

Czesław Puchała

*Instytut Chemii, Ochrony Środowiska i Biotechnologii, Akademia im. Jana Długosza,
42-200 Częstochowa, Armii Krajowej 13/15, Polska;
e-mail: cz.puchala@ajd.czyst.pl*

Zielona chemia i możliwości wykorzystania jej zasad

Streszczenie

Od chwili pojawienia się koncepcji zielonej chemii minęło ponad 20 lat, a więc dostatecznie długo, aby podsumować jej osiągnięcia i określić perspektywy jej dalszego rozwoju. Zielona chemia stanowi jedną z form działań zmierzających do zmniejszenia zagrożeń środowiska i jest ważnym elementem zrównoważonego rozwoju.

W pracy dokonano przeglądu możliwości wykorzystania zielonej chemii, które opierają się na 12 zasadach sformułowanych przez Anastasa i Warnera. Zielona chemia odgrywa dużą rolę w ochronie środowiska. Działania na rzecz ochrony środowiska polegają m.in. na ograniczeniu odpadów (lub ich wyeliminowaniu) oraz projektowaniu bezpiecznych chemikaliów. Według zasady 7. gdzie tylko jest to możliwe, powinno dążyć się do stosowania surowców odnawialnych. Z surowców odnawialnych otrzymywane są biopaliwa, które uważa się za najbardziej przyjazne dla środowiska. Założenia zielonej chemii wdrażane są także w przemyśle spożywczym. Procesy chemiczne i technologiczne stosowane w przemyśle spożywczym mogą być prowadzone zgodnie z zasadami zielonej chemii. Zasady zielonej chemii znalazły również zastosowanie w rolnictwie (biopestycydy).

Ponadto w pracy przedstawiono przyczyny, które spowodowały powstanie zielonej chemii oraz rys historyczny jej dotychczasowego rozwoju.

Problematyka zielonej chemii dotyczy aspektów badawczych, praktycznych i edukacyjnych. Zielona chemia powinna odegrać większą rolę edukacyjną, gdyż w społeczeństwie funkcjonuje negatywny wizerunek chemii i jej produktów. W tym zakresie jest bardzo dużo do zrobienia, na co zwrócono uwagę w pracy.

Słowa kluczowe: zielona chemia; ochrona środowiska; dydaktyka chemii

Zawartość

Wprowadzenie

1. Koncepcja zielonej chemii
2. Możliwości wykorzystania koncepcji zielonej chemii
3. Edukacyjne znaczenie zielonej chemii

