

Promowanie zrównoważonego rozwoju przez zieloną chemię, część 1

Promoting sustainability through green chemistry, Part 1

Tadeusz Paryjczak

*Institut Chemii Ogólnej i Ekologicznej Politechniki Łódzkiej, 90-924 Łódź,
ul. Żeromskiego 116, e-mail: tparyjcz@p.lodz.pl*

Streszczenie

Zielona chemia jest ważnym narzędziem w osiągnięciu zrównoważonego rozwoju. Wprowadzenie w życie zielonej chemii umożliwia otrzymać produkty chemiczne i przeprowadzić procesy które zmieniają lub eliminują użycie niebezpiecznych substancji, zapewniając ogólnej populacji zadowolenie ze wzrastającego standardu życia bez negatywnego wpływu na „zdrowie” Ziemi. Jeden z głównych celów zrównoważonego rozwoju to optymalne utrzymanie równowagi między wzrostem produkcji, a czystym i bezpiecznym środowiskiem.

Czystsze technologie chemiczne pozwolą dostarczyć społeczeństwu produkty i usługi w odpowiedzialny sposób w stosunku do środowiska.

Zielona chemia dostarcza rozwiązań do takich globalnych wyzwań jak zmiana klimatu, zrównoważone rolnictwo, energia, zatrucie środowiska i wyczerpywanie bogactw naturalnych.

Współpraca przemysłu i świata uniwersyteckiego jest konieczna, aby promować adaptacje zielonych chemicznych technologii umożliwiających zrównoważony rozwój społeczny.

Słowa kluczowe: zielona chemia, zrównoważony rozwój, zielone technologie, zasady zielonej chemii, ochrona środowiska

Abstract

Green Chemistry is an important tool in achieving sustainability. The implementation of green chemistry, the design of chemical products and processes that reduce or eliminate the use and generation of hazardous substances, is essential if the expanding global populations to enjoy an increased standard of living without having a negative impact on the health of the planet. One of the major goods of sustainability is to maintain an optimal balance between increases in manufacturing output, and a clean and safe environment. Cleaner technologies will allow the chemical enterprise to provide society with the good and services on which it depends in an environmentally responsible manner.

Green chemistry provides solutions to such global challenges as climate change, sustainable agriculture, energy, toxics in the environment and the depletion of natural resources.

A collaborative effort by industry, academic and government is need to promote the adoption of the green chemistry technologies necessary to active a sustainable society.

Key words: green chemistry, sustainability, green technologies, principles of green chemistry, pollution prevention

1. Rys historyczny

W dużym stopniu historia ludzkości to historia relacji między ludźmi a otaczającą przyrodą. Rozwój ludzkiego gatunku w czasach przedhistorycznych w silnym stopniu uzależniony był od przyrody, a przede wszystkim od zmian geologicznych, klimatycznych oraz od genetycznej selekcji.

Znaczna eksploatacja bogactw naturalnych to nic nowego w historii. Cesarstwo Rzymskie rozwinęło bardzo silnie rolnictwo w II wieku przed narodzeniem Chrystusa. Zostało też wtedy ogłoszone pierwsze dzieło o agronomii pod tytułem „De Agricultura” napisane przez Calto (Calto i Portuis).

Intensywnie rozwijające się rolnictwo w Cesarstwie

Rzymskim potrzebowało dużej ilości energii. Energia ta potrzebna była też w otrzymywaniu metali, broni, w budowie okrętów, mieszkań, popularnej dla społeczeństwa rzymskiego łaźni. Spowodowało to kompletne wyniszczenie lasów, początkowo we Włoszech (szczególnie Apeniński Stok), później wszystkich obszarów dookoła Morza Śródziemnego. Kończyło się to ogromnymi erozjami, stratą ziemi humusowej w górach, okresowymi osuszaniem rzek, powodowało to powodzie po burzach zwiększając dalej erozję, kształtując krajobraz równinny powodujący klimatyczne zmiany w regionie, które odczuwalne są aż do współczesnych czasów.

Była to historycznie pierwsza duża katastrofa ekologiczna związana z działalnością człowieka.

Katastrofa ekologiczna podobnych rozmiarów zdarzyła się w Ameryce Północnej, kiedy to osadnicy i farmerzy zajęłą ziemię przekształcili w pola uprawne; kukurydzy, zboża, bawełny i rozpoczęli hodowlę bydła i świń. Wycinali liściaste i iglaste lasy niszcząc dużą ilość dzikiego życia i ograniczając warunki bytowania tubylców. Nie tylko las był eksploatowany (drewno), ale nastąpiło także obniżenie poziomu wody gruntowej. Zielone równiny w Arizonie zamieniają się w pustynię. Z ponad 70 gatunków roślin w tym różnych traw znanych przez Indian zachowało się tylko kilka, głównie jako krzaki i kaktusy.

