



## **Zastosowanie wybranych metod oceny wpływu cyklu życia procesu produkcji flokulantu syntezowanego z odpadów żywicy fenolowo- formaldehydowej na jakość środowiska**

*Anna Henclik*

*Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi  
i Energią PAN, Kraków*

*Wioletta M. Bajdur*

*Politechnika Częstochowska*

### **1. Wstęp**

W ostatnich latach prowadzone są prace badawcze dotyczące odzysku surowców z tworzyw polimerowych, w tym nad produkcją potencjalnych flokulantów (polielektrolitów) z odpadów poprodukcyjnych żywic fenolowo-formaldehydowych. Flokulanty stosowane są głównie w procesach oczyszczania ścieków przemysłowych i komunalnych, lecz mogą być wykorzystane w wielu procesach przemysłowych, m.in. flokulacji rud metali po wzbogaceniu w procesie flotacyjnym [1÷7]. Opracowując nowe technologie otrzymywania flokulantów, nie powinno pomijać się aspektu ekologicznego, biorąc pod uwagę dążenie do zrównoważonego rozwoju uwzględniającego potrzeby ochrony środowiska. Każda

działalność produkcyjna, a zwłaszcza otrzymywanie produktów chemicznych ma znaczący wpływ na środowisko. Wdrażanie nowych technologii, wymaga więc stosowania odpowiednich metod oceny uzyskanych efektów ekologicznych, a to może przyczynić się do wyższego poziomu ekologicznego produkcji [9]. Jedną z takich metod jest ocena cyklu życia produktu (*Life Cycle Assessment – LCA*), która umożliwia określenie oddziaływania projektowanej/wdrażanej technologii na środowisko w całym okresie cyklu życia. Ocena cyklu życia wg definicji Komisji Europejskiej [10] *to proces zbierania i oceny danych „wejściowych” i „wyjściowych” oraz potencjalnego wpływu na środowisko w całym cyklu życia wyrobu (produkcja, użytkowanie i utylizacja)*. Zasady i wymagania dotyczące prowadzenia badań przy pomocy LCA zostały opisane przez Międzynarodowy Komitet Normalizacyjny w normach: PN-EN ISO 14040:2009 Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura oraz PN-EN ISO 14044 Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne.

Zgodnie z założeniami zawartymi w normie ISO 14040, wyróżnia się cztery fazy prowadzenia oceny cyklu życia:

1. określenie celu i zakresu badań (wybór jednostki funkcjonalnej, granic systemu),
2. analiza zbioru wejść i wyjść (analiza procesu technologicznego, bilans strumieni przepływów surowców, energii i materiałów pomocniczych oraz bilans odpadów, a także identyfikacja potencjalnych źródeł ich powstawania),
3. ocena wpływu cyklu życia na środowisko (przekształcanie zebranych danych we wskaźniki kategorii wpływu lub kategorii szkody),
4. interpretacja (wnioski i weryfikacja wyników).

Trzecia faza oceny cyklu życia może być przeprowadzona z wykorzystaniem różnych metod, przykładowo *Eco-indicator 99* czy *ReCiPe*, najczęściej zaimplementowanych do programów komputerowych służących do badań LCA (*SimaPro*, *GaBi*). Ilość dostępnych metod do analiz LCA wskazuje na ciągły rozwój metodyki LCA, jednak w Europie najczęściej wybieraną metodą jest *Eco-indicator 99*.

W artykule przedstawiono wyniki badań procesu produkcji nowosyntezowanego polielektrolitu z odpadów poprodukcyjnych żywic fenolowo-formaldehydowych, wykorzystując trzy różne metody używane dla warunków europejskich.

