

MODEL POZYSKIWANIA NOWYCH PRODUKTÓW POLIMEROWYCH STOSOWANYCH W OCZYSZCZANIU WÓD KOPALNIANYCH

Wioletta M. BAJDUR

Streszczenie: Zainteresowanie polimerami jonowymi stosowanymi w procesach oczyszczania ścieków wzrasta wraz z upowszechnianiem się nowych technologii oczyszczania różnego rodzaju ścieków. Nowe systemy uzdatniania wód i oczyszczania ścieków oraz wzrost wymagań co do jakości oczyszczanych ścieków, zgodny z wymogami przyjętych standardów w Unii Europejskiej, powodują ciągły rozwój badań nad syntezą i modyfikacją polimerów. W zależności od sposobu otrzymywania oraz modyfikacji polimerów, uzyskane produkty o określonych właściwościach można stosować jako środki koagulujące, w celu usunięcia substancji koloidalnych w procesie oczyszczania ścieków. W artykule przedstawiono model pozyskiwania polielektrolitów z odpadów polimerowych uwzględniając szereg danych uzyskanych w wyniku przeprowadzenia badań eksperymentalnych dotyczących syntezy i zastosowania nowych potencjalnych flokulantów oraz określenia wpływu cyklu życia nowosyntezowanych produktów na środowisko.

Słowa kluczowe: technologia produkcji polielektrolitów, ocena cyklu życia (LCA), wody kopalniane, model pozyskiwania nowych produktów

1. Wprowadzenie

Polielektrolity nadal są powszechnie stosowane w świecie w procesach oczyszczania ścieków i wód przemysłowych. Sposób otrzymywania oraz modyfikacji chemicznej polimerów pozwala zastosować polielektrolity między innymi jako środki koagulujące zawiesiny wodne, stabilizujące bądź flokulujące cząstki zdyspergowane [1-4].

W ostatnich latach prowadzi się intensywne badania nad syntezą polielektrolitów, wykorzystując odpady polimerowe, głównie odpady polistyrenowe [5-19], a w znacznie mniejszym stopniu odpady żywic fenolowo-formaldehydowych [20-26]. W związku z tym opracowywane są nowe technologie produkcji flokulantów polimerowych oraz metody ich zastosowania ich w procesach oczyszczania ścieków. Mając na uwadze fakt, iż odpady polimerowe są niezwykle uciążliwe dla środowiska, uważa się, że ich ponowne zagospodarowanie miałoby duże znaczenie, pozwalając nie tylko na ograniczenie ilości odpadów zalegających w środowisku, ale także ograniczenie zanieczyszczeń w ściekach poprzez zastosowanie nowych flokulantów.

Obecnie opracowanie nowych technologii wytwarzania polielektrolitów, podobnie jak w przypadku technologii produkcji innych produktów, wymusza przeprowadzenie ekologicznej analizy cyklu życia produktu ze względu na dążenie w ostatnich latach do zrównoważonego rozwoju (ekorozwoju) z uwzględnieniem potrzeb ochrony środowiska. Każda działalność produkcyjna, a zwłaszcza otrzymywanie produktów chemicznych wpływa w znacznym stopniu na środowisko. Nowe technologie wymagają obecnie stosowania odpowiednich metod oceny efektów ekologicznych w celu osiągnięcia rozwoju

produkcji na znacznie wyższym poziomie ekologicznym.

Przyjmuje się, że jedną z najdokładniejszych metod szacowania szkodliwości środowiskowych procesów technologicznych jest technika LCA [27-35]. Przeprowadzone badania pozwoliły na stwierdzenie oraz dostarczenie informacji, czy i w jakim stopniu nowosyntezywane na bazie żywic fenolowo-formaldehadowych zastosowane w procesie flokulacji mają wpływ na redukcję wybranych wskaźników w wodach dołowych kopalni węgla kamiennego, a także która z przedstawionych koncepcji nowych technologii otrzymywania flokulantów na podstawie dokonanej oceny ekologicznej produktów jest najbardziej korzystna dla środowiska, z uwzględnieniem etapu cyklu życia potencjalnych produktów, dotyczącego procesu oczyszczania badanych wód. Wyniki badań pozwoliły na przedstawienie strategicznego modelu pozyskiwania nowych flokulantów polimerowych. Wyniki tego rodzaju badań mogą przyczynić się do rozwoju nowego kierunku badań nad syntezą polielektrolitów z wykorzystaniem odpadów polimerowych jednocześnie uwzględniając aspekt ekologiczny poprzez zastosowanie metody LCA.