W XX wieku nastąpił ogromny wzrost ekonomiczny i zasadnicza poprawa standardu życia w krajach uprzemysłowionych. Pociągnęło to za sobą wiele ujemnych konsekwencji w środowisku naturalnym, uwzględniając w tym eksploatację bogactw naturalnych do granic limitujących ich całkowite wyczerpanie.

W drugiej połowie XX wieku globalne zużycie wody potroiło się. Wzrosło dwukrotnie zużycie drewna jako materiału budowlanego. Potroił się wyrąb lasów dla uzyskania ciepła. Zapotrzebowanie drewna jako surowca dla otrzymywania papieru zwiększyło się aż 6-ciokrotnie.

Konsumpcja ryby morskiej wzrosła pięciokrotnie, znacznie zmniejszyła się powierzchnia uprawna ziemi.

Ziemia nie jest „bezkresnym”, „nie kończącym się” terytorium, które można jeszcze odkrywać, bezkarnie eksploatować, czy zdobywać.

Rocznie wiele gatunków zwierząt i roślin jest bliskich wyćpienia. Niewielki wydawałoby się wzrost zawartości ditlenku węgla w atmosferze od 0,028% na początku ery przemysłowej do 0,035% stanowi główny powód obserwowanego ocieplenia klimatu. Używane dotychczas w przemyśle freony wpływają na osłabienie koniecznej do życia warstwy ozonowej – szczególnie drastycznie w sferze biegunowej. Zgodnie z teorią chaosu powiedzenie „mała przyczyna duży skutek” jest w powszechnej świadomości łączone ze zmianami klimatu.

Tak więc wzrost ekonomiczny i wzrost standardów

życia miał wysoką cenę.

Ta ogromna dynamika rozwoju technologicznego w erze przemysłowej doprowadziła do wielu zagrożeń ekologicznych jak:

- degradacja bogactw i zasobów naturalnych, w tym lasów, gleby i wody,
- zanieczyszczenia biologiczne powodujące schorzenia człowieka i świata przyrody,
- zanieczyszczenia chemiczne, powietrza, gleby, wody, środków spożywczych a w konsekwencji organizmów żywych,
- zanieczyszczenia fizyczne, akustyczne, termiczne, radioaktywne,
- zanieczyszczenia estetyczne wyrażające się w brzydocie, chaosie, beładzie przemysłowym, naruszaniem krajobrazu.

Według danych Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) już obecnie przyjmuje się że 3/4 wszystkich chorób człowieka związanych jest ze złym stanem środowiska naturalnego, a więc z wszystkimi wymienionymi zagrożeniami.

Zdecydowana większość uczonych uważa, że jeżeli ludzkość chce przetrwać to musi zmienić styl życia, dostosować wzrost gospodarczy do poziomu umożliwiającego procesy samooczyszczania środowiska naturalnego.

W ostatnich latach opinia światowa w tym liczne monografie, konferencje naukowe skupiały się na niebezpiecznym wysokim stopniu ingerencji człowieka w środowisko naturalne i rozmiarem już dokonanych zniszczeń oraz propozycji wyjścia z tego stanu.

Podkreśla się wielką rolę inżyniera w tym posłannictwie w celu podtrzymania zadowalających warunków życia na naszej planecie. Na tych konferencjach oraz w różnych raportach nakreślono wszechstronną wizję przyszłości ludzkości, która weszła aktualnie w XXI wiek, w erę Zrównoważonego Rozwoju (Sustainable development), która nastąpiła po erze rolniczej i przemysłowej.

2. Zrównoważony rozwój

Uważa się, że nie grozi nam żaden kataklizm, ale dalsza nierozsądna, wręcz rabunkowa działalność człowieka w stosunku do przyrody może uczynić naszą planetę trudną do życia zarówno dla świata roślinnego, zwierzęcego jak i ludzi.

Modelem dalszego postępu cywilizacyjnego jest koncepcja zrównoważonego rozwoju, którego ideę podał bardzo ogólnikowo współzałożyciel Klubu Rzymskiego włoski uczone A. Paccei;

„.....trzeba odrzucić kategorycznie przekonanie o tym, że rodzaj ludzki ma prawo robić to co mu się podoba z naszą planetą, tak jakby wszystkie formy życia istniały do naszej dyspozycji i były tylko od nas uzależnione”.