## 2. Metodyka badań

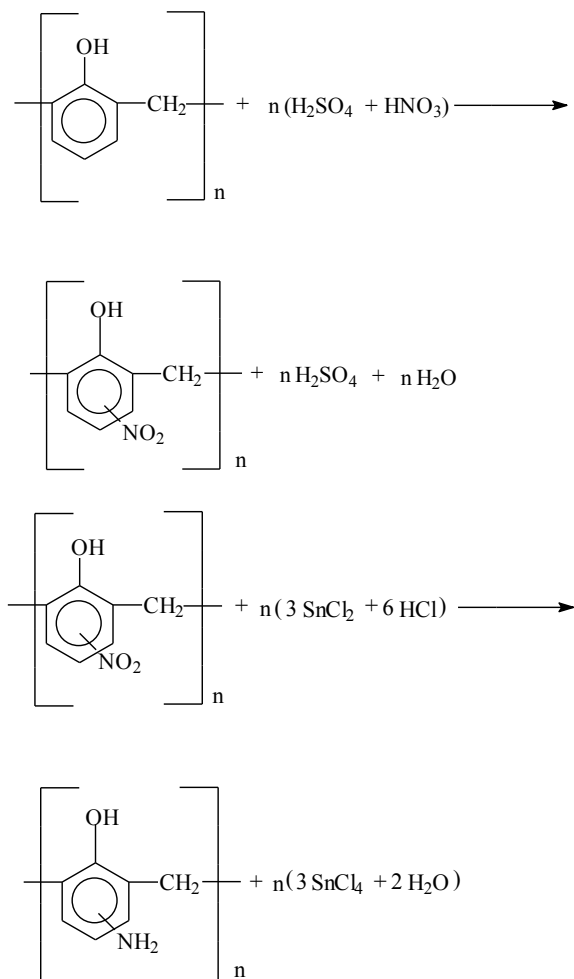
Podstawą do badań środowiskowych były badania technologiczne w skali ćwierć-technicznej, procesu wytwarzania pochodnych aminowych poprodukcyjnych odpadów żywicy fenolowo-formaldehydowej – nowolaku SE.

Aminową pochodną nowolaku SE otrzymano dwuetapowo (rys. 1):

1. przez nitrowanie nowolaku o budowie liniowej mieszaniną nitrującą: stężonym kwasem azotowym (V) i stężonym kwasem siarkowym (VI),
2. otrzymaną w ten sposób nitrową pochodną nowolaku poddano procesowi redukcji do pochodnej aminowej mieszaniną chlorku cyny (II) i wody oraz stężonego kwasu solnego.

Dla syntezowanej aminowej pochodnej odpadów poprodukcyjnych nowolaków SE przeprowadzono badania ich rozpuszczalności w typowych rozpuszczalnikach organicznych i wodzie, w temperaturze pokojowej i temperaturze wrzenia rozpuszczalnika. Stwierdzono, że produkty te są nierozpuszczalne w butanolu, kwasie octowym, izopropanolu, DMF-ie, ksylenie, cykloheksanolu i octanie etylu, pirydynie, toluenie, benzenie, nitrobenzenie, cykloheksanie, anilinie, dioksanie i wodzie. Ich nierozpuszczalność w wodzie, miała wpływ na badania przeprowadzone również w rozcieńczonych (3%-owych) roztworach KOH i NaOH. Stwierdzono, że aminowe pochodne odpadów poprodukcyjnych nowolaku SE i NS dobrze rozpuszczają się w tych roztworach. W związku z tym do badań przydatności syntezowanych pochodnych w procesach flokulacji zastosowano ich roztwory w rozcieńczonym wodnym roztworze KOH w postaci polielektrolitów.

Celem analizy było ustalenie wpływu na środowisko procesu modyfikacji odpadów poprodukcyjnych nowolaku SE. Do przeprowadzenia oceny cyklu życia (LCA) produkcji potencjalnego flokulantu, zaprojektowano linię technologiczną do produkcji nowego typu produktów. Założenia technologiczne produkcji nowego typu flokulantu stały się podstawą do stworzenia tablic inwentarzowych, na podstawie których określono potencjalny wpływ produktu na środowisko wykorzystując technikę LCA przy użyciu programu SimaPro.



**Rys. 1.** Równania reakcji chemicznej otrzymywania monomeru aminowej pochodnej nowolaku SE [5]

**Fig. 1.** Chemical reaction for obtaining an amine derivative monomer novolac SE [5]

Ocena cyklu życia (LCA) jest narzędziem pozwalającym na identyfikację, kwantyfikację i ocenę potencjalnego wpływu oraz na ustalenie sposobów poprawy jakości środowiska. Może ona być przeprowadzana przy wykorzystaniu różnych metod. Dla warunków europejskich, oprócz metody *Eco-indicator 99*, można stosować m.in. metody: *CML*, *IMPACT*

2002+, *ReCiPe* czy *EDIP*. Różnią się one kategoriami wpływu, jak również parametrami charakteryzowania tych samych kategorii, dlatego też, analizując dany proces uzyskuje się czasem znacznie rozbieżne wyniki. Różnice te powodowane są najczęściej wyborem innego mechanizmu środowiskowego. Wymagania i zalecenia dotyczące wyboru kategorii wpływu, jak również mechanizmów środowiskowych prezentowane są w normach ISO [11, 12].