2. Materiały i metody badawcze

Do badań użyto następujących substratów: koagulantu, nowosyntezywanego polielektrolitu (pochodnej aminowej nowolaku SE) oraz wody dołowej z kopalni węgla kamiennego. Do badań procesu oczyszczania wybranych wód przemysłowych zastosowano siarczan glinu jako koagulant ($\text{Al}_2\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ cz.d.a., często stosowany do usuwania zanieczyszczeń koloidalnych w procesach technologicznych uzdatniania wód i oczyszczania ścieków.

Aminową pochodną nowolaku SE (żywicy fenolowo-formaldehadowej) otrzymano przez nitrowanie nowolaku o budowie liniowej mieszaniną nitrującą: stężonym kwasem azotowym (V) i stężonym kwasem siarkowym (VI), a następnie w celu otrzymania pochodnej aminowej przeprowadzono proces redukcji pochodnych nitrowych nowolaku o budowie liniowej do pochodnych aminowych mieszaniną: chlorku cyny (II) i wody oraz stężonego kwasu solnego. W wyniku reakcji otrzymano pochodną aminową nowolaku SE o zawartości azotu 2,69%, co odpowiadało zawartości jednej grupy aminowej na 3 jednostki konstytucyjne [36]. Dla zsyntezywanej aminowej pochodnej odpadów poprodukcyjnych nowolaku SE przeprowadzono badania rozpuszczalności w typowych rozpuszczalnikach organicznych i wodzie, w temperaturze pokojowej i temperaturze wrzenia rozpuszczalnika.

W badaniach wykorzystano wodę dołową kopalnianą, której analiza fizyczno-chemiczna objęła wybrane wskaźniki (Tabela 1).

Oznaczenia wskaźników fizyczno-chemicznych wody dołowej z kopalni wykonano w akredytowanych laboratoriach zgodnie z normami:

- PN-72 C-04559/02 - Oznaczanie zawiesin ogólnych, mineralnych i lotnych metodą wagową
- PN-74 C-04566/09 - Oznaczanie chlorków metodą miareczkowania
- PN-ISO- 659:1999- Oznaczanie sumarycznej zawartości wapnia i magnezu metodą miareczkową z EDTA
- PN-74 C-04578/03 - Oznaczanie chemicznego zapotrzebowania tlenu metodą dwuchromianową
- PN-85 C-04578/02 - Oznaczanie chemicznego zapotrzebowania tlenu metodą nadmanganianowi
- PN-84 C-04578/04 - Oznaczanie biochemicznego zapotrzebowania tlenu (2001-2002)

- PN-EN 1899-1:2002-Oznaczenie biochemicznego zapotrzebowania tlenu po n-dniach (BZT). Część I. metoda rozcieńczania i szczepienia z dodatkiem allilotiomicznika (od 2003)
- PN-EN 1899-2:2002 -Oznaczenie biochemicznego zapotrzebowania tlenu po n-dniach (BZT). Część II Metoda do próbek nierozcieńczonych (od 2003)
- PN-EN 25813:1997- Oznaczenie tlenu rozpuszczonego. Metoda jodometryczna
- PN-86C-04573/01 - Oznaczenie całkowitej zawartości substancji organicznych ekstrahujących się eterem naftowym metodą wagową
- PN-C-04576-5:1994 - Badania zawartości związków azotu metodą bezpośredniej nessleryzacji
- PN-78C-04541 - Oznaczenie suchej pozostałości, pozostałości po prażeniu, straty przy prażeniu oraz substancji rozpuszczonych, substancji rozpuszczonych po mineralizacji i substancji rozpuszczonych lotnych
- PN-74 C-04566/09 - Oznaczenie siarczanów metodą wagową
- PN-ISO 9280:2002 - Oznaczenie siarczanów (VI) metodą grawimetryczną z chlorkiem baru (od 2003)
- PN-ISO-64-39-1994 - Oznaczenie fenoli
- PN-80/C-04603/01 - Oznaczenie cyjanków