Podsumowanie

Wprowadzenie

W XX wieku nastąpił niebywały rozwój cywilizacji, który trwa nadal. Ważny udział do tego rozwoju wniosła chemia, a przemysł chemiczny uzyskał pozycję jednej z najważniejszych gałęzi światowej gospodarki. Powszechne wykorzystywanie wyrobów przemysłu chemicznego podniosło standard życia szerokich kręgów społeczeństwa. Już w 1935 roku koncern Du Pont propagował slogan: „better things for better living through chemistry” („lepsze rzeczy dla lepszego życia dzięki chemii”).^[1] Natomiast w Polsce znane hasło z lat 60. ubiegłego wieku głosiło, że „chemia żywi, lecz i ubiera”. Burzliwy rozwój przemysłu chemicznego sprawił, że pojawiła się ogromna ilość substancji chemicznych. Niestety taka sytuacja spowodowała niepożądane efekty uboczne w postaci skażeń środowiska naturalnego. Skażenia chemiczne nie są rezultatem wyłącznie przemysłu chemicznego, mimo powszechnie panującej opinii. Z analizy źródeł skażeń środowiska naturalnego wynika, że praktycznie nie ma gałęzi gospodarki, która nie byłaby odpowiedzialna za generowanie skażeń chemicznych.^[2] Intensywny rozwój przemysłu chemicznego zwiększa ryzyko powstawania katastrof. Od połowy ubiegłego wieku wydarzyło się wiele tragicznych katastrof chemicznych, których przyczyny zostały dokładnie opisane w literaturze. W 1947 roku miał miejsce pożar azotanu(V) glinu na statku zacumowanym w porcie Texas City (USA), co spowodowało eksplozję w pobliskiej fabryce polimerów styrenowych Monsanto, w wyniku których zginęło wiele osób.^[1] W 1974 roku w Flixborough (Wielka Brytania) z pękniętego rurociągu uwolniło się kilkadziesiąt ton gorącego cykloheksanu, a w dwa lata później w Seveso (Włochy) na skutek wybuchu reaktora z trichlorofenolem nastąpiło skażenie okolic dioksynami. Tragiczna w skutkach katastrofa miała miejsce w 1984 roku w Bhopalu (Indie), gdzie zostało uwolnione do atmosfery ok. 30 t metyloizocyjanianu. W 2000 roku w Baia Mare (Rumunia) przedostały się do Cisy i Dunaju duże ilości cyjanków.^[3] W 10 lat później w Ajce (Węgry) po przerwaniu tamy zbiornika w hucie aluminium doszło do uwolnienia „czerwonego szlamu”. Skutkami tych katastrof były ogromne straty w środowisku naturalnym, a często także ofiary śmiertelne (np. w Bhopalu ponad 3800). Katastrofy chemiczne przyczyniły się do negatywnej konotacji chemii w społeczeństwie. Minał czas fascynacji chemią i jej produktami, jaki miał miejsce w latach 60. W społeczeństwie pogłębia się chemiofobia, czyli lęk przed chemią. Często słyszy się np. o żywności „bez chemii”, co można odbierać, jako przejaw ignorancji. Czym bowiem są węglowodany, tłuszcze czy białka, o których zapewne uczyli się w szkole autorzy takich opinii? Wydaje się rzeczą konieczną, aby starać się zmienić negatywny wizerunek chemii i jej produktów, w czym pomóc może propagowanie zielonej chemii.

W celu zapobieżenia degradacji środowiska naturalnego podjęte zostały działania zmierzające do zahamowania niekorzystnych zmian. Początkowo działania te polegały na rozpraszaniu zanieczyszczeń poprzez budowę wysokich kominów emitujących dwutlenek węgla i pyły. Kolejny etap działań prośrodowiskowych polegał na redukowaniu zanieczyszczeń dzięki oczyszczaniu ścieków, odsiarczaniu i odpyłaniu spalin (działania typu „koniec rury” (ang. *end-of-pipe*). Analizując wpływ przemysłu na środowisko uwaga skoncentrowana jest na zanieczyszczeniach pochodzących z procesów przemysłowych, a często nie bierze się pod uwagę losu samych produktów po ich wykorzystaniu. Najnowsze podejście obejmuje cały cykl życia (ang. *life cycle*) produktu „od kołyski aż po grób” (ang. *cradle-to grave*), czyli od surowca do utylizacji i zagospodarowania produktu po użyciu. W celu zminimalizowania niekorzystnego wpływu produkcji na środowisko wdra-

żane są nowe technologie. W literaturze określa się je jako „zrównoważone technologie” (ang. *sustainable technologies*), „czyste technologie” (ang. *clean technologies*) czy „zielone technologie” (ang. *green technologies*).^[4] A. Johansson wskazuje na rozwój „miękkiej technologii”, wykorzystującej odnawialne surowce i dostarczającej wyroby biodegradowalne.^[5] Przykłady technologii proekologicznych w przemyśle i energetyce zamieszczono w monografii.^[6]

Aby zwiększyć bezpieczeństwo chemiczne od lat 80. podjęto szereg inicjatyw międzynarodowych, które opisano w [7]. Doniosłą rolę w działaniach na rzecz zmniejszenia zagrożeń chemicznych odgrywa zielona chemia.