Prezentowaną w pracy analizę wykonano z wykorzystaniem programu SimaPro, wybierając do badań trzy różne metody: *Eco-indicator 99*, *IMPACT 2002+* i *ReCiPe*.

W metodzie *Eco-indicator 99*, ocena podawana jest w punktach pośrednich (kategoriach wpływu) lub końcowych (kategoriach szkody), które wymienione zostały w tabeli 1.

**Tabela 1.** Kategorie szkody i wpływu w metodzie *Eco-indicator 99* [8]

**Table 1.** Categories of damage and impact in *Eco-indicator 99* method [8]

Kategoria szkody	Jednostka	Kategoria wpływu
Zdrowie ludzkie	DALY	Czynniki rakotwórcze
		Promieniowanie jonizujące
		Wpływ zw. nieorganicznych na układ oddechowy
		Wpływ zw. organicznych na układ oddechowy
		Zmiany klimatu
		Zubożenie warstwy ozonowej
Jakość ekosystemu	PDF·m <sup>2</sup> ·rok	Ekotoksyczność
		Zagospodarowanie terenu
		Zakwaszanie / Eutrofizacja
Zużycie zasobów	Nadwyżka energii w MJ	Zużycie paliw kopalnych
		Zużycie surowców mineralnych

DALY – *Disability Adjusted Life Years* – lata życia dotknięte niepełnosprawnością,  
 PDF·m<sup>2</sup>·rok – *Potentially Disappeared Fraction* – część gatunków potencjalnie zagrożona,  
 MJ – megadžul.

Wymienione w tabeli 1 kategorie wpływu i szkód odnoszą się do różnych jednostek. Dla zastosowania bezwymiarowych stopni ważności, wynik pozbawia się wymiaru poprzez zastosowanie normalizacji. Kategorie szkód są normalizowane na poziomie europejskim (szkody spowo-

dowane przez jednego Europejczyka rocznie). Ostatnim etapem oceny wpływu cyklu życia na środowisko jest proces ważenia, w którym wyniki z normalizacji mnoży się przez odpowiednie współczynniki ważności. Obliczenia w stosowanej w niniejszej analizie wersji *Eco-indicator 99* prowadzone są na podstawie średniej perspektywy czasowej.

Metoda *ReCiPe* ma na celu połączenie stosowanych do tej pory metod (głównie *Eco-Indicator 99* i *CML*) i ustalenie ich wspólnych ram. Łączy ona punkty pośrednie z punktami końcowymi. Kategorie wpływu i szkody dla omawianej metody przedstawiono w tabeli 2.

**Tabela 2.** Kategorie szkody i wpływu w metodzie *ReCiPe* [13]

**Table 2.** Categories of damage and impact in *ReCiPe* method [13]

Kategoria szkody	Jednostka	Kategoria wpływu
Zdrowie ludzkie	DALY	Promieniowanie jonizujące
		Toksyczność dla ludzi
		Tworzenie się cząstek stałych (pyłu)
		Tworzenie się fotochemicznych utleniaczy
		Zmiany klimatu
		Zubożenie warstwy ozonowej
Jakość ekosystemu	Gatunek/rok	Ekotoksyczność (dla wód i lądowa)
		Eutrofizacja
		Zagospodarowanie terenu (zajmowanie oraz przekształcanie)
		Zakwaszanie
		Zmiany klimatu
Zużycie zasobów	\$	Zużycie paliw kopalnych
		Zużycie surowców metalicznych

DALY – *Disability Adjusted Life Years* – lata życia dotknięte niepełnosprawnością,

Gatunek/rok – wymieranie gatunków w okresie roku,

\$ – wzrost kosztów wynikający z wydobywania zasobów (w dolarach).

W metodzie *IMPACT 2002+* również zaproponowano połączenie dwóch metod – *CML* i *Eco-indicator 99* i pogrupowano podobne kategorie punktów pośrednich do punktów końcowych. Rozbudowano ponadto niektóre kategorie wpływu (tabela 3).