Tab. 1. Wyniki analizy fizyczno-chemicznej wody dołowej z kopalni KWK

Rodzaj wskaźnika	Jednostka	Zakres wartości*
Mętność	NTU	115,0-132,0
pH	-	6,58÷7,61
BZT ₅	mg O ₂ /dm ³	2,1÷3,8
ChZT	mgO ₂ /dm ³	35,6÷91,9
Utlenialność	mgO ₂ /dm ³	6,5÷10,4
Ekstrakt eterowy	mg/dm ³	2,0÷2,5
Azot amonowy	mg/dm ³	0,62÷2,47
Siarczany	mgSO ₄ /dm ³	1350,0÷1608,0
Chlorki	mgCl/dm ³	1476,0÷2197,0
Twardość ogólna	mg/dm ³	1706,0÷2507,5
Substancje rozpuszczone -ilość ogólna	mg/dm ³	4410÷6910
Zawiesina -ilość ogólna	mg/dm ³	30,8÷50,6

* najczęściej występujący zakres wartości

Źródło: Opracowanie własne na podstawie materiałów źródłowych Kopalni Węgla Kamiennego

Ocenę wpływu na środowisko metodą LCA oczyszczania ścieków przemysłowych przy wykorzystaniu nowosyntezy flokulantu przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania SimaPro i dostępnych w nim baz danych, uwzględniając cztery fazy [3]:

- ustalenie celu i zakresu badań - celem analizy było ustalenie wpływu na środowisko procesu oczyszczania ścieków przy użyciu nowego typu flokulantu. Zakres badań obejmował proces modyfikacji chemicznej nowej generacji flokulantu na bazie odpadów żywicy fenolowo-formaldehydowej, a następnie

- wykorzystania go do wspomaganie procesu koagulacji badanej wody;
- utworzenie zbioru wejść i wyjść - analiza bilansowa systemu, inwentaryzacja danych na podstawie założeń technologicznych produkcji flokulantu i ich wykorzystania w procesie oczyszczania wody,
- ocenę wpływu cyklu życia procesu oczyszczania wody dołowej z kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem nowosyntezowanego flokulantu;
- interpretację wyników.

3. Model pozyskiwania polielektrolitów z odpadów żywicy fenolowo-formaldehydowej

Modelowe rozwiązanie pokazano na przykładzie nowosyntezowanego polielektrolitu - pochodnej aminowej poprodukcyjnych odpadów żywicy fenolowo-formaldehydowej (nowolaku SE) wytypowanej spośród kilkunastu produktów, charakteryzujących się wśród innych najwyższą procentową zawartością azotu. Doboru produktu do badań dokonano na podstawie przeprowadzonych wstępnie badań eksperymentalnych dotyczących procesu flokulacji z zastosowaniem nowych flokulantów. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że spośród badanych produktów wymienione związki nowolaku SE skutecznie obniżały wskaźniki zanieczyszczeń w wodach dołowych kopalni węgla kamiennego, a jednocześnie stanowiły jako odpad największe zagrożenie dla środowiska.

Otrzymane wyniki dotyczące syntezy nowego polielektrolitu dały podstawę do opracowania schematów technologicznych produkcji tego związku. Koncepcje schematu technologicznego produkcji pochodnej aminowej poprodukcyjnych odpadów żywicy fenolowo-formaldehydowej przedstawiono na rysunkach 1. Schemat technologiczny uwzględnia dobór urządzeń dla założonej produkcji na skalę ćwierćtechniczną, gdzie produkcja flokulanta wynosi 100 kg/dzień z wcześniej opracowaną metodyką otrzymywania pochodnej nitrowej nowolaku SE.

