

Artykuł pochodzi z archiwalnych zasobów firmy EKO-KONSULT sp. z o.o. 80-557 Gdańsk,  
ul. Narwicka 6.

Wszystkie prawa zastrzeżone.

Korzystanie za zgodą firmy EKO-KONSULT [biuro@ekokonsult.pl](mailto:biuro@ekokonsult.pl)



*Kwartalnik „Problemy Ocen Środowiskowych” wydawany cyklicznie w latach 1998 – 2012, przez EKO-KONSULT był jedynym wydawnictwem w Polsce, poświęconym wyłącznie ocenom środowiskowym planowanych inwestycji oraz strategicznym ocenom oddziaływania na środowisko. Dla praktyków OOS, ale również dla osób początkujących może nadal stanowić wartościowe źródło wiedzy np. w zakresie prezentowanych case study i przeglądu stosowanych metodyk - w tym kontekście znaczna część artykułów zachowuje sporo aktualności.*

---

Stefan Zieliński, Maciej Famulski

**Nowa koncepcja oceniania oddziaływania technologii chemicznych na środowisko**

**Część I**

## Wstęp

Żądania ograniczenia negatywnego oddziaływania na środowisko w procesach produkcyjnych znalazły swoje odbicie w opracowaniach technologii, które nazywa się technologiami bezodpadowymi, technologiami mało-odpadowymi, technologiami proekologicznymi itp. Pod tymi nazwami kryją się różnego rodzaju rozwiązania techniczne, technologiczne i organizacyjne, począwszy od technik i metod oczyszczających należących do grupy technologii "końca rury", a na koncepcji "zapobiegania skażeniom u źródła" skończywszy.

Niezależnie od relacji między nazwą, a kryjącym się za nią sposobem realizacji ograniczania oddziaływania na środowisko, pozostaje zawsze problem oceny danej technologii czy procesu z punktu widzenia ich szkodliwości ekologicznej. Do tego celu wykorzystuje się Ocenę Oddziaływania na Środowisko oraz Analizę Cyklu Życiowego. Pierwsza z nich, będąca w obecnym kształcie procedurą wspomagającą proces decyzyjny i mającą status nakazu prawnego, ocenia planowane przedsięwzięcia o różnym charakterze, a więc nie tylko technologie. Ocenianym obiektem drugiej jest natomiast produkt we wszystkich fazach swojego "życia", od etapu wydobywania surowców potrzebnych do jego wytworzenia, przez proces wytwarzania, użytkowanie, do etapu składowania jako odpadu po zużyciu. Mimo różnych obiektów obydwie metody posługują się tymi samymi lub podobnymi narzędziami, do których należą wszystkie typy list kontrolnych, macierzy, sieci itp. [1-11].

Cechą charakterystyczną obu metod jest oparcie oceny na przewidywanych skutkach w środowisku wywołanych oddziaływaniem ocenianego obiektu. Nasuwa się jednak pytanie, czy takie podejście, chociaż z pewnością racjonalne, jest wystarczające i czy jesteśmy w stanie ocenić rzeczywiste efekty oddziaływań. Oparcie oceny na przewidywanych skutkach wprowadza bowiem do niej dwa elementy, element niepewności i element subiektywizmu. Pierwszy z nich wynika z samego faktu prognozy skutków, które mogą wcale nie wystąpić lub wystąpić w innym niż przewidywane nasileniu. Element subiektywizmu wiąże się natomiast z zaangażowaniem wiedzy i doświadczenia ekspertów przeprowadzających ocenę. Wartość oceny zależy bowiem od doboru poszczególnych ekspertów, ale nawet przy najlepszym doborze trudno określić jaki udział w ocenie ma ich wiedza i doświadczenie, a jaki przypuszczenia, ponieważ często oni sami, powodowani różnymi czynnikami zewnętrznymi lub niewystarczającą wiedzą na dany temat, zatracają tego typu zdolność.

