy polityką, ekonomią i środowiskiem

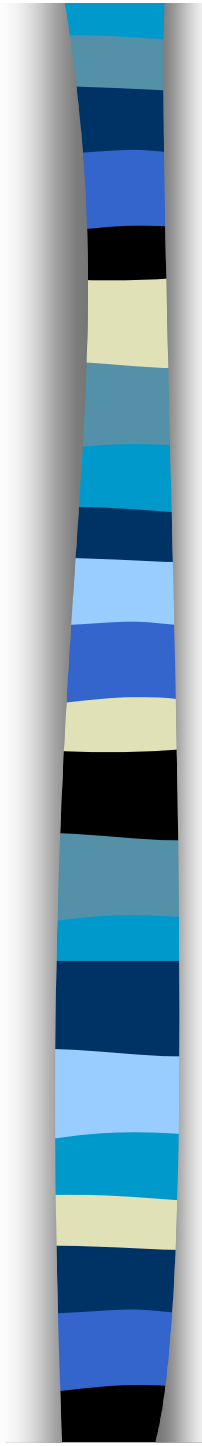


Porównawcza ocena różnych metod produkcji paszowych fosforanów wapnia z zastosowaniem analizy procesu w ujęciu rachunku skumulowanego i techniki LCA

Metoda analizy procesu w ujęciu rachunku skumulowanego na podstawie bilansu materiałowego procesu określa skutki emisji pyłów i gazów oraz „zrzutu” ścieków i odpadów stałych. Metodyka oceny wprowadza następujące pojęcia:

- a. zagrożenie skumulowane (ZS) będące sumą emisji (E) lub „zrzutów” (O) jednego rodzaju substancji w ciągu faz procesu (f = 1 ... n):

$$ZS_E = \sum_{f=1}^n E$$

- 
- b. wskaźnik zagrożenia skumulowanego (WS), który jest ilorazem zagrożenia skumulowanego (ZS) przez wielkość produkcji (P):

$$WS = \frac{ZS}{P}$$

- c. wskaźnik zagrożenia skumulowanego z uwzględnieniem współczynnika toksyczności (K):

$$WSk = WS \cdot K$$

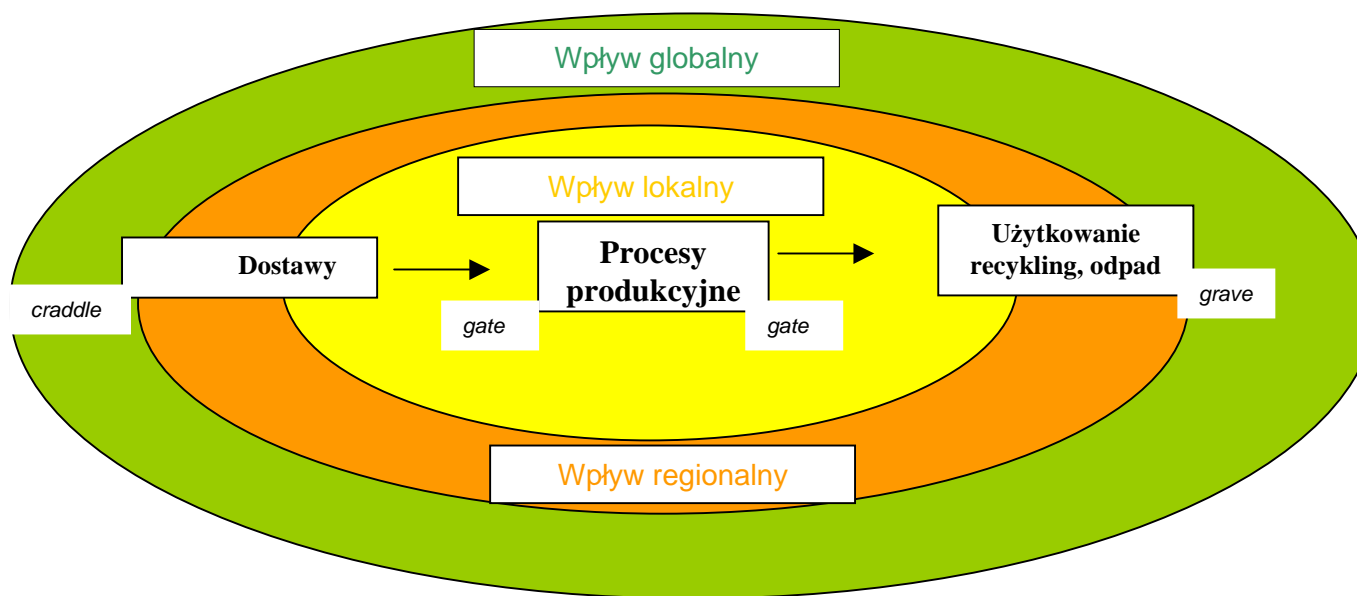
- d. suma wskaźników dla wszystkich faz procesu daje globalny wskaźnik zagrożeń skumulowanych (GWS):

$$GWS = \sum_{f=1}^n WSk$$

- e. względny wskaźnik zagrożenia środowiska naturalnego (WZZ) porównujący globalne wskaźników zagrożeń skumulowanych dla procesu pierwotnego (GWS^P) i zmodernizowanego (GWS^N):

$$WZZ = \frac{\sum GWS^P - \sum GWS^N}{\sum GWS^P} \cdot 100\%$$

LCA (Life Cycle Assessment – Ekologiczna Ocena Cyklu Życia) to technika, przy pomocy której można analizować proces lub wyrób w ciągu jego całego „życia”, to znaczy od pozyskania surowców, poprzez produkcję, użytkowanie, aż do likwidacji zużytego produktu (rys.3.). Perspektywa oceny produktu „od narodzin do śmierci” (*from cradle to grave*) sprawia, iż nie zostaje pominięty żaden etap istnienia wyrobu, co umożliwia dokonanie pełnych porównań określających zagrożenia środowiskowe przez niego stwarzane. LCA uwzględnia odpowiedzialność i wpływ danego producenta na wszystkie fazy cyklu życia produktu (lokalne, regionalne, globalne).