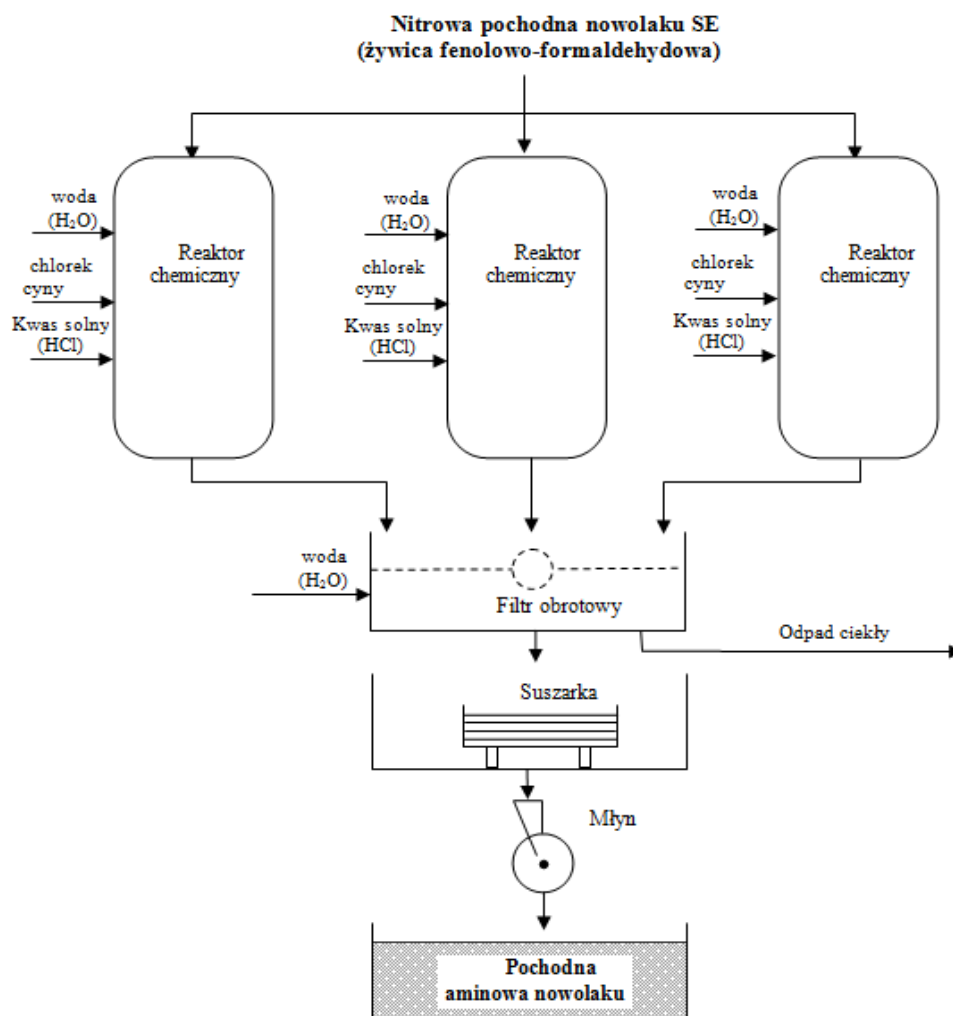
Opracowanie schematu technologicznego było niezbędne do przeprowadzenia analizy oddziaływania na środowisko nowego produktu metodą LCA, gdzie wykorzystuje się dane dotyczące ilości materiałów i energii zużytej do założonej produkcji (obliczone na podstawie opracowanych technologii produkcji flokulantów) w tym przypadku na skalę ćwierćtechniczną (Rysunek 1).

W wyniku zastosowania nowosyntezowanej pochodnej aminowej nowolaku SE do wspomaganie procesu koagulacji wody dołowej kopalnianej i dokonanej analizy wody na podstawie kilku prób stwierdzono redukcję wszystkich badanych parametrów.

Wyniki z przeprowadzonej analizy wody przykładowo dla jednej próby przedstawiono w Tabeli 2. Dla porównania, przeprowadzono również analizę wykorzystując jeden z ogólnodostępnych w handlu flokulantów (P-2515). Analizą objęto parametry takie jak: mętność, ChZT, utlenialność, ekstrakt eterowy, azot amonowy, chlorki, siarczany, twardość ogólną, ilość substancji rozpuszczonych i zawiesiny. W przedstawionej tabeli obserwuje się znaczną redukcję chlorków i siarczanów oraz twardości ogólnej i substancji rozpuszczonych.

Bardzo dobre efekty oczyszczania badanej wody dały podstawę do zaproponowania technologii wytwarzania nowej generacji flokulantów na bazie odpadów żywicy fenolowo-formaldehydowej. Opracowany schemat technologiczny oraz zaproponowano linię technologiczną do wytwarzania tego rodzaju flokulantów. Ze względu na to, iż we wszystkich badanych próbach otrzymano pozytywne efekty procesu oczyszczania ścieków do dalszych badań wytypowano dowolnie próbę P-1. Dla procesu koagulacji wspomaganego polielektrolitem wody dołowej z kopalni przeprowadzono analizę LCA,

przy wykorzystaniu programu komputerowego SimaPro, wraz z zaimplementowanymi bazami danych. Do badań LCA wykorzystano metodę Eco-Indicator 99.