**Tabela 3.** Kategorie szkody i wpływu w metodzie *Impact 2002+* [13]**Table 3.** Categories of damage and impact in *Impact 2002+* method [13]

Kategoria szkody	Jednostka	Kategoria wpływu
Zdrowie ludzkie	DALY	Czynniki rakotwórcze
		Czynniki nierakotwórcze
		Promieniowanie jonizujące
		Wpływ zw. nieorganicznych na układ oddechowy
		Wpływ zw. organicznych na układ oddechowy
		Zubożenie warstwy ozonowej
Jakość ekosystemu	PDF·m <sup>2</sup> ·rok	Ekotoksyczność (dla wód i lądowa)
		Eutrofizacja
		Zagospodarowanie terenu
		Zakwaszanie
Zmiany klimatu	kg równ. CO <sub>2</sub>	Globalne ocieplenie
Zużycie zasobów	Energia pierwotna w MJ	Eksploracja surowców mineralnych
		Energia nieodnawialna

DALY – *Disability Adjusted Life Years* – lata życia dotknięte niepełnosprawnością,  
 PDF·m<sup>2</sup>·rok – *Potentially Disappeared Fraction* – część gatunków potencjalnie zagrożona,  
 MJ – megadżul.

Metody *ReCiPe* i *IMPACT 2002+* są połączeniem dwóch najbardziej znanych metod oceny wpływu cyklu życia: *CML* i *Eco-Indicator 99*. Różnicę pomiędzy nimi stanowi m.in. sposób podejścia do kategorii szkody „zużycie zasobów”. W metodzie *IMPACT 2002+* jednostką jest wielkość energii pierwotnej w MJ, natomiast w metodzie *ReCiPe* wzrost kosztów wynikający z wydobywania zasobów (w dolarach).

### 3. Analiza wyników badań

Dla wytworzonego nowego typu flokulantu przeprowadzono ocenę potencjalnego wpływu jego produkcji na środowisko. Analizę LCA wykonano przy wykorzystaniu programu *SimaPro*. Za jednostkę funkcjonalną przyjęto 100 kg aminowej pochodnej nowolaku SE. Założono, iż jest to dzienna wielkość produkcji. W pierwszej kolejności przeanaliz-

zowano wpływ produkcji na środowisko metodą *Eco-indicator 99* (rysunek 2), następnie *ReCiPe* (rysunek 3) i *IMPACT 2002+* (rysunek 4).

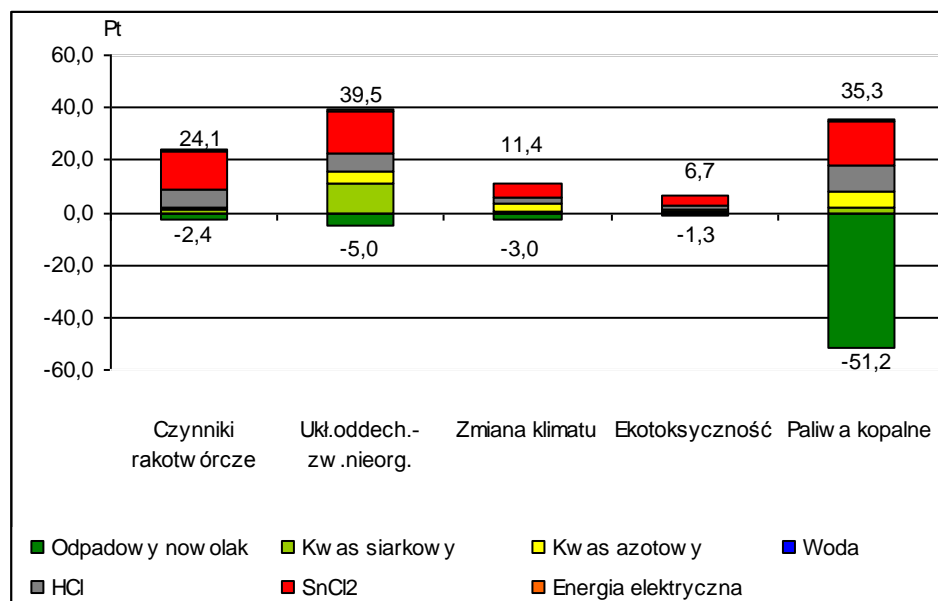
W opisie uzyskanych wyników pominięto kategorie wpływu, których udział w całości wpływu jest mniejszy niż 5%. Wyniki przedstawione zostały w tzw. Ekopunktach (Pt), tzn. jednostkach obliczonych jako stosunek całkowitego obciążenia środowiska (np. emisje, zużycie surowców) w Europie do liczby mieszkańców, pomnożony następnie przez 1000. W ten sposób 1000 Pt odpowiada rocznemu obciążeniu środowiska przez przeciętnego mieszkańca Europy (i przypadającego na 1 mieszkańca Europy).