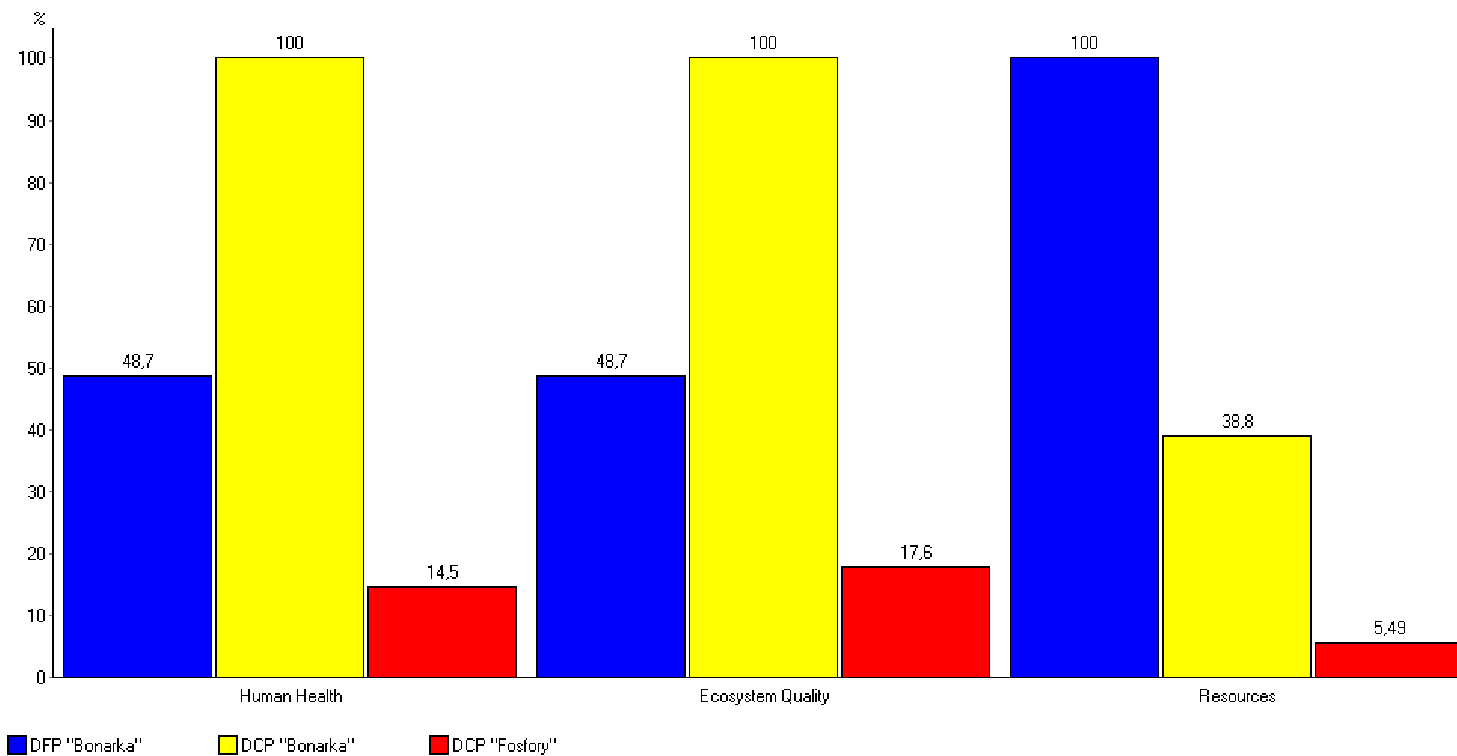


Rys. 3. Poglądowa prezentacja oceny cyklu życia LCA

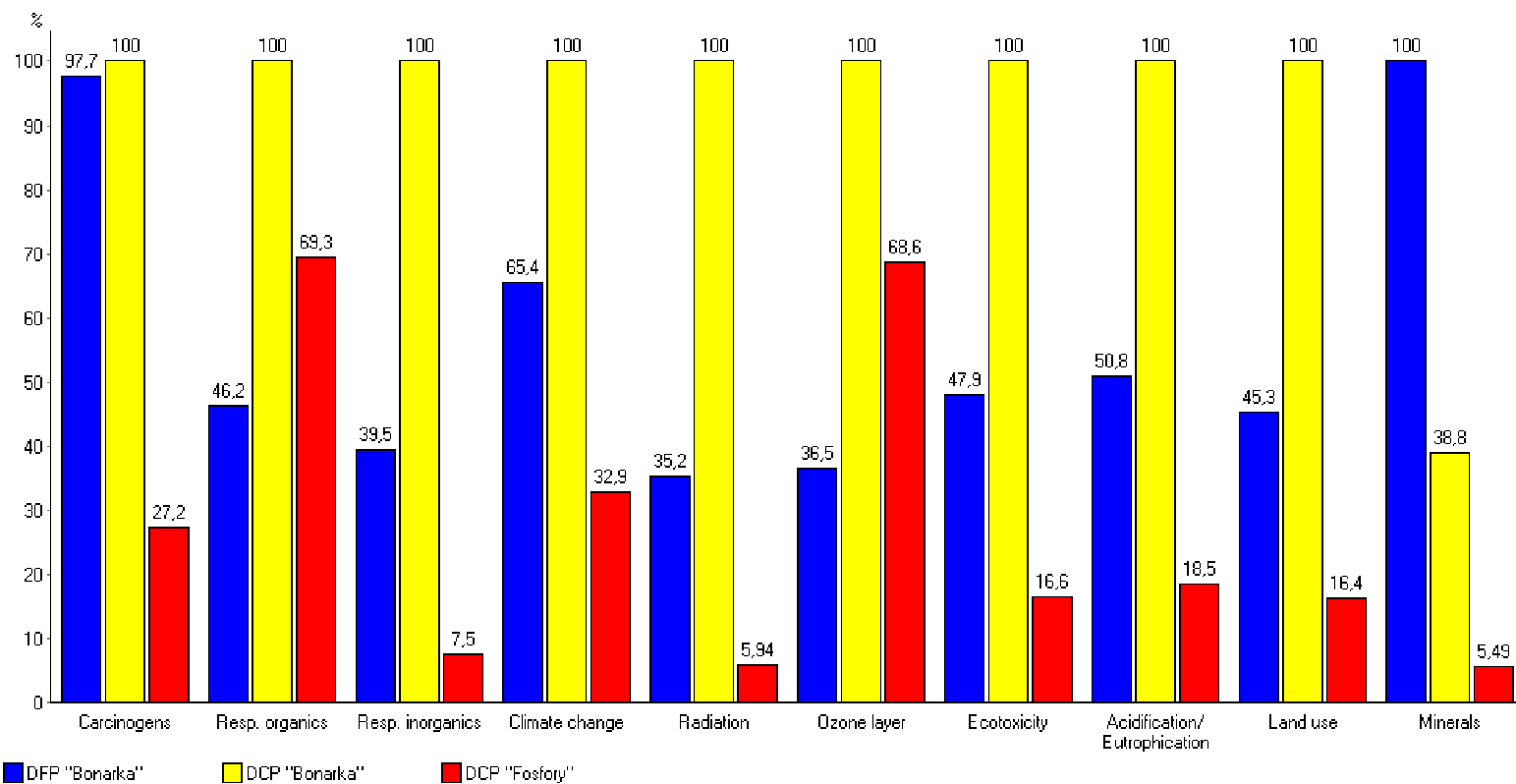


LCA może być stosowane na dwa sposoby:

- Dla określenia całkowitego wpływu na środowisko produktu, czy też jego projektowanych alternatyw, co pozwala na odpowiednie ich porównanie (rys. 4, 5 – analiza wykonana przy pomocy programu SimaPro). LCA może więc umożliwić wybór alternatywy projektowej, czy też odpowiednich składników lub materiałów.
- Dla określenia najważniejszych przyczyn wpływu na środowisko danego produktu. Można więc określać priorytety, które winny być realizowane w pierwszej kolejności.