Rys. 1. Schemat technologiczny produkcji pochodnej aminowej nowolaku (żywicy fenolowo-formaldehydowej) z uwzględnieniem urządzeń technologicznych

Źródło: Opracowanie własne

Jednostkę funkcjonalną było 20 000 m³ (dobową ilość wody dołowej kopalni węgla kamiennego). Uwzględniono zarówno oczyszczanie wody dołowej z kopalni jak również proces produkcji omawianego flokulantu. W analizie we wszystkich metodach pominięto kategorie wpływu mające mniejszy wpływ niż 0,05%. Wyniki przedstawiono dla 11 kategorii wpływu: czynniki rakotwórcze, wpływ na układ oddechowy związków nieorganicznych, zmiany klimatu, ekotoksyczność, zakwaszenie/eutrofizacja, zagospodarowanie terenu, minerały, paliwa kopalne. Analiza przeprowadzonych wyników w zakresie oceny cyklu życia procesu oczyszczania wody dołowej kopalni przy użyciu

Tab. 2. Wyniki analizy wody dołowej kopalnianej KWK po procesie koagulacji wspomaganą nowosyntezowanymi flokulantami oraz handlowym flokulantem

Rodzaj wskaźnika	Wartość wskaźnika przed oczyszczaniem	Wartość wskaźnika po oczyszczaniu PA-N-SE	Wartość wskaźnika po oczyszczaniu P-2515
BZT [mgO ₂ /dm ³]	3,4	1,5	2,0
ChZT [mgO ₂ /dm ³]	38,7	23,9	29,8
Utlenialność [mgO ₂ /dm ³]	7,6	5,2	6,7
Eskstrakt eterowy [mg/dm ³]	2,1	1,6	1,5
Azot amonowy [mg/dm ³]	0,69	0,52	0,49
Siarczany [mgSO ₄ /dm ³]	1480,5	310,1	1372,9
Chlorki [mgCl/dm ³]	1670,4	130,1	1428,5
Twardość ogólna [mg/dm ³]	2395,0	345,9	2154,7
Substancje rozpuszczone			
- ilość ogólna [mg/dm ³]	4578,4	570,2	3920,7
Zawiesina			
- ilość ogólna [mg/dm ³]	31,5	12,9	10,2

nowego typu flokulantu oraz zastosowaniu metody Eco-indicator 99 pokazuje na histogramie charakteryzacji, że podczas procesu produkcji PA-N-SE największy negatywny wpływ na środowisko mają chlorek cyny, kwas solny, kwas azotowy, kwasu siarkowy oraz w niewielkim stopniu energia elektryczna i prawie nieznacznym pochodną aminowa nowolaku SE. Wpływ pozytywny na środowisko spowodowany jest wykorzystaniem poprodukcyjnych odpadów żywicy fenolowo-formaldehydowej – nowolaku SE, co szczególnie widać zaobserwowano na histogramach kategorii wpływu: układ oddechowy-związki organiczne, oraz paliwa kopalne, a w pozostałych w znacznie mniejszym stopniu (69). Po normalizacji największy negatywny wpływ na środowisko ma kategoria paliwa kopalne oraz kategoria układ oddechowy – związki nieorganiczne i wynosi ogółem 0,083, w tym największy jest udział chlorku cyny. Natomiast największy pozytywny wpływ na środowisko ma udział poprodukcyjnych odpadów nowolaku SE w kategorii paliwa kopalne. Analiza wyników po ważeniu także pokazuje, że największy niekorzystny wpływ na środowisko ma kategoria wpływu układ oddechowy - związki nieorganiczne, a w niej największy udział ma chlorek cyny, co ogółem wynosi 33,26 Pt, także kategoria paliwa kopalne. Wykorzystanie odpadów polimerowych ma bardzo korzystny wpływ na środowisko.