Analiza wyników zastosowanej metody *Eco-indicator 99* (rysunek 2) pozwoliła stwierdzić, że największy potencjalny negatywny wpływ na środowisko, podczas procesu produkcji ma użycie do niej chlorku cyny oraz (w dużo mniejszym stopniu) kwasu solnego. Pozytywny wpływ na środowisko ma wykorzystanie odpadów poprodukcyjnych żywiec fenolowo-formaldehydowych. Wykorzystanie odpadów polimerowych pozwala nie tylko na ich redukcję w środowisku, ale przede wszystkim na zachowanie (zaoszczędzenie) paliw kopalnych, które należało by zużyć do produkcji nowolaków. Jednak sumarycznie produkcja aminowej pochodnej nowolaku SE ma negatywny wpływ na środowisko ze względu na duże zużycie chlorku cyny oraz kwasów nieorganicznych używanych do nitrowania i redukcji nowolaku. Zużycie to wynosi około 400 kg dla  $\text{SnCl}_2$  oraz kwasów siarkowego i solnego na 100 kg otrzymanego flokulantu.

Podczas cyklu życia produkcji aminowej pochodnej nowolaku SE, do środowiska emitowane są substancje chemiczne. Są to głównie emisje do powietrza tlenków siarki i azotu oraz pyłów, powstające głównie przy produkcji  $\text{SnCl}_2$  oraz kwasów nieorganicznych. Należy nadmienić, iż cykl życia obejmuje również etap produkcji substancji używanych do produkcji flokulantu, tj. kwasów siarkowego, azotowego i solnego, chlorku cyny i energii elektrycznej.

Sumaryczny wpływ na środowisko produkcji aminowej pochodnej nowolaku SE, przy użyciu metody *Eco-Indicator 99*, wynosi 61,4 Pt.





**Rys. 2.** Zastosowanie metody *Eco-Indicator 99* do analizy produkcji 100 kg aminowej pochodnej nowolaku SE

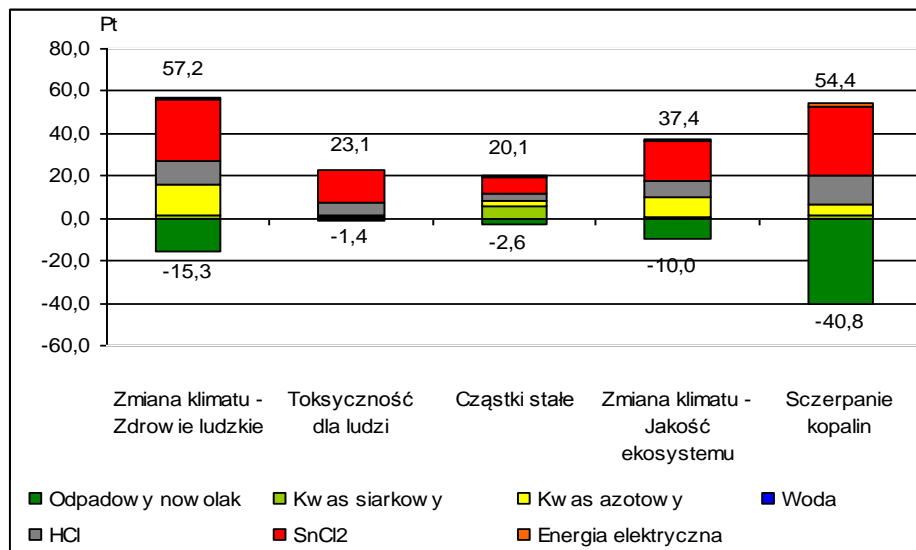
**Fig. 2.** Application of *Eco-Indicator 99* method for analysis of production of 100 kg amine derivative novolac SE