Rys. 4. Porównanie trzech procesów produkcji fosforanów paszowych (ocena zagrożeń ze względu na obszar wpływu)



Rys. 5. Porównanie trzech procesów produkcji fosforanów paszowych (ocena zagrożeń ze względu na kategorie wpływu)



Ocena ekologiczna procesów metodą SCHALTEGGER & STURM

Metodę Schaltegger & Sturm opracowano w szwajcarskim koncernie „Ciba-Geigy”. Podstawą ocen są dopuszczalne koncentracje substancji.

Zgodnie z danymi zilustrowanymi w tabelach 2 i 3 sposób obliczeń jest następujący:

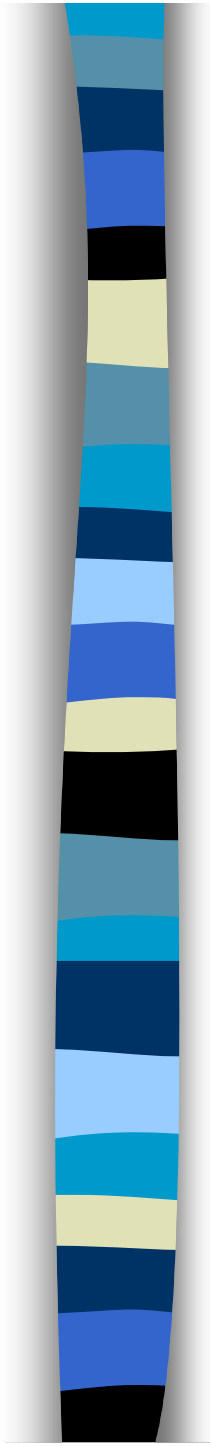
- stężenie danej substancji jest wyrażane w mg na mol danego medium środowiska naturalnego, co umożliwia porównywalność danych,
- punktem odniesienia jest dwutlenek węgla, a obliczony współczynnik obciążenia środowiska daną substancją „X” wskazuje ile razy jest ona groźniejsza dla środowiska naturalnego od CO₂. Współczynnik obciążenia wyrażany jest w jednostkach EIU/kg substancji EIU (*Environmental Impact Unit* - Jednostkowy wpływ na środowisko naturalne).

Tabela 2. Obliczenia stopnia obciążenia środowiska metodą Schaltegger & Sturm

Rodzaj zanieczyszczenia	Dopuszczalne stężenie wg. norm szwajcarskich [mg/m³]	Stężenie przeliczeniowe [mg/mol]	Współczynnik obciążenia środowiska [EIU/kg]
Dwutlenek węgla	579	13.701272	1
Tlenki azotu	0.03	0.000709	19 316
Pyły	0.07	0.001655	8 278
Ołów	0.001	0.0000236	579 480
W wodzie	[mg/dm³]		
Rtęć	0.001	0.000018	759 852
Miedź	0.01	0.0001803	75 985
TOC(całkowity C organ.)	3.4	0.0613071	223

Tabela 3. Wzrost obciążenia środowiska naturalnego w efekcie wytworzenia 1kWh energii elektrycznej

Rodzaj zanieczyszczenia	Emisja [g/kWh]	Współczynnik obciążenia środowiska [EIU/kg]	Jednostkowy wpływ na środowisko naturalne [EIU/kWh]
Emisja do powietrza			
NMVOC (lotne węglowodory)	0.26	5500	1.4
CH ₄	1.1	21	0
CO ₂	484.8	1	0.5
SO ₂	2.42	19316	46.8
NO _x	1.03	19316	19.9
Inne rodzaje emisji			1.4
Zrzut do wód			0
Wzrost obciążenia środowiska naturalnego wskutek wyprodukowania 1kWh energii elektrycznej			70



Do obliczeń wskaźników zanieczyszczeń powietrza związanych z wytwarzaniem energii została wykorzystana tzw. „mieszanka zachodnioeuropejska” (węgla, oleju opałowego, gazu i energii nuklearnej UCPTe 90). Wskaźniki obejmują wersję rozszerzoną oddziaływania na środowisko (z wydobyciem surowców, transportem, budową instalacji etc.).

Za zalety metody Schaltegger & Sturm uważa się jej praktyczność, możliwość operowania dużą liczbą wskaźników i możliwość sumowania wyników różnych ocen. Za pewną wadę uważa się natomiast oparcie jej na dopuszczalnych wielkościach stężeń substancji, które to kryterium ma charakter jakościowy i jest niekiedy podporządkowane celom społecznym, czy też praktycznym możliwościom realizacji.



Metodyka oceny opcji modernizacji procesów wytwórczych

Metodyka oceny efektów ekologicznych i ekonomicznych opcji modernizacji procesu technologicznego, lub też nowych procesów wytwórczych składa się z kilku etapów działania. Obejmują one w szczególności:

- przygotowanie tematyki i obszarów działania, oraz utworzenie zespołu problemowego,
- określenie opcji możliwych do realizacji i ich opis, oraz ocenę.

Zespoły problemowe mogą liczyć od kilku do kilkunastu osób. Zestaw informacji przedstawiany zespołom problemowym przed rozpoczęciem ich pracy powinien obejmować procedury operacyjne, bilanse materiałowe i cieplne, charakterystyki i wielkości strumieni odpadów, specyfikacje surowców i końcowego produktu, oraz dokumentację przewidywanych zmian procesu opartą o wyniki badań laboratoryjnych i przemysłowych. Podstawowym zadaniem zespołu jest wybór opcji działania. Gdy zespół uzgodni ostateczną liczbę opcji, ustala zestaw kryteriów wg których opcje są oceniane. Często dodaje się do takiej oceny kryteria specyficzne dostosowywane do danego zakładu. Metodę zastosowano do wyboru i oceny nowych rozwiązań technologicznych i aparaturowych produkcji chromianu sodu. Do oceny skutków realizacji wybrano konsekwencje ekologiczne, techniczne i ekonomiczne wdrożenia poszczególnych opcji (tab. 3). Oceniano 27 opcji (tab. 4).