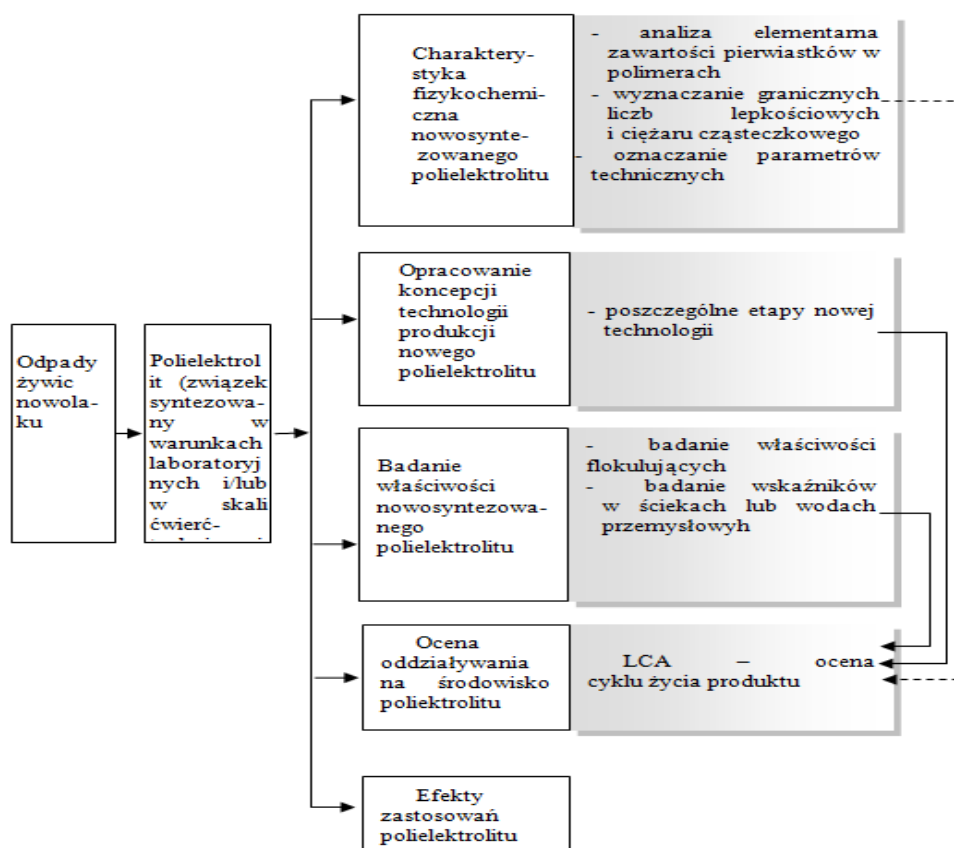
Metoda Eco-Indicator 99 wykorzystywana jest głównie do oceny procesów (np. produkcyjnych) i użytych do nich materiałów. Oceniane są przede wszystkim emisje do powietrza, wykorzystanie minerałów i paliw kopalnych, a w mniejszym stopniu emisje do wód i gleb. Większość wskaźników potrzebnych do oceny wpływu na jakość środowiska

zanieczyszczeń kierowanych do wód jest jeszcze ciągle na etapie badań (zarówno w tej metodzie badań LCA jak i w innych).

Przeprowadzone badania w kierunku wykorzystania nowej grupy produktów syntezowanych z odpadów żywic fenolowo-formaldehydowych jako potencjalnych flokulantów w procesie oczyszczania ścieków i wód przemysłowych wraz z ekologiczną analizą ich cyklu życia (LCA) pozwoliło na opracowanie modelu pozyskiwania nowego typu polielektrolitów (Rysunek 2).

Znaczenie i istota podjętej tematyki badań polegała na nowym podejściu do problematyki oczyszczania ścieków z zastosowaniem polielektrolitów, poprzez stworzenie strategicznego modelu, co pozwoli na osiągnięcie znacznie wyższego poziomu ekologicznego produkcji potencjalnych flokulantów na szeroką skalę i ich stosowania oraz wyboru najmniej obciążającego środowisko polielektrolitu spośród projektowanych produktów.

Opracowanie przedstawionego powyżej modelu z uwzględnieniem wyników badań w zakresie syntezy i zastosowania nowych polimerów mogą przyczynić się do rozwoju nowego kierunku badań nad syntezą polielektrolitów z wykorzystaniem różnego rodzaju odpadów polimerowych jednocześnie biorąc pod uwagę aspekt ekologiczny.



Rys. 2. Model pozyskiwania polielektrolitu z odpadów żywic fenolowo-formaldehydowej (nowolaku). Źródło: Opracowanie własne