Kolejną metodą wykorzystaną do oceny wpływu jest *ReCiPe* (rysunek 3). Dominujący negatywny wpływ na środowisko wynika z użycia podczas produkcji: chlorku cyny oraz kwasów solnego i azotowego. Pozytywny wpływ na środowisko związany jest z wykorzystaniem do produkcji odpadów żywic fenolowo-formaldehydowych. Nie niweluje to jednak szkód środowiskowych powstających podczas produkcji pochodnej aminowej nowolaku SE. Związkiem mającym największy negatywny wpływ podczas produkcji flokulantu w całym jego cyklu życia, a więc gdy włączone zostaną cykle życia używanych do produkcji związków chemicznych, jest kwas solny. Jest on wykorzystywany w bezpośredniej produkcji omawianego flokulantu oraz do produkcji chlorku cyny.

Emisjami powodującymi potencjalne zagrożenie dla środowiska w poszczególnych kategoriach wpływu są:

- dla zmian klimatu: CO<sub>2</sub> i N<sub>2</sub>O,

- w przypadku toksyczności dla ludzi: emisja manganu i arsenu do wody, powstająca głównie podczas unieszkodliwiania odpadów poprzemysłowych oraz podczas produkcji energii elektrycznej,
- dla tworzenia się cząstek stałych – tlenki siarki i azotu oraz pyły,
- dla kopalni – wyczerpanie zasobów gazu ziemnego, ropy naftowej i węgla kamiennego.



**Rys. 3.** Zastosowanie metody *ReCiPe* do analizy produkcji 100 kg aminowej pochodnej nowolaku SE

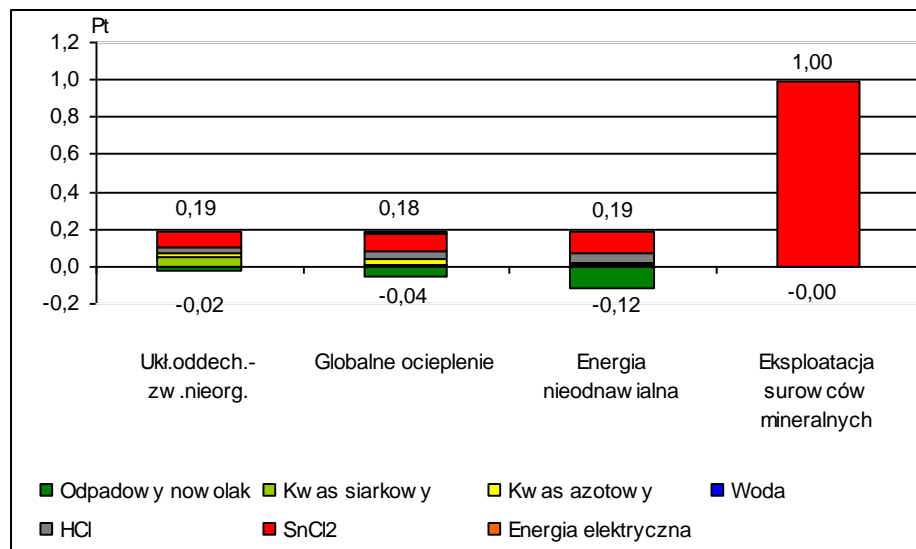
**Fig. 3.** Application of *ReCiPe* method for analysis of production of 100 kg amine derivative novolac SE

Sumaryczny wpływ na środowisko produkcji aminowej pochodnej nowolaku SE przy wykorzystaniu metody *ReCiPe* to 125,4 Pt.

Ostatnią metodą wykorzystaną do analizy jest *Impact 2002* + (rysunek 4). W tym przypadku około 85% wielkości wpływu na końcowe wyniki ma użycie do produkcji chlorku cyny. W wynikach zaznacza się również pozytywny wpływ użytego do produkcji odpadu poprodukcyjnego żywicy fenolowo-formaldehydowej, lecz jest on niewielki.

Na kategorię wpływu dotyczącą eksploatacji surowców mineralnych wpływ ma wydobycie cyny, jako surowca do otrzymania chlorku cyny.

Sumaryczny wpływ na środowisko produkcji aminowej pochodnej nowolaku SE, przy użyciu metody *Impact 2002+* wynosi 1,4 Pt.