Sprawozdanie Klubu Rzymskiego na

początku lat 1970 pt. „Granice Wzrostu” ukazało się równocześnie z książką Racheli Carsona „Cicha wiosna”. W tym też czasie miał miejsce pierwszy kryzys naftowy. Miało to ogromny wpływ na opinię publiczną na całym świecie – rozpoczęła się polityczna debata i nowy sposób myślenia o środowisku. Powstały różne ruchy społeczne m. in. Ruch zielonych i partie zielonych.

Pewne myśli zasady zrównoważonego rozwoju dotyczące ekologii sięgają do XVIII wieku kiedy to Hanns Carl Edler von Carlowitz (Urzędnik Królestwa Saksonii Górniczej) oświadczył, że leśnictwo musi być zrównoważone – wyrąb drewna powinien być uzupełniany nowymi nasadzeniami.

Ta przewidywana zasada weszła w nowym wydaniu do polityki światowej, kiedy Zgromadzenie Narodów Zjednoczonych w 1983 roku powołało Światową Komisję Środowiska i Rozwoju. Komisja ta miała zbadać w globalnej skali jak działalność człowieka dotknęła środowisko naturalne Ziemi oraz określić aspekty ekonomiczne i społeczne tej działalności.

Sekretarz Generalny ONZ powierzył wtedy przewodniczenie komisji pani Harlem Brundland, która była również Prezesem Rady Ministrów Norwegii. Praca nad tym raportem została zakończona w marcu 1987 roku i opublikowana pod tytułem „Nasza Wspólna Przyszłość” („Our Common Future”). Opracowanie to jest rodzajem raportu o sukcesach i porażkach ludzkości w XX w.

Zrównoważony rozwój został przedstawiony jako pewna wizja przyszłości, która została podchwyczona i szeroko nagłośniona przez media. Ostatecznie przyjmuje się, że zrównoważony rozwój ma zapewnić trwałą równowagę pomiędzy koniecznym zaspokojeniem potrzeb społeczno-ekonomicznych ludzkości, a wymogami szeroko pojętej ochrony środowiska i harmonijnego z nim współżycia teraz i w przyszłości.

Zrównoważony rozwój jest często pojmowany jako wielowymiarowa, humanitarna koncepcja rozwoju służąca poprawie jakości życia i dobrobytu ludzkości w warunkach ograniczonych zasobów Ziemi, uwzględniający dalekosiężne skutki działalności przemysłowej czyli tzw. „etykę środowiska” obejmującą poszanowanie przyrody i ochronę środowiska (Pawłowski, 2006; 2007)

Musi on pogodzić trzy cele: (ang. Environment, Economy, Equity)

1. Ekologiczny – powstrzymać degradację środowiska i eliminować zagrożenia.
2. Ekonomiczny – wyrażający się w zaspokajaniu podstawowych potrzeb materialnych ludzkości przy zastosowaniu techniki i technologii nieniszczących środowiska.
3. Społeczny i humanitarny – kształtowanie takiego modelu stosunków społeczno-ekonomicznych, które pozwoliłyby na zrjonalizowanie gospodarki zasobami Ziemi z uwzględnieniem zmian wywołanych

w środowisku przez działalność człowieka.

Konieczność podnoszenia jakości życia jest więc priorytetem tej koncepcji dalszego rozwoju. Istnieją jednak bariery, które utrudniają bądź uniemożliwiają wprowadzenie tej idei w życie, dotyczy to głównie punktu trzeciego, a więc aspektów społecznych i humanitarnych. (Pawłowski, 2006)

Szczyt Ziemi, który odbył się w 2002 roku w Johannesburgu stwierdził, że ogromna różnorodność kultur i mentalności ludzi sprawia, że w procesie zrównoważonego rozwoju, trzeba brać pod uwagę odmienne wartości, które ludzie przypisują korzyściom i kosztom.

Tak naprawdę każdy człowiek chciałby mieć satysfakcję z realizacji swych pragnień i potrzeb.

Jednak kulturowy, cywilizacyjny i przyrodniczy byt człowieka, coraz częściej, w coraz znaczącym stopniu narażony jest na różnego rodzaju kryzysy wywołane zbyt ekspansywnym i niepojętym rozwojem cywilizacyjnym. Rozwój społeczno-ekonomiczny wraz z postępem cywilizacyjnym znacznie wyprzedza intelektualny i psychiczny rozwój człowieka.

W procesie zrównoważonego rozwoju ważny jest więc nie tylko materialny postęp lecz również rozwój intelektualny i duchowy człowieka.