4. Podsumowanie i wnioski

Pozytywne wyniki badań procesu flokulacji oraz obniżenia wskaźników zanieczyszczeń w wodach dołowych kopalni węgla kamiennego z zastosowaniem modyfikowanych odpadów poprodukcyjnych żywicy fenolowo-formaldehydowej jako flokulantu, potwierdza że stosowanie takich substancji do wspomaganie procesów flokulacji ścieków i wód przemysłowych o zbliżonych właściwościach oraz parametrach chemicznych i fizycznych pozwoli na poprawę efektywności ich oczyszczania. Zastosowanie nowych potencjalnych flokulantów we wspomaganie procesu koagulacji z dobrym efektem dało asumpt do przeprowadzenia analizy cyklu życia produktów oraz przedstawienia wpływu na środowisko nowych polielektrolitów. Wykorzystanie techniki LCA do badań nad nowymi polielektrolitami pozwoliło na wyselekcjonowanie najmniej obciążającego środowisko produktu spośród badanych pochodnych aminowych nowolaku SE, a tym samym skutecznego flokulantu polimerowego, przedstawionego w artykule. Badania pozwoliły na stwierdzenie, że nowosyntezowane polielektrolity z odpadów żywicy fenolowo-formaldehydowych zastosowane w procesie flokulacji mają wpływ na redukcję wybranych wskaźników w ściekach przemysłowych, a także przedstawiona koncepcja nowej technologii pozyskiwania flokulantów opracowana z uwzględnieniem dokładnej oceny ekologicznej produktów jest bezpieczna dla środowiska. Korzystny wpływ na środowisko pozyskiwanych pochodnych aminowych nowolaku było związane głównie z wykorzystaniem odpadów czyli potencjalną produkcją by-produktu (produktu przejściowego), a ostatecznie jest kompensowany jest przez proces oczyszczania wód dołowych kopalni węgla kamiennego.

Literatura

1. Kowal A.L., Świdarska-Bróz M., *Oczyszczanie wody*, WN PWN, Wyd 1, Warszawa 1996, Wyd.4, Warszawa 2005.
2. Bolto B, Gregory J., Organic polyelectrolytes in water treatment, *Water Research* 2007, 41, 2301-2324.
3. Bajpai A.K., Interface behaviour of ionic polymers, *Prog. Polym. Sci.*, 1997, 22 523-564
4. Nowicki W., Nowicka G., Effect of high-molecular-weight polymers on sedimentation behavior and stability of fine suspensions, *Polish J. Chem.*, 1998, 72, 1076-1088.
5. Bajdur W., Sułkowski W., Właściwości flokulacyjne modyfikowanych odpadów spienionego polistyrenu, *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, 2000, 7, 1-2, 119-127.
6. Inagaki Y., Kiuchi S., Converting waste polystyrene into a polymer flocculant for wastewater treatment, *J Mater Cycles Waste Manag.*, 2001, 3, 14-19.
7. Bajdur W.M., Estimation of effectiveness of modified polystyrene wastes in sewage treatment processes, w: Z Wzorek, J. Kulczycka, Peter Fecko, M. Kusnierova (red.): *Waste Recycling*, Kraków, Wyd. IG SMiE PAN, 2005, 49-53.
8. Bajdur W.M., Zastosowanie modyfikowanych polimerów w procesach oczyszczania ścieków, *Ochrona i Inżynieria Środowiska. Zrównoważony Rozwój*, Wyd. AGH, Kraków 2007, 29-37.
9. Landim A.S. Filho G.R., Nascimento de Assuncao R.M., Use of polystyrene sulfonate produced from waste plastic cups as an auxiliary agent of coagulation, flocculation and flotation for water and wastewater in Municipal Department of Water and