Jest jeszcze jeden powód wskazujący na konieczność nowego podejścia do oceny uciążliwości czy szkodliwości ekologicznej procesów przemysłowych, nie tylko chemicznych. Dotychczasowa koncepcja ochrony środowiska, będąca w gruncie rzeczy kontynuacją idei ochrony przyrody, powinna być zastąpiona koncepcją utrzymania stałego obciążenia środowiska, przez które rozumieć należy całkowity strumień masy i energii wymieniany między środowiskiem a produkcją i konsumpcją dóbr. Środowisko można bowiem traktować jako swojego rodzaju układ produkcyjny, który posiada duże wprawdzie, lecz skończone zdolności do dostarczania surowców i asymilacji odpadów. Jeżeli dotychczasowy sposób eksploatacji, a więc obciążania środowiska, nie ulegnie zmianie, to wzrost populacji światowej i związany z tym nieunikniony wzrost gospodarczy mogą spowodować za około 40 lat prawie 10-krotny wzrost obciążenia w porównaniu z obciążeniem obecnym [12]. W praktyce będzie to oznaczało nie tylko degradację środowiska, lecz również spadek jego zdolności produkcyjnych. W sporządzaniu ocen nie powinno się więc prognozować efektów opierając się przy tym tylko na miarach jakościowych jakimi są rodzaje oddziaływań. Efekty oddziaływań powinny być szacowane w pierwszym rzędzie na wielkości obciążenia środowiska.

Problem właściwego sporządzania ocen nabiera szczególnego znaczenia w przypadku technologii przemysłu chemicznego. Technologie chemiczne służą bowiem do przetwarzania surowców pobieranych ze środowiska na potrzebne produkty, odprowadzając jednocześnie do niego odpady, którymi są produkty uboczne i zanieczyszczenia surowców. Prowadzenie procesu chemicznego oznacza więc nieunikniony przepływ masy i energii między układem technologicznym a środowiskiem, a tym samym nieuniknione obciążenie środowiska. Powstaje wobec tego problem oceny tego obciążenia. Do tego celu trzeba dysponować odpowiednim narzędziem, które umożliwiłoby dokonanie takiej oceny.

W niniejszym artykule przedstawiono ogólną koncepcję i konstrukcję proponowanej metody oceny technologii chemicznych, która opiera się na wielkości obciążenia środowiska, mierzonego wielkościami strumieni masy i energii wymienianych między analizowanym układem technologicznym a środowiskiem. W miejsce dotychczas stosowanego przewidywania efektów wprowadzono natomiast ocenę jakości emitowanych strumieni odpadów z punktu widzenia ich ekotoksyczności. Artykuł jest dwuczęściowy. W Części I. przedstawiono ogólną koncepcję i konstrukcję metody oraz omówiono sporządzenie charakterystyki materiałowo-energetycznej technologii, w Części II. omówiono sporządzenie oceny w oparciu o specjalnie skonstruowane kryteria wraz z propozycją klasyfikacji technologii.

## Ogólna koncepcja metody

W ogólnej koncepcji metody przyjęto, że powinna ona:

- oceniać oddziaływanie analizowanej technologii przez obciążenia środowiska pobieranymi i emitowanymi strumieniami masy i energii względem jego dopuszczalnej pojemności,
- umożliwiać w sposób ilościowy porównywanie różnych technologii wytwarzania tego samego produktu,
- umożliwiać ocenę technologii na każdym etapie jej rozwoju,
- dostarczyć miary ekotoksyczności technologii.

Opierając się na powyższej charakterystyce przyjęto, że proponowana metoda musi opierać się na podstawowym, a jednocześnie specyficznym elemencie każdej technologii chemicznej, jakim jest reakcja chemiczna. Zapis reakcji chemicznej i jej efekt energetyczny dostarcza danych o wielkości i jakości strumieni masy i energii oraz o zmianach określonych funkcji termodynamicznych związanych z przeprowadzeniem reakcji. Są to więc informacje o nieuniknionych wielkościach oddziaływań i zmianach w środowisku jakie wywoła przeprowadzenie reakcji. Jednocześnie są to wielkości bezwzględne, a więc najlepiej nadające się jako miary oddziaływania, a tym samym miary obciążenia środowiska. Sytuacja ta stwarza wobec tego możliwość skonstruowania narzędzia pozwalającego na ilościową miarę obciążenia środowiska.

Do oceny powinno się również wykorzystać cykl życiowy technologii chemicznych, w którym można wyróżnić co najmniej trzy etapy:

- Etap koncepcji chemicznej  
Na etapie koncepcji chemicznej wybiera się zestaw reakcji niezbędnych do otrzymania pożądanego produktu. Jest to tzw. ścieżka reakcyjna technologii. Nie określa się natomiast, jakie procesy jednostkowe są konieczne do realizacji całej ścieżki reakcyjnej. Ilości potrzebnych surowców, odpadów i energii oblicza się ze stechiometrii reakcji i ich efektów cieplnych.
- Etap projektu technologicznego  
W projekcie technologicznym uwzględnia się warunki prowadzenia reakcji oraz procesów jednostkowych wraz z niezbędnymi nakładami energetycznymi. Rozwinięciem projektu technologicznego jest projekt technologiczno-aparaturowy, w którym określa się również aparaturę do przeprowadzenia reakcji i operacji wraz z

warunkami jej pracy. W ramach projektu sporządza się bilans materiałowy i energetyczny.