Tabela 4. Kryteria oceny opcji

Lp.	Kryteria ocen	Efekty w skali ocen (0 – 10)				
		Zerowe	Małe > 0	Średnie >3	Duże >6	Bardzo duże >8
1	Zwiększenie bezpieczeństwa procesu					
2	Zmniejszenie ilości odpadów					
3	Szansa na sukces					
4	Poprawa stosunków z klientem					
5	Poprawa stosunków z okolicznymi mieszkańcami					
6	Zmniejszenie toksyczności, kosztów oczyszczenia i/lub składowania odpadu					
7	Niższe koszty surowców					
8	Niższe koszty energii					
9	Niższe koszty remontów i konserwacji					
10	Czas wdrażania					
11	Nakłady inwestycyjne					
12	Utrzymanie ciągłości produkcji					
13	Szansa na sukces poza firmą					
14	Poprawa stosunków z zatrudnionymi					
15	Wymagane zezwolenia dotyczące produkcji i odpadów					
16	Redukcja u źródła					
17	Najlepsza dostępna technologia					
18	Zmniejszenie pracochłonności					
19	Uproszczenie procesu					
20	Poprawa image firmy					
Ocena sumaryczna		(0 – 200 punktów)				

Tabela 5. Opcje działań w zakresie restrukturyzacji produkcji chromianu sodu

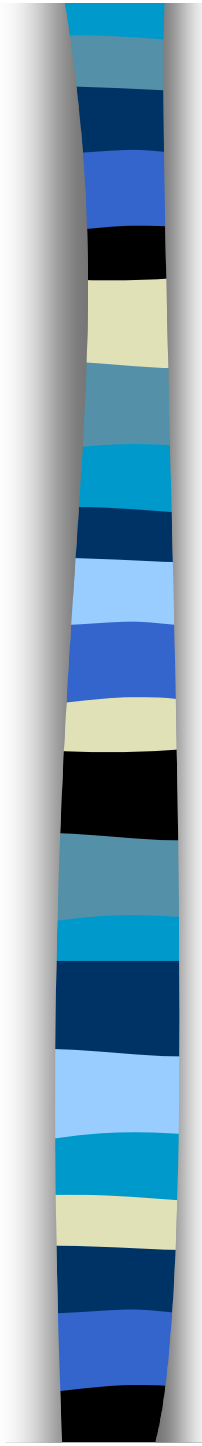
Lp	Opcje	Konsekwencje		
		Techniczne	Ekologiczne	Ekonomiczne
1	Suche odpylanie pyłów	Odzysk i zawrót surowców do procesu, obniżenie wskaźników zużycia surowców	Zmniejszenie emisji pyłów o ponad 90%	Obniżka kosztów produkcji, opłat za środowisko
2	Mokre odpylanie oparów z gaszalnika spieku	Odzysk i zawrót surowców do procesu, obniżenie wskaźników zużycia surowców	Zmniejszenie emisji oparów pyłów chromu do dopuszczalnego poziomu	Obniżka kosztów produkcji, opłat za środowisko
3	Zastosowanie koncentratu chromitu	Lepsza jakość i stabilność składu surowca, łatwiejszy proces	Mniejsza ilość odpadu na jednostkę produktu	Obniżka kosztów produkcji, opłat za środowisko
4	Separacja chromitu przed suszeniem i mieleniem	Ograniczenie operacji suszenia i mielenia o 80%	Mniejsze pylenie, energo- i materiałochłonność. Zmniejszenie hałasu	Obniżka kosztów produkcji, energii i remontów, opłat za środowisko
5	Mielenie chromitu na młynach wibracyjnych	Efektywniejsze mielenie. Uproszczenie procesu, zmniejszenie zużycia energii	Mniejsze pylenie, energo- i materiałochłonność. Zmniejszenie hałasu	Mniejsze koszty inwestycji i remontów, produkcji, opłat za środowisko, energii
6	Komputerowe ciągle sterowanie składaniem mieszanki wsadowej	Większa precyzja składania wsadu, poprawa wydajności procesu	Eliminacja emisji lokalnej, zmniejszenie ilości odpadu	Mniejsze koszty inwestycji i remontów, produkcji, opłat za środowisko, energii
7	Ważenia składników wsadu na wagach taśmowych	Większa precyzja składania wsadu, poprawa wydajności procesu	Eliminacja emisji lokalnej, zmniejszenie ilości odpadu	Mniejsze koszty inwestycji i remontów, produkcji, opłat za środowisko, energii
8	Wykorzystanie spalin suszenia surowców	Recykulacja ciepła	Zmniejszenie pylenia, emisji produktów spalania gazu ziemnego	Mniejsze koszty inwestycji i remontów, produkcji, opłat za środowisko, energii
9	Nowe rozwiązania palników gazowych	Efektywne spalanie gazu, obniżenie wskaźników zużycia energii	Zmniejszenie emisji spalania, zwiększenie bezpieczeństwa procesu i obsługi	Obniżka kosztów: produkcji, energii o prawie połowę, opłat za środowisko,
10	Komputerowa kontrola pracy wszystkich urządzeń	Większa precyzja prowadzenia procesu, poprawa wydajności procesu	Eliminacja emisji lokalnej, zmniejszenie ilości odpadu, zwiększenie bezpieczeństwa procesu i obsługi	Mniejsze koszty inwestycji i remontów, produkcji, opłat za środowisko, energii
11	Eliminacja transportu pneumatycznego	Zmniejszenie wskaźników zużycia surowców i energii	Eliminacja źródła pylenia, ograniczenie hałasu	Obniżka kosztów produkcji, opłat za środowisko, kosztów energii.
12	Transportu materiałów pylistych przenośnikami RKS	Zmniejszenie wskaźników zużycia surowców i energii	Eliminacja emisji lokalnej	Obniżka kosztów produkcji, kosztów energii.
13	Skrócenie dróg transportu surowców i półproduktów	Zmniejszenie wskaźników zużycia surowców i energii	Ograniczenie emisji lokalnej	Obniżka kosztów produkcji, energii i remontów