1. Koncepcja zielonej chemii

Koncepcja zielonej chemii (ang. *green chemistry*) zrodziła się w 1991 roku, a za jej ojca uznaje się Paula Anastasa. Termin „zielona chemia” znalazł się w programie amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (Environmental Protection Agency – EPA). W 1993 roku nastąpiło formalne uznanie Programu Zielonej Chemii Stanów Zjednoczonych (US Green Chemistry Program). O randze zielonej chemii świadczy fakt ustanowienia w 1995 roku w USA nagrody prezydenckiej za osiągnięcia w zakresie zielonej chemii (Presidential Green Chemistry Challenge Award). Dokonania w obszarze zielonej chemii zostały docenione także w innych krajach, gdzie przyznaje się podobne nagrody (np. w Wielkiej Brytanii, Włoszech, Niemczech, Australii). W historii rozwoju zielonej chemii na uwagę zasługują jeszcze następujące wydarzenia: rok 1993 – zorganizowanie pierwszej konferencji poświęconej tematyce zielonej chemii, rok 1997 – powołanie w USA Instytutu Zielonej Chemii (Green Chemistry Institute) i rok 1999 – powstanie czasopisma *Green Chemistry*.^[8,9,10] Ostatnia międzynarodowa konferencja pod auspicjami IUPAC (4th International IUPAC Conference on Green Chemistry) odbyła się w 2012 roku. Natomiast w Polsce pierwsza konferencja poświęcona zielonej chemii EkoChemTech’03 odbyła się we Wrocławiu w 2003 roku.

Historia zielonej chemii liczy ponad 20 lat, a więc dostatecznie długo, aby podsumować jej dotychczasowe dokonania. Ale w pierwszej kolejności warto wyjaśnić niektóre kwestie terminologiczne. Do jej określenia używa się także synonimów: chemia przyjazna dla środowiska, czysta chemia, chemia prośrodowiskowa i chemia proekologiczna. Definitywnie rzecz ujmując zielona chemia to projektowanie produktów i procesów chemicznych, redukujących lub eliminujących użycie i wytwarzanie substancji niebezpiecznych.

Zielonej chemii nie należy mylić ze zrównoważoną chemią. Zrównoważona chemia uwzględnia koncepcje i osiągnięcia zielonej chemii oraz aspekty ekonomiczne i społeczne. Filozofia zielonej chemii opiera się na 12 zasadach, sformułowanych przez Anastasa i Warnera.^[11] W literaturze można znaleźć pełne ich brzmienie (np. w [10,13]), a ich skrócona wersja wygląda następująco:

1. Zapobieganie,
2. Ekonomia atomowa,
3. Mniej niebezpieczne syntezy chemiczne,
4. Bezpieczniejsze chemikalia,
5. Bezpieczniejsze rozpuszczalniki i materiały pomocnicze,

6. Wydajność energetyczna,
7. Użycie surowców odnawialnych,
8. Redukcja pochodnych,
9. Kataliza,
10. Degradacja,
11. Analityka w „czasie rzeczywistym” dla zapobiegania zanieczyszczaniu środowiska
12. Bezpieczniejsza chemia, zapobiegająca wypadkom.^[14]

Analizując założenia zielonej chemii nasuwa się pytanie: czy są jakieś kryteria, które pozwalają uznać chemię za „zieloną”? Otóż do scharakteryzowania zielonej (i zrównoważonej) chemii służą ilościowe miary jej efektywności takie jak: czynnik środowiskowy, współczynnik środowiskowy, wydajność masowa reakcji i efektywność atomowa.

Do oceny oddziaływania procesu technologicznego na środowisko naturalne służy analiza cyklu życia produktu LCA (ang. *Life Cycle Assessment*).^[15]

2. Możliwości wykorzystania koncepcji zielonej chemii

Zieloną chemię trzeba traktować jako jedną ze strategii działań zmierzających do zmniejszenia zagrożeń środowiska naturalnego. Tym samym zielona chemia wpisuje się w ramy rozwoju zrównoważonego. Wdrażanie zasad zielonej chemii przyczynia się do skutecznej ochrony środowiska naturalnego poprzez:

- projektowanie syntez chemicznych w oparciu o ekonomię atomową (zasada 2.),
- prowadzenie syntez z udziałem bezpiecznych rozpuszczalników (zasada 5.),
- wykorzystanie surowców odnawialnych (zasada 7.),
- opracowanie nowych metod syntezy z użyciem selektywnych katalizatorów (zasada 9.).