- Etap realizacji przemysłowej  
Realizacja przemysłowa jest końcowym etapem rozwoju technologii chemicznej i zawiera opis pracy instalacji przemysłowej wraz z zestawem wszystkich danych dotyczących strumieni materiałowych i energetycznych poszczególnych węzłów instalacji jak i całego procesu.

Wykorzystanie cyklu życiowego pozwala na porównanie wzrostu oddziaływania w miarę przechodzenia na następny etap rozwoju technologii, a tym samym oceny przyjętych w nim rozwiązań. Wzrost ten może również być wyrażony ilościowo, jeżeli za podstawę przyjmie się wielkość oddziaływania na poziomie koncepcji chemicznej, a więc oddziaływania najmniejszego, lecz nieuniknionego. Te dwie cechy, tj. reakcja chemiczna oraz etapowość w cyklu życiowym technologii chemicznych stanowią podstawę struktury metody.

Obiektem oceny jest technologia chemiczna rozumiana jako zestaw reakcji chemicznych wraz z operacjami pomocniczymi niezbędnymi do przeprowadzenia reakcji i uzyskania pożądanego produktu. Produkt ten nazywa się produktem głównym i w stosunku do niego przeprowadza się obliczenia. Całość tworzy układ technologiczny ze ściśle zdefiniowanymi granicami oddzielającymi go od środowiska, przez które przenikają strumienie masy i energii wchodzące do układu i opuszczające układ. Zdefiniowanie wielkości układu i jego granic uzależnione jest od celu i zakresu oceny. Układ technologiczny zlokalizowany jest na obszarze, dla którego przeprowadzana będzie analiza.

## **Konstrukcja metody**

Metoda jest dwustopniowa, a mianowicie w pierwszym stopniu przeprowadza się analizę strumieni materiałowo-energetycznych, a w drugim sporządza ocenę przy pomocy specjalnych kryteriów. Do analizy strumieni materiałowych i energetycznych służy wykaz ilościowy tych strumieni, który zawsze jest sporządzany na każdym etapie rozwoju technologii. Niezbędnym uzupełnieniem wykazu ilościowego jest jeszcze wykaz jakościowy strumieni materiałowych, ze szczególnym uwzględnieniem strumieni zawierających produkty uboczne i odpady, które mają być wprowadzone do środowiska.

## **Sporządzanie charakterystyki materiałowo-energetycznej technologii**

Wykazy strumieni materiałowych i energetycznych służą do sporządzania trzech charakterystyk nazywanych tu profilami materiałowym, energetycznym i ekologicznym, gdzie:

1. Profil materiałowy - zawiera charakterystykę materiałową technologii, tzn. ilościowe dane o wszystkich strumieniach materiałowych przekraczających granice układu jak również występujących w obrębie układu.
2. Profil energetyczny - zawiera charakterystykę energetyczną technologii, tzn. ilościowe dane o wszystkich strumieniach energii przekraczających granice układu jak również występujących w obrębie układu.
3. Profil ekologiczny - zawiera jakościową charakterystykę wszystkich strumieni odpadowych emitowanych z danej technologii do środowiska.

W obrębie każdego profilu ocenianą technologię analizuje się na trzech poziomach różniących się warunkami w jakich przebiegają wszystkie procesy i operacje jednostkowe.

Są to:

- I. poziom podstawowy - na tym poziomie analizuje się tylko reakcje chemiczne wykorzystywane w danej technologii, przyjmując warunki standardowe dla ich przebiegu; poziom ten odpowiada chemicznej koncepcji procesu;
- II. poziom technologiczny - na tym poziomie analizuje się reakcje chemiczne oraz niezbędne operacje jednostkowe przyjmując dla ich przebiegu warunki określone daną technologią; poziom ten odpowiada koncepcji technologicznej procesu;

III. poziom procesowy - na tym poziomie analizuje się wszystkie procesy i operacje jednostkowe w warunkach procesu przemysłowego; poziom ten odpowiada przemysłowej realizacji danej technologii.

W każdym profilu ocenianą technologię charakteryzuje się za pomocą szeregu wskaźników obliczanych na każdym poziomie oceny. Ich liczba, rodzaj i funkcja zmieniają się dla każdego z omawianych profili, zależnie od zakresu i potrzeb oceny. Do najważniejszych należą tzw. wskaźniki jednostkowe określające wielkości poszczególnych strumieni masy lub energii przypadające na jednostkową masę produktu głównego. Poniżej przedstawiono podstawowe wskaźniki jednostkowe każdego z profili wykorzystywane w ocenie.