Lp	Opcje	Konsekwencje		
		Techniczne	Ekologiczne	Ekonomiczne
14	Zastosowanie dłuższego pieca	Zmniejszenie wskaźników zużycia surowców i energii, uproszczenie procesu	Zmniejszenie pylenia, emisji produktów spalania gazu ziemnego	Obniżka kosztów produkcji, energii i remontów. Duże nakłady inwestycyjne
15	Suche chłodzenie spieku	Zmniejszenie wskaźników zużycia surowców i energii, uproszczenie procesu	Zmniejszenie pylenia, emisji produktów spalania, emisji oparów, zwiększenie bezpieczeństwa procesu	Obniżka kosztów produkcji, znaczna energii i remontów
16	Ługowanie niskotemperaturowe	Zmniejszenie wskaźników zużycia surowców i energii, uproszczenie procesu	Zmniejszenie pylenia, emisji produktów spalania, emisji oparów, zwiększenie bezpieczeństwa procesu	Obniżka kosztów produkcji, znaczna energii i remontów
17	Eliminacja dolomitu, surowca naturalnego	Zmniejszenie wskaźników zużycia surowców i energii, uproszczenie procesu	Znacznie mniejsza ilość odpadu na jednostkę produktu. Mniejsze pylenie, energo- i materiałochłonność.	Mniejsze nakłady na inwestycje i remonty Obniżka kosztów produkcji, opłat za środowisko, kosztów energii.
18	Recykulacja wewnątrzprocesowa błota pochromowego	Zmniejszenie zużycia surowców i energii, uproszczenie procesu. Dodatkowe operacje suszenia i mielenia błota pochromowego	Znacznie mniejsza ilość odpadu na jednostkę produktu.	Obniżka kosztów produkcji, opłat za środowisko, zmniejszenie kosztów energii.
19	Recykulacja wewnątrz zakładowa odpadów (uwodnione tenki chromu)	Zmniejszenie zużycia surowców i energii, uproszczenie procesu. Dodatkowe operacje suszenia i	Znacznie mniejsza ilość odpadu na jednostkę produktu. Eliminacja składowania	Obniżka kosztów produkcji, opłat za środowisko, zmniejszenie kosztów energii.
20	Recykulacja poza zakładowa odpadów (uwodnione tenki chromu)	Zmniejszenie zużycia surowców i energii, uproszczenie procesu. Dodatkowe operacje suszenia i	Znacznie mniejsza ilość odpadu na jednostkę produktu. Eliminacja składowania	Obniżka kosztów produkcji, opłat za środowisko, zmniejszenie kosztów energii.
21	Zawrót błota pochromowego ze starych hałd chromowych i docelowa ich utylizacja.	Zmniejszenie zużycia surowców i energii, uproszczenie procesu. Dodatkowe operacje suszenia i mielenia odpadów chromowych	Znacznie mniejsza ilość odpadu na jednostkę produktu. Eliminacja surowca naturalnego-rudy chromowej.	Obniżka kosztów produkcji, opłat za środowisko, zmniejszenie kosztów energii i kosztów utrzymania hałdy.
22	Wzbogacanie błota pochromowego ze starych hałd	Zmniejszenie zużycia surowców i energii, Dodatkowe suszenia, mielenia i wzbogacania odpadów chromowych	Znacznie mniejsza ilość odpadu na jednostkę produktu. Eliminacja składowania odpadów z produkcji	Obniżka kosztów produkcji, opłat za środowisko, zmniejszenie kosztów energii.
23	Zastosowanie pras do filtracji błota pochromowego	Zmniejszenie wskaźników zużycia surowców i energii, uproszczenie procesu.	Zmniejszenie wilgotności odpadu o ponad 10% , jego ilości o ponad 10% , poprawa warunków pracy, eliminacja emisji oparów	Obniżka kosztów produkcji, energii i remontów opłat za środowisko., Jednak znaczne nakłady inwestycyjne
24	Eliminacja tlenku wapnia ze wsadu	Zmniejszenie wskaźników zużycia surowców i energii, uproszczenie procesu.	Znacznie mniejsza ilość odpadu na jednostkę produktu.	Obniżka kosztów produkcji, energii i remontów, opłat za środowisko
25	Określenie wzorów na skład wsadu	Zwiększenie precyzji prowadzenia procesu, uproszczenie procesu.	Mniejsza ilość odpadu na jednostkę produktu.	Obniżka kosztów produkcji, energii, opłat za środowisko.
26	Wprowadzenie zmiennych sterujących procesem	Zwiększenie precyzji prowadzenia procesu, uproszczenie procesu.	Mniejsza ilość odpadu na jednostkę produktu.	Obniżka kosztów produkcji, energii, opłat za środowisko.
27	Wprowadzenie wskaźnika W_R - mniejsza ilość analiz	Zwiększenie precyzji prowadzenia procesu, uproszczenie procesu.	Mniejsza ilość analiz. Poprawa warunków pracy	Obniżenie kosztów analiz i kosztów procesu

Wyniki analizy i rankingu opcji na podstawie oceny dokonanej przez kilkusobowy zespół ekspertów.

Tabela 6. Ranking opcji

Lp	Opcje	Punktacja		Pozycja w rankingu
		Zakres	Wynik	
1	Określenie wzorów na skład wsadu	0-200	155	1
2	Recykulacja wewnątrzprocesowa błota pochromowego	0-200	154	2
3	Wprowadzenie zmiennych sterujących procesem	0-200	152	3
4	Zawrót błota pochromowego ze starych hałd	0-200	150	4
5	Zastosowanie pras do filtracji błota pochromowego	0-200	144	5
6	Ługowanie niskotemperaturowe	0-200	142	6
7	Eliminacja dolomitu	0-200	140	7
8	Eliminacja tlenku wapnia ze wsadu	0-200	136	8
9	Recykulacja pozazakładowa odpadów zawierających uwodnione tlenki chromu	0-200	135	9
10	Eliminacja transportu pneumatycznego	0-200	133	10
11	Recykulacja wewnątrzzakładowa odpadów zawierających uwodnione tlenki chromu	0-200	131	11
12	Wprowadzenie wskaźnika W_R ograniczającego ilość analiz	0-200	131	12
13	Komputerowa kontrola pracy wszystkich urządzeń	0-200	129	13
14	Nowe rozwiązania palników gazowych	0-200	128	14
15	Komputerowe ciągłe sterowanie składaniem wsadu	0-200	126	15
16	Suche chłodzenie spieku	0-200	125	16
17	Mielenie chromitu na młynach wibracyjnych	0-200	120	17
18	Zastosowanie dłuższego pieca	0-200	119	18
19	Transportu materiałów pylistych przenośnikami RKS	0-200	117	19
20	Suche odpylanie pyłów	0-200	116	20
21	Skrócenie dróg transportu surowców i półproduktów	0-200	115	21
22	Wykorzystanie spalin do suszenia surowców	0-200	113	22
23	Separacja chromitu przed suszeniem i mieleniem	0-200	101	23
24	Zastosowanie koncentratu chromitu	0-200	100	24
25	Mokre odpylanie oparów z gaszalnika spieku	0-200	99	25
26	Ważenie na wagach taśmowych składników wsadu	0-200	90	26
27	Wzbogacanie błota pochromowego ze starych hałd	0-200	85	27



Analiza wskazuje, że najwyżej ocenione opcje dotyczą rozwiązań o zerowych lub bardzo małych nakładach inwestycyjnych i krótkim, w związku z tym, czasem wdrożenia. Istotne jest przy tym, że ich wdrożenie nie wymaga załatwienia formalności prawnych. Wśród pierwszych dziesięciu opcji znalazły się wszystkie te, których realizacja przynosi największe efekty ekologiczne, a zwłaszcza zmniejszenie ilości odpadów.