Zasada ekonomii atomowej (oszczędności atomów) zaleca maksymalne wbudowanie atomów znajdujących się w wyjściowych reagentach w produkt reakcji, co pozwoli wyeliminować lub ograniczyć powstawanie produktów ubocznych, które najczęściej niekorzystnie wpływają na środowisko. Niekorzystnie na środowisko naturalne wpływają także stosowane w przemyśle konwencjonalne rozpuszczalniki organiczne. W ostatnich latach podejmowane są udane próby projektowania nowych rozpuszczalników, które często nazywane są rozpuszczalnikami XXI wieku.^[16] Należą do nich ciecze jonowe i płyny nadkrytyczne. Ciecze jonowe, określane jako „zielone rozpuszczalniki”, spełniają 3 zasady zielonej chemii:

- w produkcji i użyciu generują znikome ilości odpadów i mogą być wielokrotnie używane (zasada 5.),
- reakcje w cieczy jonowej można prowadzić w temperaturze pokojowej z wysoką wydajnością i selektywnością, co powoduje zmniejszenie ilości produktów ubocznych (zasada 6.),
- są efektywnymi rozpuszczalnikami katalizatorów (zasada 9).^[17]

Wraz ze wzrostem standardu życia ludzi i postępem technologicznym rośnie ilość powstających odpadów, co stanowi poważne zagrożenie dla środowiska naturalnego. Zgodnie z zasadą 1. lepiej jest zapobiegać tworzeniu zanieczyszczeń i odpadów niż je unieszkodliwiać. Zapobiegać zanieczyszczeniom można już na poziomie molekularnym. Dokonuje się tego poprzez takie projektowanie struktury molekuł danego związku, aby spełniał on swoje funkcje przy jednoczesnym wyeliminowaniu (lub ograniczeniu) jego szkodliwości.

Zasada 7. zielonej chemii zaleca stosowanie wszędzie tam, gdzie tylko to możliwe surowców odnawialnych. Wykorzystanie surowców odnawialnych pozwoli zaoszczędzić surowce kopalne i ograniczy niekorzystne dla środowiska konsekwencje ich przerobu. Zasoby surowców kopalnych z każdym rokiem zmniejszają się. Najważniejszą pozycję wśród surowców odnawialnych zajmuje biomasa, na którą składają się: ligninoceluloza, skrobia, oleje roślinne, białka roślinne i izoprenoidy.^[18,19] Biomase wykorzystuje się jako prekursory do syntez związków chemicznych oraz do produkcji biopaliw, które uważa się za najbardziej przyjazne dla środowiska. Stosowanie biopaliw traktuje się jako krok ku zrównoważonemu rozwojowi.^[20]

W rozwiązywaniu problemów w przemyśle spożywczym pomocna okazuje się zielona chemia. Działania oparte na założeniach zielonej chemii w tej branży polegają na zastosowaniu alternatywnych dróg syntezy związków chemicznych oraz zastosowaniu takich warunków reakcji, które zwiększają selektywność i zmniejszają ilość odpadów oraz emisji zanieczyszczeń.^[21] Wdrażanie zasad zielonej chemii do przemysłu spożywczego jest bardzo dobrze widoczne w przypadku reakcji enzymatycznych. O reakcjach katalitycznych traktuje zasada 9. zielonej chemii. Reakcje enzymatyczne wykorzystuje się m.in. w syntezie dodatków do żywności. Przykładem substancji smakowo-zapachowej może być otrzymywany na skalę przemysłową γ -dekalakton. Jego syntezę prowadzi się w obecności drożdży *Yarrowia lipolytica*, a substratem jest kwas rycynolowy.^[21]

W celu zwiększenia produkcji żywności stosuje się na dużą skalę pestycydy, które niszczą chwasty i szkodniki atakujące rośliny uprawne i płody rolne. W 1946 roku do praktyki rolniczej wprowadzono syntetyczne substancje organiczne (m.in. DDT), co dało początek nowoczesnej ochronie roślin.^[22] Niestety pestycydy stanowią potencjalne zagrożenie dla środowiska rolniczego i konsumentów. Jednak współczesne rolnictwo nie może funkcjonować bez środków ochrony roślin. Z tego powodu prowadzone są badania nad przyjaznymi dla środowiska rolniczego środkami ochrony plonów, które winny charakteryzować się niską toksycznością, działać selektywnie i w niskich dawkach oraz ulegać biodegradacji do mineralnych metabolitów.^[23] Otrzymane zgodnie z zasadami zielonej chemii biopestycydy spełniają te wymagania. Za przykład może służyć insektycyd o nazwie spinosad. Jest on mieszaniną dwóch makrocyclicznych laktonów o unikalnym tetracyklicznym pierścieniu: spinosynu A i spinosynu D.^[24] Za opracowanie tego insektycydu jego autorzy zostali wyróżnieni nagrodą prezydenta USA w kategorii „Bezpieczne chemikalia”.