### PROFIL MATERIAŁOWY

Z profilu materiałowego do oceny wykorzystuje się wskaźnik **WM** zdefiniowany zależnością:

$$WM = \sum_{i=1}^n WM_i \quad [1.1]$$

Przy wyznaczaniu tego wskaźnika uwzględnia się wszystkie wprowadzane do analizowanego układu technologicznego surowce nieodnawialne i odnawialne, biorące bezpośredni udział w reakcjach prowadzących do uzyskania produktu głównego procesu. Udział każdego z surowców uwzględniony jest przez współczynnik **WM<sub>i</sub>** opisany zależnością:

$$WM_i = \frac{\text{masa i-tego surowca biorącego bezpośredni udział w reakcji}}{\text{suma mas produktów głównych opuszczających układ}}$$

### PROFIL ENERGETYCZNY

Z profilu energetycznego do oceny wykorzystuje się wskaźnik **WE** zdefiniowany zależnością:

$$WE = \sum_{i=1}^n WE_i \quad [1.2]$$

Przy obliczaniu wskaźnika **WE** pod uwagę bierze się wszystkie rodzaje energii (cieplna, elektryczna) zużywane w danym procesie na wytworzenie produktu głównego. Wartość ta jest pomniejszona o ilość energii odzyskiwanej w procesie i wykorzystanej w jego obrębie. Dostarczona do rozpatrywanego układu technologicznego energia może być zużywana bezpośrednio do przeprowadzenia przebiegających w nim reakcji, do ogrzewania lub chłodzenia reagentów, a także w procesach mechanicznych związanych głównie z transportem mediów. Na poziomie podstawowym i technologicznym ilość niezbędnej energii potrzebnej do przeprowadzenia całego procesu wyznaczana jest na podstawie bilansu energetycznego, a dla poziomu procesowego na podstawie danych rzeczywistych. Udział każdego ze strumieni energii uwzględniony jest przez współczynnik **WE<sub>i</sub>** opisywany zależnością:

$$WE_i = \frac{\text{ilość energii i-tego rodzaju wykorzystywanej w procesie}}{\text{suma mas produktów głównych opuszczających układ}}$$

## PROFIL EKOLOGICZNY

Z profilu ekologicznego do oceny wykorzystuje się wskaźnik odpadogenności ogólnej **WO** oraz wskaźniki odpadogenności ekotoksycznej **WT**.

Wskaźnik odpadogenności ogólnej **WO** określony jest zależnością:

$$WO = \sum_{i=1}^n WO_{gi} + \sum_{j=1}^m WO_{cj} + \sum_{k=1}^l WO_{sk} \quad [1.3]$$

gdzie:

**WO<sub>gi</sub>** - wskaźnik odpadogenności odpadów gazowych wyznaczony dla i-tej substancji gazowej

$$WO_{gi} = \frac{\text{masa i-tego odpadu gazowego powstającego w procesie}}{\text{suma mas produktów głównych opuszczających układ}}$$



$WO_{cj}$  - wskaźnik odpadogenności odpadów ciekłych wyznaczony dla j-tej substancji ciekłej

$$WO_{cj} = \frac{\text{masa j-tego odpadu ciekłego powstającego w procesie}}{\text{suma mas produktów głównych opuszczających układ}}$$

$WO_{sk}$  - wskaźnik odpadogenności odpadów stałych wyznaczony dla k-tej substancji stałej

$$WO_{sk} = \frac{\text{masa k-tego odpadu stałego powstającego w procesie}}{\text{suma mas produktów głównych opuszczających układ}}$$

Wskaźniki  $WO_{gi}$ ,  $WO_{cj}$  i  $WO_{sk}$  wyznacza się biorąc pod uwagę odpady tylko bezpośrednio odprowadzane do środowiska, a więc już po uwzględnieniu wszystkich procesów unieszkodliwiania odpadów stosowanych w ramach ocenianej technologii. W obliczeniach wskaźników  $WO_{gi}$ ,  $WO_{cj}$  i  $WO_{sk}$  bierze się pod uwagę wszystkie rodzaje odpadów z wyjątkiem odpadów obojętnych, do których należą woda i naturalne składniki powietrza (oprócz gazów wpływających na zmiany w warstwie ozonowej i powodujące efekt cieplarniany). Pozostałe odpady to:

- odpady powstające w wyniku przebiegu reakcji wytwarzania produktu głównego procesu,
- zużyte surowce pomocnicze, których nie zawiera się do procesu i traktuje jako odpad,
- odpady powstające przy produkcji odpowiedniego rodzaju energii dostarczanej do procesu,
- niewykorzystane surowce i produkty (dla poziomu procesowego),
- odpady powstające przy produkcji energii.