**Rys. 4.** Zastosowanie metody *Impact 2002+* do analizy produkcji 100 kg aminowej pochodnej nowolaku SE

**Fig. 4.** Application of *Impact 2002+* method for analysis of production of 100 kg amine derivative novolac SE

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzona przy wykorzystaniu metod *Eco-indicator 99*, *ReCiPe* i *Impact 2002+* analiza LCA procesu produkcji aminowej pochodnej nowolaku SE wykazała duże rozbieżności w otrzymanych wynikach (61,4 Pt, 125,4 Pt i 1,4 Pt). Wynika to przede wszystkim z różnych okresów lat dla etapu normalizacji oraz różnych technik ważenia w poszczególnych metodach. Dlatego też w normach ISO nie rekomendowane jest podawanie wyników po etapie ważenia, jednak mogą być one wykorzystane w interpretacji wyników analizy wrażliwości itp. Duże rozbieżności w wynikach końcowych, sugerują, iż przyczyną może być też wykorzystanie różnych parametrów charakteryzowania dla tych samych kategorii wpływu w stosowanych metodach, np. w metodzie *Eco-indicator 99* dla kategorii wpływu *zmiana klimatu* dla emisji CO<sub>2</sub> para-

metr ten ma wartość 0,00000021 DALY/kg, a w metodzie *ReCiPe* 0,0000014 DALY/kg, czyli dla tej ostatniej ma prawie 7 razy większą wartość, co może mieć odzwierciedlenie w wynikach końcowych. Analiza LCA może być wykorzystana do identyfikacji etapu produkcji czy substancji stanowiących największe zagrożenie dla środowiska.

We wszystkich zastosowanych metodach czynnikiem wpływającym na jakość środowiska jest przede wszystkim chlorek cyny. Wynika to z użycia do jego produkcji cyny metalicznej, kwasu solnego oraz energii elektrycznej. Znaczący jest też wpływ kwasu solnego na środowisko, który wykorzystywany w bezpośredniej produkcji omawianego flokulantu oraz do produkcji chlorku cyny.

Zagospodarowanie poprodukcyjnych odpadów jest zgodne z wytycznymi polityki Unii Europejskiej dotyczącymi zapobiegania ich powstawaniu, stosowania recyklingu, aby zredukować ich negatywne oddziaływanie na środowisko. Odpady stają się w ten sposób substytutem naturalnych surowców. Mimo stosowania powyższych wytycznych w analizie, problemem produkcji aminowej pochodnej nowolaku SE wydaje się być duże zużycie reagentów. Wyprodukowanie 1 Mg flokulantu wymaga zużycia ponad 4 Mg kwasu siarkowego, ok. 1,6 Mg kwasu azotowego, 4,8 Mg kwasu solnego, około 4 Mg chlorku cyny oraz 3 Mg wody. Ich negatywnego wpływu na środowisko nie niweluje wykorzystanie 1,5 Mg odpadów poprodukcyjnych żywic fenolowo-formaldehydowych.

Wybór metody badań powinien zależeć (i być dokonany) od celów określonych w I etapie badań LCA.

Istnienie rozbieżnych wyników świadczy o rozwoju i udoskonalaniu metodyki LCA. Intensywne prace nad harmonizacją metod są prowadzone m.in. pod auspicjami JRC Ispra.

## Literatura

1. **Bajdur W. M., Pajączkowska J., Makarucha B., Sulkowska A., Sulkowski W.:** *Effective polyelectrolytes synthesis from expanded polystyrene wastes*, *European Polymer Journal*, 38, 299÷304. 2002.
2. **Bajdur W. M., Sulkowski W.:** *Polyelectrolytes from NS nowolak production waste*, *Journal of Applied Polymer Science*, 89, 11, 3000÷3005. 2003.
3. **Bajdur W. M., Sulkowski W.:** *Application of Modified Wastes from Phenol-Formaldehyde Resin and Expanded Polystyrene in Sewage Treatment Processes*, *Macromolecular Symposia*, 202, 1, 325÷337. 2003.