Zwraca uwagę stosunkowo wysoka punktacja wszystkich opcji. 24 z analizowanych 27 osiągnęło ponad 50% maksymalnej liczby 200 punktów, a pierwsza dziesiątka mieści się w przedziale 65-75% możliwej do zdobycia ilości punktów. Maksymalne punktacje na poziomie 75% mogą z drugiej strony świadczyć o bardzo zróżnicowanym doborze kryteriów oceny.



Metoda logiki rozmytej

Dla porównania proponowanej przez nas metody termicznej utylizacji osadów ściekowych z ich składowaniem i rolniczym wykorzystaniem przedstawiono (tablica 5) ich ocenę z wykorzystaniem metody *logiki rozmytej* w oparciu o uproszczoną macierz Leopolda. Kryteria oceny przedstawiono w tablicy 4. Zasadą takiej oceny jest, że jedna ocena „niedopuszczalny” pozwala ocenić negatywnie całą ocenianą metodę czy proces.

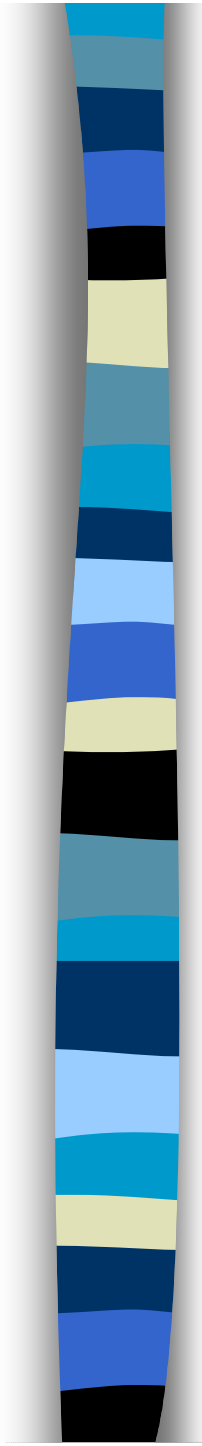
Wyniki analizy podane w tablicy 5 wskazują, że na 10 kryteriów oceny składowanie uzyskało aż 8 ocen „niedopuszczalne”. W przypadku rolniczego wykorzystania i kompostowania mamy do czynienia natomiast z 8 ocenami „dopuszczalne”. O przyszłości tych metod zadecydują badania dotyczące obecności prionów w osadach i możliwości przedostawania się ich tą drogą do gleby i dalej do organizmów zwierzęcych. Jak na razie taka możliwość wydaje się prawdopodobna. Metoda termicznej utylizacji uzyskała 7 ocen „akceptowalne” i 3 „dopuszczalne”, a więc została oceniona zdecydowanie najwyżej. W miarę postępu badań będzie możliwe dalsze uściślenie oceny, przy ewentualnym szerszym zakresie stosowanych kryteriów.

Tabela 7. Kryteria oceny metod zarządzania osadami z oczyszczania ścieków komunalnych

Ocena rozwiązania	Zużycie terenu	Zużycie energii	Koszty inwestycji	Końcowa ilość osadu	Usunięcie bakterii i wirusów	Stopień usunięcia prionów	Wartość użytkowa osadu	Wartość produktów przerobu osadu	Koszty przerobu osadu	Zgodność z przepisami UE
Akceptowalne „+”	Małe	Małe	Małe / zerowe	< 30% ilości wyjściowej	Całkowity	Całkowity	Potencjalny surowiec	Wysoka	Niskie	Pełna
Dopuszczalne „+/-”	Średnie / chwilowe	Średnie	Średnie	<100% i >30% ilości wyjściowej	Znaczny	Znaczny	Niska	Średnia	Średnie	Częściowa
Niedopuszczalne „-”	Duże / stałe	Duże	Duże	> lub = ilości wyjściowej	Zerowy / niewielki	Zerowy / niewielki	Zerowa	Zerowa	Wysokie	Brak zgodności

Tabela 7. Ocena metod zarządzania osadami z oczyszczania ścieków komunalnych

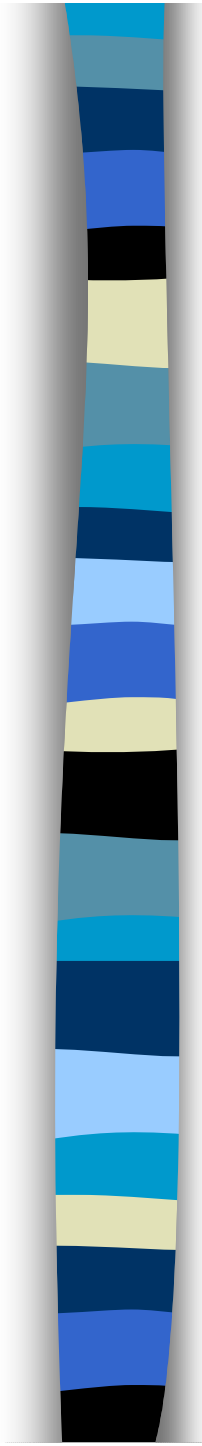
Oceniana metoda	Zużycie terenu	Zużycie energii	Koszty inwestycji	Końcowa ilość osadu	Usunięcie bakterii i wirusów	Stopień usunięcia prionów	Wartość użytkowa osadu	Wartość produktów przeobu osadu	Koszty przeobu osadu	Zgodność z przepisami UE
Składowanie	-	+/-	-	-	-	-	-	-	+	-
Kompostowanie	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	-	+/-	+/-	+/-	+
Rolnicze wykorzystanie	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	-	+/-	+/-	+/-	+
Przerób termiczny i odzysk fosforu z popiołów	+/-	+	+/-	+	+	+	+	+	+/-	+



Ocena najlepszych dostępnych rozwiązań technicznych (BAT) wykorzystania odpadów poflotacyjnych z przetwarzania rud cynku i ołowiu do wyboru najkorzystniejszych mieszanin podszadzkowych

Najlepsze dostępne rozwiązania techniczne (*Best Available Techniques* - BAT) są rozwiązaniami gwarantującymi minimum zagrożeń dla środowiska naturalnego, przy równoczesnej opłacalności ekonomicznej produkcji. W ramach wspólnej polityki Unii Europejskiej najlepsze dostępne technologie BAT mogą oznaczać zarówno technologie produkcji, jak i technologie ochrony środowiska. Wprowadza się też pojęcie takich spośród technologii BAT, które nie powodują nadmiernego wzrostu kosztów (*BATNEEC – Best Available Technologies not Entailing Excessive Costs*).