Masę odpadów powstających przy produkcji energii oblicza się z ilości surowców energetycznych potrzebnych do jej wytworzenia. Dla poziomu podstawowego (reakcje endotermiczne) oraz technologicznego masę zużytego paliwa oblicza się przeliczając wyznaczone w bilansie energetycznym ilości ciepła na masę paliwa jakie jest stosowane na poziomie procesowym lub na masę paliwa umownego. Dla poziomu procesowego do wyznaczenia masy surowców energetycznych przyjmuje się rzeczywiste zużycie

określonego rodzaju paliwa na podstawie dostępnych danych. Wartość energii elektrycznej wykorzystywanej w procesie jest również przeliczana na odpowiadającą jej masę surowców energetycznych. Przy wyznaczaniu tej masy korzysta się z odpowiednich przeliczników [13,14].

Wskaźnik odpadogenności ekotoksycznej obliczany jest na podstawie zależności:

$$WT = \sum_{i=1}^k WT_i \quad [1.4]$$

$$WT_i = x_i \cdot WO \quad [1.5]$$

gdzie:

$WT_i$  - wskaźnik odpadogenności ekotoksycznej dla i-tej substancji ekotoksycznej

$x_i$  - ułamek masowy i-tej substancji ekotoksycznej

$WO$  - wskaźnik odpadogenności ogólnej.

Wskaźnik WT dotyczy tylko odpadów, które są klasyfikowane jako ekotoksyczne [15-17] i jest miarą ogólnej ekotoksyczności danej technologii. Wskaźniki cząstkowe  $WT_i$  dotyczą poszczególnych odpadów ekotoksycznych i są wykorzystywane w kryterium ekotoksyczności.

**Dr hab. inż. Profesor Politechniki Wrocławskiej Stefan Zieliński,**

**Dr inż. Maciej Famulski,**

Instytut Technologii Nieorganicznej i Nawozów Mineralnych Politechniki Wrocławskiej,

## **Literatura**

1. Environmental Impact Assessment, Training Package E06, Ichem, 1994.
2. Glasson J., Therivel R., Chadwick A.: Introduction to Environmental Impact Assessment, London, UCL Press, 1996.
3. Pfafflin J.R.: Environmental Impact Statement, Chap. II, 285-298, London, UCL Press, 1997.

4. Glasson J., Therivel R., Chadwick A.: Introduction to Environmental Impact Assessment, London, UCL Press, 1996.
5. Morris P., Therivel R.: Methods of Environmental Impact Assessment, London, UCL Press, 1998.
6. Saur K., Gediga J., Hesselbach J., Schuckert M., Eyerer P.: J. of LCA, 4 (1996), 15.
7. Cowell S., Hogan S., Clift R.: LCANET Theme Report: Positioning and Application of LCA, LCANET European Network for Strategic Life-Cycle Assessment Research and Development, <http://www.ledenuniv.nl/interfac/cml/lcanet>, 1998.
8. Frischknecht R.: LCANET Theme Report: Goal and Scope Definition and Inventory Analysis, LCANET European Network for Strategic Life-Cycle Assessment Research and Development, <http://www.ledenuniv.nl/interfac/cml/lcanet>, 1998.
9. Finnvedan G., Lindfors L.: LCANET Theme Report: Life-Cycle Impact Assessment and Interpretation, LCANET European Network for Strategic Life-Cycle Assessment Research and Development, <http://www.ledenuniv.nl/interfac/cml/lcanet>, 1998.
10. Finnvedan G., Lindfors L.: J of LCA, 1 (1996), 45.
11. Flescher G., Schmidt W.: Ecological Valuation of Recycling Processes, 1. Freiburger Europaseminar "Recources for tomorrow – Materials Recycling", Freiberg, 1998.
12. Tsatsaronis G., Bejan A., Moran M.: Thermal Design and Optimisation, J. Wiley & Sons, New York, 1996.
13. S.Zieliński, CHEMIK 11 (1997), 287
14. Frangopoulos Ch.: An Introduction to Environomic Analysis and Optimisation of Energy-Intensive Systems, ECOS'92, Zaragoza, Spain, June 15-18, 1992.
15. Dziennik Ustaw Nr 162/97.
16. Dziennik Ustaw Nr 105/97, Załącznik do numeru 105, poz.671.
17. Dziennik Ustaw Nr 145/97.