Poza aspektami praktycznego wykorzystania koncepcji zielonej chemii, niezwykle ważne są aspekty edukacyjne. Niestety w polskim piśmiennictwie brak jest opracowań poświęconych edukacyjnemu aspektowi zielonej chemii (poza wzmiankami sygnalizującymi problem). W innych krajach ukazało się wiele pozycji dotyczących edukacji w zakresie zielonej chemii (np. [25, 26]).

3. Edukacyjne znaczenie zielonej chemii

W społeczeństwie wytworzył się negatywny wizerunek chemii i jej produktów. Nie poprawia tego obrazu nauczyciele, którzy w jednym z programów nauczania chemii w gimnazjum mogli przeczytać: „program ma pokazać zagrożenia jakie niesie chemia dla zdrowia człowieka oraz jego otoczenia: powietrza, wody i żywności”. Należy więc podjąć działania, aby zmienić ten stan rzeczy i przedstawić problematykę ewentualnych zagrożeń we właściwych proporcjach. Temu powinno służyć propagowanie idei zielonej chemii.

Wiedza na ten temat powinna być uwzględniona w kształceniu chemicznym i ekologicznym. Tematyka zielonej chemii znalazła się w programach kształcenia na wyższych uczelniach. Jej realizacja przebiega dwutorowo: może być ona wkomponowana do programów przedmiotów chemicznych (np. chemii ogólnej, organicznej, technologii chemicznej) lub stanowić odrębny przedmiot. W przypadku odrębnego przedmiotu są to wykłady, konwersatoria i zajęcia laboratoryjne. Ale zielona chemia może również stanowić przedmiot na kierunkach niechemicznych. Tak jest np. w Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie, gdzie na kierunku *Ochrona Środowiska* odbywają się zajęcia konwersatoryjne poświęcone zielonej chemii. W celu oceny znajomości przez studentów chemii i ochrony środowiska problematyki dotyczącej zielonej chemii zostały przeprowadzone badania sondażowe. Jako technikę wybrano ankietę, a narzędziem badań był kwestionariusz. Odpowiadając na jedno z pytań studenci mieli wskazać miejsce, które zajmuje wg statystyk przemysł chemiczny w zanieczyszczaniu środowiska naturalnego. Najwięcej studentów wskazało na 2. miejsce, co nie jest prawdą (przemysł chemiczny plasuje się na 3. pozycji). Wszyscy ankietowani studenci chemii i ponad 86% studentów ochrony środowiska spotkało się z terminem „zielona chemia”. Ponad połowa studentów chemii i ochrony środowiska знаła kiedy pojawił się termin „zielona chemia”. Odpowiadając na kolejne pytanie należało podać inne określenia zielonej chemii. Najwięcej wybrało chemię przyjazną dla środowiska (82,9% studentów chemii i 94,1% studentów ochrony środowiska) i czystą chemię (odpowiednio 63,4% i 56,9%). Na czym polega idea zielonej chemii wiedziało prawie 88% studentów chemii i ponad 80% studentów ochrony środowiska. Prawie 53% studentów ochrony środowiska i prawie 49% studentów chemii uważa, że zielona chemia może przyczynić się do ochrony środowiska. Ostatnie pytanie ankietowe dotyczyło propagowania koncepcji zielonej chemii. Respondenci wybrali następujące sposoby: massmedia (85,4% studentów chemii i 76,5% studentów ochrony środowiska), rozpowszechnianie wiedzy o zielonej chemii wśród pracowników przemysłu chemicznego (odpowiednio 80,5% i 56,9%) i jako przedmiot nauczania na studiach chemicznych (65,9% i 51,0%).^[17]