4. **Bajdur W. M., Sułkowski W.:** *Możliwości wykorzystania modyfikowanych odpadów żywicy fenolowo-formaldehydowej w technologiach oczyszczania ścieków przemysłowych*, Przemysł Chemiczny, 82, 825÷828. 2003.
5. **Bajdur W.M.:** *Właściwości flokulacyjne pochodnych sulfonowych i aminowych odpadów polistyrenu i żywic fenolowo-formaldehydowych*, praca doktorska, niepublikowana. Katowice 2000.
6. **Bajdur W.M.:** *Possible application of modified wastes of phenol-formaldehyde resins*, (red. Heberstreit C., Kudelko J. Kulczycka J.), *A sustainable Supply of Minerals for Europe-from waste to resources*, Wrocław, Wyd. KGHM CUPRUM, 29÷37. 2007.
7. **Inagaki Y., Kiuchi S.:** *Converting waste polystyrene into a polymer flocculant for wastewater treatment*, *J Mater Cycles Waste Manag.*, 3, 14÷19, 2001.
8. **Goedkoop M., Spriensma R.:** *Eko-indicator 99 methodology report. Pre Consultants b.v., Amersfoort, The Netherlands 2001.*
9. **Kowalski Z., Kulczycka J.:** *Czyste technologie i oceny cyklu życia (LCA) jako elementy zrównoważonego rozwoju*, Przemysł Chemiczny, 85, 8-9 1031÷1034, 2006.
10. <http://lca.jrc.ec.europa.eu>
11. PN-EN ISO 14040:2009 Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura, PKN, Warszawa 2009.
12. PN-EN ISO 14044:2009 Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne, PKN, Warszawa 2009.
13. SimaPro, *Pre Consultants*.

## **Application of Selected Methods of *Life Cycle Assessment* to Judgment of Environmental Hazard of Production Process of Flocculant Synthesized from Waste Phenol-formaldehyde Resin**

### **Abstract**

This article describes the influence of the production process of a new type of flocculant obtained from the post-production waste of phenol-formaldehyde resin on the quality of environment. Flocculants, used mainly in the processes of treatment of industrial and municipal wastewater, may also be employed in numerous industrial processes, such as thickening of suspensions in the processing of zinc and copper, carbon thickening and filtration, flocculation of ores after enrichment during the flotation process. Implementation of new technologies requires application of adequate methods for assessing the obtained ecological effects, which may contribute towards a higher ecological

level of production. One of the methods which allows to determine the impact of a designed/implemented technology on the environment throughout the entire life cycle is the *LCA – Life Cycle Assessment*.

The basis for the environmental research was the bench-scale technological research of the production process of amine derivatives of post-production waste of phenol-formaldehyde resin – SE novolac.

The purpose of the analysis was to determine the environmental impact of the process of modification of post-production waste of SE novolac. In order to perform the LCA of the production of a potential flocculant, a production line was designed for the production of a new type of goods. The technological assumptions for the production of a new type of flocculant served as the basis for producing inventory tables on the basis of which a potential environmental impact of the product was determined, by application of the LCA, with the use of the SimaPro software, selecting three different methods of analysis: *Eco-indicator 99*, *IMPACT 2002+*, and *ReCiPe*. The functional unit was assumed to be 100 kg of amine derivative of SE novolac, as this was presumed to be the daily amount of production.

Conducted with the application of the *Eco-indicator 99*, *ReCiPe* and *Impact 2002+* methods, the LCA of the production process of amine derivative of SE novolac showed high variance in the results obtained, which is caused by different amounts of years for the normalization stage, as well as different weighing techniques in individual methods. This is why the ISO standards do not recommend announcing any results after the weighing stage. Such results may, however, be used in interpreting results of a sensitivity analysis, etc. High discrepancies in the final results suggest that the cause may well be the application of different characterization parameters for the same categories of influence in the applied methods.

In all the methods applied, the factor influencing the environment is chiefly tin chloride. This is due to the fact that tin metal, hydrochloric acid, and electricity are used in its production. The environmental impact of hydrochloric acid is also considerable, as it is used in direct production of the discussed flocculant and of tin chloride.

The analysis showed that the production of amine derivative of SE novolac involves high levels of reagents. Producing 1 Mg of flocculant requires the use of over 4 Mg of sulphuric acid, approx. 1.6 Mg of nitric acid, 4.8 Mg of hydrochloric acid, approx. 4 Mg of tin chloride, and 3 Mg of water. Their negative environmental impact is not reduced by using 1.5 Mg of post-production waste of phenol-formaldehyde resins.

Variance in the results is also a proof of development and improvement of the LCA methodology.