Poszczególne kryteria oceniające poziom lub efektywność rozwiązania wyceniane były według skali czterostopniowej, określającej (w punktach) poziom lub efekty rozwiązania jako: 0 – zerowy, 1 - niski, 2 – średni, 3 – wysoki. Średnia arytmetyczna punktacji poszczególnych kryteriów dawała odpowiednio oceny cząstkowe techniczne, ekologiczne i ekonomiczne.



Do oceny poszczególnych rozwiązań, celem wyboru najlepszej technologii (BAT) zastosowano metodę jakości kompleksowej, która obejmuje „n” cech jakościowych, przy czym „n” może być dowolną liczbą. Jakość kompleksowa jest więc funkcją zmiennych cech jakościowych, czyli:

$$Q = f(W_i) = f(W_1, W_2, \dots, W_n)$$

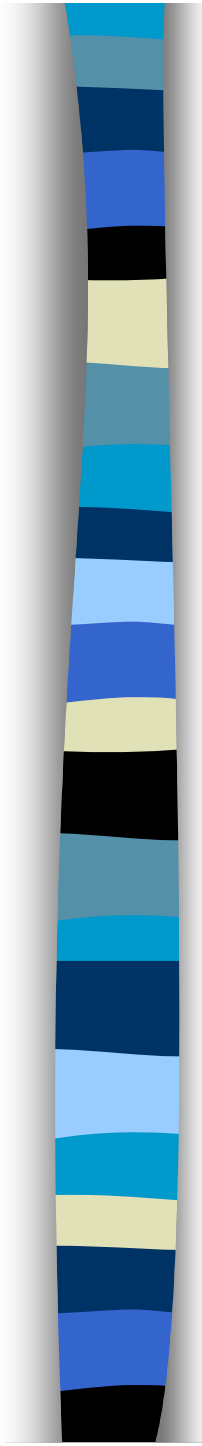
Średnia arytmetyczna oceny poziomu technicznego, oraz oceny ekologicznej i ekonomicznej dawała średnią ocenę całego rozwiązania technologiczno-aparaturowego (BAT). Zakwalifikowane do realizacji rozwiązania powinny mieć średnią punktacji >1,5 punktu. Oznaczono je symbolem „+”. Wyniki oceny końcowej obliczono metodą jakości kompleksowej korzystając ze wzoru (11):

$$Q_{\text{sr}} = (a_1 \cdot W_1 + a_2 \cdot W_2 + a_3 \cdot W_3)/3$$

Średnie wyników oceny poziomu technicznego analizowanych propozycji nowych rozwiązań technologiczno-aparaturowych były znacznie wyższe od granicznej oceny 1,5 pkt. Ocena najniższa wyniosła 1,8 pkt najwyższa 2,8 pkt. Aż cztery proponowane rozwiązania uzyskały ocenę powyżej 2,5pkt.

Tabela 8. Ocena końcowa najlepszych dostępnych rozwiązań technologiczno-aparaturowych stosowania podsadzek samozestalających w ZG Trzebionka

Lp.	Proponowane rozwiązania technologiczno-aparaturowe	Ocena łączna proponowanych rozwiązań [pkt]										
		Realność techniczna			Efektywność ekologiczna			Efektywność ekonomiczna			Średnia	Możliwość lepszych rozwiązań
		a ₁	W ₁	a ₁ · W ₁	a ₂	W ₂	a ₂ · W ₂	a ₃	W ₃	a ₃ · W ₃	Q _{sr}	
1.	Produkcja mieszanek samozestalających z zastosowaniem spoiw krzemionkowych	1	2,5	2,5	3	1,7	5,1	2	1,3	3	3,4	0
2.	Produkcja mieszanek samozestalających z zastosowaniem cementu	1	1,8	1,8	3	1,7	5,1	2	1,5	3	3,3	1
3.	Produkcji mieszanek samozestalających z zastosowaniem popiołów lotnych z elektrociepłowni	1	2,2	2,2	3	1,9	5,7	2	2,2	4,4	4,1	1
4.	Produkcji mieszanek samozestalających z zastosowaniem popiołów modyfikowanych	1	2,2	2,2	3	1,8	5,4	2	1,7	3,4	3,7	1
5.	Produkcji mieszanek samozestalających z zastosowaniem środków żelujących	1	2,2	2,2	3	1,8	5,4	2	1	2,6	3,2	1
6.	Dotychczasowa technologia podsadzania z zastosowaniem podsadzek piaskowych	1	1,6	1,6	3	0,9	2,7	2	1,5	3	2,4	1



Średnie wyników oceny ekologicznej propozycji nowych rozwiązań technologiczno-aparaturowych były także znacznie wyższe od granicznej oceny 1,5 pkt. Ocena najniższa wyniosła 1,7 pkt, najwyższa 2,8 pkt. Trzy proponowane rozwiązania uzyskały ocenę powyżej 2,5 pkt, co świadczy o ich dużej atrakcyjności pod względem spełnienia wymogów zapobiegania zanieczyszczeniu środowiska naturalnego.

Także ocena ekonomiczna omawianych rozwiązań jest bardzo wysoka. Waha się ona od 1,7 do 2,6 punktu. Siedem rozwiązań uzyskało ocenę powyżej dwóch punktów, w tym aż trzy ocenę 2,5 lub 2,6.

Ocena łączna jest również wysoce pozytywna. Poszczególne rozwiązania uzyskały oceny w granicach 1,8 do 2,6 punktu, siedem rozwiązań uzyskało powyżej 2 punkty, w tym cztery 2,5 lub 2,6 punktu. Potwierdzona więc została tym samym atrakcyjność techniczna, ekologiczna i ekonomiczna proponowanych nowych rozwiązań technologiczno-aparaturowych produkcji chromianu sodu. Zwraca uwagę fakt, że najlepsze oceny osiągnęły poziom 86% wartości maksymalnej, co świadczy o zróżnicowaniu kryteriów, a także w pewnym stopniu o ich obiektywności.