W programach nauczania chemii dla szkół ponadgimnazjalnych zielona chemia nie znalazła należnego jej miejsca. Od 2012 roku do szkół ponadgimnazjalnych wkracza reforma programowa,^[27] a zgodnie z nią wprowadza się przedmiot uzupełniający *Przyroda*. Podstawa programowa dopuszcza możliwość włączenia do realizacji przez nauczycieli własnego wątku tematycznego. Zaproponowanie w programie nauczania *Przyrody* problematyki zielonej chemii wydaje się jak najbardziej wskazane.

Wspomniana w pracy ocena cyklu życia LCA pozwala określić uciążliwość środowiskową produktu. Obejmuje ona cały cykl życia produktu od wydobycia surowców, poprzez transport, produkcję i recykling. Ocena życia LCA może być tematem szkolnych projektów edukacyjnych, a korzyści z jej wykorzystania zostały opisane w pracy.^[28]

Dużą rolę w popularyzowaniu zielonej chemii w społeczeństwie mogą odegrać środki masowego przekazu, które niestety przyczyniają się do przedstawiania negatywnego obrazu chemii.

Podsumowanie

W ciągu ostatnich 20 lat nastąpił intensywny rozwój zielonej chemii. Powstawały placówki badawcze, rozwijała się współpraca międzynarodowa, odbywały się konferencje krajowe i międzynarodowe, ukazywały się monografie, powstawały specjalistyczne czasopisma, zgłaszano „zielone” patenty, a przede wszystkim prowadzono badania w zakresie zielonej chemii. Liczba publikacji poświęconych zielonej chemii rośnie z każdym rokiem. Poszerzają się także obszary zainteresowań zielonej chemii, a jako przykłady można wymienić: surowce odnawialne, alternatywne rozpuszczalniki, biopestycydy, degradowalne polimery, nowe metody prowadzenia reakcji chemicznych i zielona chemia analityczna. Niestety koncepcja zielonej chemii nie jest znana szerokim kręgom społeczeństwa. Propagowanie idei zielonej chemii może przyczynić się do zmiany negatywnego wizerunku chemii w społeczeństwie.

Literatura:

- [1] W.H. Brock, *Historia chemii*, Prószyński i S-ka, Warszawa, 1999.
- [2] S. Zieliński, *Skażenia chemiczne w środowisku*, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2000.
- [3] A. Pabiś, *Czasopismo Techniczne, seria Chemia*, 2009, 4, 75-93.
- [4] M. Taniewski, *Technologia chemiczna w epoce zrównoważonego rozwoju* [w:] *Misja nauk chemicznych*, B. Marciniak (red.), Wydawnictwo Nauka i Innowacje, Poznań, 2011, s. 529-566.
- [5] A. Johansson, *Czysta technologia: środowisko, technika, przyszłość*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1997.
- [6] R. Buczkowski (red.), *Technologie proekologiczne w przemyśle i energetyce województwa kujawsko-pomorskiego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń, 2004.
- [7] Cz. Puchała, *International action on chemical threats reduction* [w:] *Chemistry Education in the Light of the Research*, P. Cieśla, M. Nodzyńska, I. Stawoska (red.), Pedagogical University, Kraków, 2012, s. 111-113.
- [8] B. Burczyk, *Zielona chemia. Zarys*, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2006.
- [9] B. Burczyk, *Wiad. Chem.*, 2002, 56, 709-770.
- [10] T. Paryjczak, A. Lewicki, M.I. Szynkowska, M. Zaborski, *Zielona chemia – ważny czynnik zrównoważonego rozwoju* [w:] *Misja nauk chemicznych*, B. Marciniak (red.), Wydawnictwo Nauka i Innowacje, Poznań, 2011, s. 457-491.
- [11] P.T. Anastas, J.C. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, New York, 1998.
- [12] T. Paryjczak, A. Lewicki, M. Zaborski, *Zielona chemia*, Oddział PAN w Łodzi, Komisja Ochrony Środowiska, Łódź, 2005.
- [13] T. Paryjczak, A. Lewicki, M. Zaborski, *Zielona chemia – przyszłość ochrony środowiska* [w:] *Misja chemii*, B. Marciniak (red.), Wydawnictwo Poznańskie, Poznań, 2004, s. 299-327.
- [14] Anon. *Orbital*, 2001, 1, 18-19.