- Wastewater in Umuaramba-MG, Brazil, *Polymer Bulletin*, 2007, 58, 457-463.
10. Bekri-Abbes I., Bayouh S., Baklouti M., A technique for purifying wastewater with polymeric flocculant produced from waste plastic, *Desalination*, 2007, 204, 198-203.
 11. Inagaki Y., Kuromiya M., Noguchi T., Watanabe H., Reclamation of waste polystyrene by sulfonation, *Langmuir*, 1999, 15, 4171-4175.
 12. Bajdur W., Sułkowski W., Właściwości flokulacyjne modyfikowanych odpadów spienionego polistyrenu, *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, 2000, 7, 1-2, 119-127.
 13. Inagaki Y., Kiuchi S., Converting waste polystyrene into a polymer flocculant for wastewater treatment, *J Mater Cycles Waste Manag.*, 2001, 3, 14-19.
 14. Bajdur W.M., Sułkowski W., Application of Modified Wastes from Phenol-Formaldehyde Resin and Expanded Polystyrene in Sewage Treatment Processes, *Macromolecular Symposia*, 2003, 202, 1, 325-337.
 15. Bajdur W. M., Sułkowski W., Polyelectrolytes from NS novolak production waste, *Journal of Applied Polymer Science*, 2003, 89, 11, 3000-3005.
 16. Bajdur W. M., Sułkowski W., Application of Modified Wastes from Phenol-Formaldehyde Resin and Expanded Polystyrene in Sewage Treatment Processes, *Macromolecular Symposia*, 2003, 202, 1, 325-337.
 17. Bajdur W. M., Sułkowski W. W., Możliwości wykorzystania modyfikowanych odpadów żywicy fenolowo-formaldehydowej w technologiach oczyszczania ścieków przemysłowych, *Przemysł Chemiczny*, 2003, 82, 825-828.
 18. Bajdur W. M., Sułkowski W., Synthesis and properties of sulphur derivatives from novolak waste, *Materials Research Innovations*, 2005, 9, 1, 1-11
 19. Bajdur W., Sułkowski W., Efektywne polielektrolity-produkty modyfikacji żywic fenolowo-formaldehydowych, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 1998, 1, 2, 191-201.
 20. Bajdur W., Sułkowski W., Modyfikacja żywic fenolowo-formaldehydowych w celu otrzymania efektywnych flokulantów, *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, 2000, 7, 1-2, 129-134.
 21. Bajdur W.M., Sułkowski W. W., Conferment of utilizable properties on select polymers waste by their chemical modification, *Environmental Degradation of Engineering Materials, International Conference EDEM 2003, France, Bordeaux 29.06-2.07.2003 (ISBN 1-904350-07-0- 8 stron)*.
 22. Bajdur W.M., Sułkowski W., Polyelectrolytes from NS novolak production waste, *Journal of Applied Polymer Science*, 2003, 89, 11, 3000-3005.
 23. Bajdur W.M., Sułkowski W., Synthesis and properties of sulphur derivatives from novolak waste, *Materials Research Innovations*, 2005, 9, 1, 1-11
 24. Bajdur W.M., Sułkowski W.W., Możliwości wykorzystania modyfikowanych odpadów żywicy fenolowo-formaldehydowej w technologiach oczyszczania ścieków przemysłowych, *Przemysł Chemiczny*, 2003, 82, 825-828.
 25. Bajdur W.M., Sułkowski W.W., Polyelectrolytes Synthesis from pfenol-formaldehyde resin waste, *Polymer Recycling*, 2001, 6, 1, 71-76.
 26. 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. K GHM CUPRUM, 2007, 29-37.
 27. Kowalski Z., Kulczycka J., Czyste technologie i oceny cyklu życia (LCA) jako elementy zrównoważonego rozwoju, *Przemysł Chemiczny*, 2006, 85, 8-9 1031-1034.
 28. Kowalski Z., Kulczycka J., Góralczyk M., *Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych (LCA)*, WN PWN, Warszawa, 2007.

29. Riva A., D'Angelosante S., Trebeschi C., Natural gas and the environmental results of life cycle assessment, *Energy*, 2005, 30, 11-12, 2557-2072.
30. Kato S., Widiyanto A., Environmental impact consolidated evaluation of energy systems by an LCA-NETS scheme, *Energy*, 2005, 3, 11-12, 2557-2072.
31. Schmidt M., A production-theory-based framework for analysing recycling systems in the e-waste sector, *Environmental Impact Assessment Review*, 2005, 25,5, 505-524.
32. Nakamura S., Kondo Y., A waste input-output life-cycle cost analysis of the recycling of end-of-life electrical home appliances, *Ecological Economics*, 2005
33. Seyler Ch., Hofstetter T. B., Hungerbuhler K., Life cycle inventory for thermal treatment of waste solvent from chemical industry: a multi-input allocation mode, *Journal of Cleaner Production*, 2005, 13, 13-14, 1211-1234.
34. Corbière-Nicollier T., Laban B. G., Lundquist L., Leterrier Y., Månson J.-A.E., Jolliet O., Life cycle assessment of biofibres replacing glass as reinforcement in plastics; *Resources, Conservation and Recycling* 2001, 33, 267-287
35. Adamczyk W., *Ekologia Wyrobów. Jakość-Cykl życia- Projektowanie*, Warszawa PWE, 2004.
36. Bajdur W., *Właściwości flokulacyjne pochodnych sulfonowych i aminowych odpadów polistyrenu i żywic fenolowo-formaldehydowych*, Praca doktorska, Uniwersytet Śląski, Katowice, 2001.

Dr hab. inż. Wioletta M. Bajdur
 Zakład Systemów Technicznych i Bezpieczeństwa Pracy
 Politechnika Częstochowska,
 Al. Armii Krajowej 36B, 42-200 Częstochowa
 email: wioławb@poczta.onet.pl