Metodyka oceny jakości technologicznej

Wskaźniki efektów ekologicznych i ekonomicznych metod produkcji mogą być podstawą kompleksowej oceny produkcji wykonanej metodą jakości kompleksowej. Zgodnie z zasadami metody kompleksowej oceny wartości (W_j), stopnie ważności (A_i) i kryteria oceny wartości (W_c) należy określić subiektywnie. Przy kompleksowej ocenie stopnia rozwoju danej metody należy uwzględnić globalne wskaźniki zagrożeń skumulowanych Q_{ED} (czyli wskaźnik jakości ekologicznej), koszty produkcji Q_K , energochłonność Q_E , materiałochłonność Q_M , wskaźnik cząstkowy jakości technologicznej Q_j .

Obliczenie wskaźnika jakości technologicznej polega na zsumowaniu wyżej wymienionych wskaźników cząstkowych zgodnie z równaniem:

$$Q_T = Q_{ED} + Q_E + Q_M + Q_K + Q_J$$

Poszczególne wskaźniki cząstkowe obliczane są ze wzoru:

$$Q_j = F / W_c * A_i$$

Gdzie: Q_j – wskaźnik cząstkowy jakości technologicznej, F - bezwzględna wartość analizowanych wskaźników, W_c - kryterium wartości, A_i - stopień ważności.

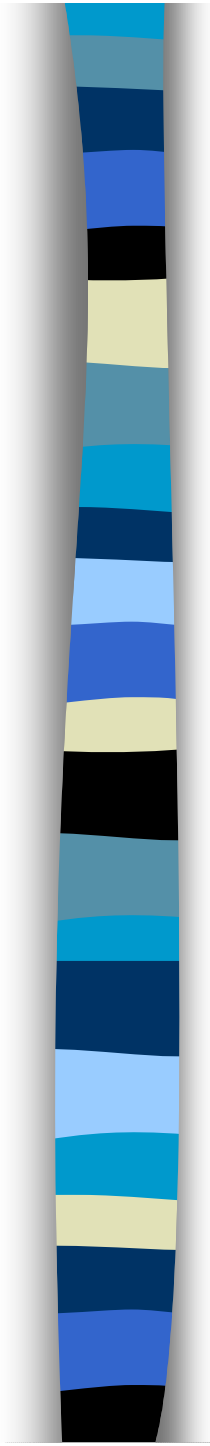
Przy kompleksowej ocenie stopnia rozwoju technologii produkcji chromianu sodu uwzględniono globalne wskaźniki zagrożeń skumulowanych Q_{ED} , koszty produkcji Q_K , energochłonność Q_E , materiałochłonność Q_M , pracochłonność Q_P i poziom emitowanego hałasu Q_{Ho} .

Tabela 9. Kompleksowa ocena jakości technologicznej wariantów produkcji chromianu sodu
Zestawienie wskaźników cząstkowych

Wskaźniki jakości technologii	Wskaźniki wariantów produkcji chromianu sodu (F)					
	Metoda	Wariant	Wariant	Wariant	Wariant	Wariant
	dolomitowa	A1	A2	A3	B1	B2
Globalny wskaźnik zagrożeń skumulowanych GWSsum	126,6065	37,0705	-1,9938	-15,5419	-32,9642	-44,8778
Koszty wytworzenia netto [zł/t]	2512,43	1836,11	1590,1	1668,37	1083,11	1230,61
Energochłonność [GJ/t]	32,93	17,3	15,63	10,62	10,29	10,29
Materiałochłonność [kg/t]	4111,2	2098,8	1522,7	1316,9	658,5	658,5
Pracochłonność [rbg/t]	70	40	40	38	38	38
Hałas [%]	100	62	50	45	45	45

**Tabela 10. Kompleksowa ocena jakości technologicznej wariantów produkcji chromianu sodu.
Obliczenia jakości technologicznej**

Wskaźniki cząstkowe jakości technologii Q_i	Ocena jakości technologii			Jakość technologiczna [pkt] $Q_t = F/W_c * A_i$					
	Wskaźnik	Zakres	Stopień	Metoda	Nowe metody - wariant				
	wartości	wartości	ważności	dolomitowa	A1	A2	A3	B1	B2
	W_c (1pkt=)	W_i [pkt]	A_i						
Globalny wskaźnik zagrożeń skumulowanych GWSsum	1,3	0-100	5	486,9	142,6	-7,7	-59,8	-127	-172,6
Koszty wytworzenia netto [zł/t]	25,1	0-100	4	400,4	292,6	253,4	265,9	172,6	196,1
Energochłonność [GJ/t]	0,3	0-100	3	329,3	173	156,3	106,2	102,9	102,9
Materiałochłonność [kg/t]	41	0-100	1,5	150,4	76,8	55,7	48,2	24,1	24,1
Pracochłonność [rbg/t]	0,7	0-100	1	100	57,1	57,1	54,3	54,3	54,3
Hałas [%]	1	0-100	1	100	62	50	45	45	45
Jakość technologiczna [pkt]				1567	804,1	564,9	459,8	272,1	249,8
(% w stosunku do metody dolomitowej)				100	51,3	36	29,3	17,4	15,9



Analiza skutków ekologicznych i ekonomicznych modernizacji technologiczno-aparaturowej produkcji chromianu sodu, (a zwłaszcza wdrożenia technologii z recyrkulacją odpadów chromowych), metodą oceny jakości technologicznej potwierdza spodziewane bardzo znaczne zmniejszenie zagrożenia dla środowiska naturalnego powodowane przez ten proces wraz z dużą obniżką kosztów wytwarzania. Zrealizowanie wariantu A1 (produkcja chromianu sodu z recyrkulacją błota pochromowego) pozwoliło zwiększyć jakość technologii o 48,7% w stosunku do klasycznej metody dolomitowej. Wskaźniki poprawy jakości technologicznej dla pozostałych wariantów wynoszą od 64% do 86,1%. Tak znaczne efekty wynikają z jednej strony z pełnej restrukturyzacji produkcji chromianu sodu i zastosowaniu w wariantach przyszłościowych najnowszych rozwiązań technologiczno-aparaturowych, z drugiej zaś strony z bardzo przestarzałych rozwiązań technologiczno-aparaturowych stosowanych dotychczas w klasycznej metodzie dolomitowej. W miarę oceny dalszych wariantów różnice nie są już tak wielkie, aczkolwiek w dalszym ciągu na znaczącym poziomie wzrostu jakości technologicznej od kilku do kilkunastu procent.



Dziękuję za uwagę!