-
- [15] R. Nowosielski, K.J. Gołombek, A. Jaskuła, Materiały konferencyjne: *Proc. of 12th International Scientific Conference AMME*, Gliwice, 2003, s. 665-668.
- [16] E. Majewska, E. Bialecka-Florjańczyk, *Przem. Spożyw.*, **2011**, 64, 18-21.
- [17] J. Pernak, *Przem. Chem.*, **2010**, 89, 1499-1503.
- [18] B. Burczyk, *Wiad. Chem.*, **2009**, 63, 739-776.
- [19] B. Burczyk, *Biomasa. Surowiec do syntez chemicznych i produkcji paliw*, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, **2011**.
- [20] S. Dołęgowska, *Probl. Ekorozw.*, **2009**, 4, 117-121.
- [21] E. Majewska, E. Bialecka-Florjańczyk, *Chem. Dyd. Ekol. Metrol.*, **2010**, 15, 21-27.
- [22] M. Biziuk, A. Siłowiecki, *Przyszłość pestycydów* [w:] *Pestycydy: występowanie, oznaczanie i unieszkodliwianie*, M. Biziuk (red.), Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa, **2001**, s. 264-268.
- [23] H. Górecki, P. Kafarski, *Wkład nauk i technologii chemicznych w rozwój rolnictwa* [w:] *Misja chemii*, B. Marciniec (red.), Wydawnictwo Poznańskie, Poznań, **2004**, s. 113-138.
- [24] K. Sikorska, A. Wędzisz, *Bromatol. Chem. Toksykol.*, **2009**, 42, 203-212.
- [25] M. Lancaster, *Education in Chemistry*, March **2000**, 40-46.
- [26] P.T. Anastas, I.J. Levy, K.E. Parent (red.) *Green Chemistry Education. Changing the Course of Chemistry*, ACS Publications, Washington DC, **2009**.
- [27] <http://www.reformaprogramowa.men.gov.pl> [dostęp: 12 stycznia 2012].
- [28] J. Szewczyk, R. Nawrocki, *Praktyczne możliwości realizacji holistycznego wymiaru edukacji środowiskowej z wykorzystaniem strategii „Life Cycle Assessments”* [w:] *Dydaktyka biologii wobec wyzwań współczesności*, R.M. Suska-Wróbel, I. Majcher (red.), Wyd. Fundacji Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, **2007**, s. 241-245.

Czesław Puchała

*Institute of Chemistry, Environmental Protection and Biotechnology, Jan Długosz University, 42-200 Częstochowa, Armii Krajowej 13/15, Poland;
e-mail: cz.puchala@ajd.czyst.pl*

Green chemistry and use possibilities of its principles

Abstract

It has been more than twenty years since the green chemistry concept appeared, long enough to summarize its achievements and describe its further perspectives. Green chemistry as one of the activities aiming to reduce the environment threats plays a crucial role in the sustainable development.

In the paper the possibilities of green chemistry use are reviewed; they are based on twelve principles formulated by Anastas and Warner. Green chemistry is very important in the environmental protection; the activities involve here, among others, the waste restraint or elimination, and the design of safe chemicals. According to a principle number 7, if it is only possible, the renewable resources should be used; biofuels, considered as the most environmentally friendly, are obtained from renewable resources. The green chemistry principles are being also introduced in the food industry, since its processes can be performed according to these rules. It is noteworthy that green chemistry principles have found their application in agriculture in the form of biopesticides.

Moreover, in the paper genesis of green chemistry is presented along with its historical development.

The green chemistry topic concerns the research aspects, as well as practical and educational ones. Green chemistry should play a larger educational role, since in the society the negative image of chemistry and of its products exists. It should be pointed out that in this field there is still a lot to be done, and in the paper an attention was paid to this viewpoint.

Keywords: green chemistry; environmental protection; didactics of chemistry