Chodzi o przewartościowanie dotychczasowego stylu życia i wprowadzenie „świadomego” człowieka na nową ścieżkę postępu prowadzącą w kierunku jakości a nie ilości.

Człowiek powinien być odpowiedzialny za przyrodę „Homo Ecologicus” ma być zupełnie inną istotą, jakościowo lepszą od aktualnie dominującego „Homo Sapiens”.

Są to oczywiście założenia o charakterze czysto życzeniowym, ale mają swoje uzasadnienie w poszukiwaniu nowych dróg rozwoju cywilizacyjnego.

3. Proces ekologizacji gospodarki

Skutecznym sposobem wprowadzenia w życie zasad zrównoważonego rozwoju wydaje się proces ekologizacji gospodarki.

Dotychczas jednak społeczeństwa preferują ekonomizację środowiska, która polega na zastosowaniu w ochronie środowiska instrumentów ekonomicznych obejmujących kilka płaszczyzn; surowe normy emisji zanieczyszczeń, wprowadzanie nowych generacji urządzeń oczyszczających (m.in. rozwiązania „na końcu rury”) itp. A w końcu zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju w tym zielonej chemii, zmiany ingerujące w sam proces technologiczny – niedopuszczanie do powstawania groźnych odpadów w samym źródle, a więc promocja czystej produkcji będącej nawiązaniem bezpośrednim do ekologizacji przemysłowej w której kluczowymi słowami są „wyczerpywanie” i „zanieczyszczanie”. Tak więc technologia niewyczerpująca nieodwracalnych

zasobów surowców, a także niezanieczyszczająca środowiska. Koncepcja ekologii przemysłowej oparta jest w pewnym stopniu na analogii z naturalnym ekosystemem.

Podstawowymi wymaganiami zrównoważonego rozwoju w ekologizacji gospodarki są:

- ograniczenie zużycia nieodnawialnych zasobów przyrody,
- wykorzystanie zasobów odnawialnych,
- opanowanie emisji szkodliwych substancji na poziomie nie niższym niż zdolność absorpcyjna przyrody,
- zmniejszenie obciążenia środowiska przez substancje trudno rozkładalne, aż do całkowitego ich wyeliminowania, ograniczenie wykorzystania powierzchni przez budownictwo, transport i przemysł do poziomu akceptowalnego ekologicznie,
- unikanie nieodwracalnych szkód w ekosystemach i systemach społecznych,
- zachowanie różnorodności gatunkowej a tym samym zdolności funkcjonowania systemów ekologicznych i łańcuchów pokarmowych,
- wykształcenie sposobów życia i konsumpcji chroniących środowisko,
- ukształtowanie naturalnej i kulturowej przestrzeni życia człowieka,
- ograniczenie energochłonności i materiałochłonności przemysłu i przetwórstwa surowców,
- oszczędne gospodarowanie przestrzenią.

Idea zrównoważonego rozwoju i ekologizacja gospodarki dała początek nowych zachowań i nowych obowiązków producenta, w tym nowych metod produkcji w postaci tzw. „zrównoważonych technologii” (sustainable technologies) czy bliskoznacznych pojęć „czyste technologie” (clean technologies) lub „zielone technologie” (green technologies). Oznaczają one w zasadzie idealne wersje technologii w pełni przyjazne środowisku człowieka.

Dominującą rolę w tym odegrała zielona chemia, a ostatnio coraz większe znaczenie zaczyna odgrywać też zielona inżynieria (McDonought, 2003).

4. Zielona Chemia

W początkach lat 90-tych ubiegłego stulecia powstał na świecie nowy ruch naukowo-społeczny o znaczeniu historycznym, który za cel podstawowy przyjął położenie kresu zagrożeniom życia i zanieczyszczeniom niebezpiecznymi substancjami środowiska naturalnego przez technologię chemiczną. Ruch ten przyjął nazwę „Green Chemistry” (Anastas, Warner, 1991) i stanowi zupełnie nowe podejście do rozwiązywania trudnych problemów środowiskowych.

Zielona chemia korzystając z osiągnięć

współczesnej chemii skupia się na projektowaniu na poziomie molekularnym produktów i procesów bezpiecznych dla człowieka i nie zagrażających środowisku naturalnemu uwypuklając w ten sposób humanitarne oblicze nauk chemicznych.

Szkodliwość związku wynikająca z jego właściwości chemicznych (reaktywności), fizykochemicznych (wybuchowości, palności), toksycznych (mutagennych, kancerogennych i innych), odporności na biodegradację związana jest z budową i strukturą przestrzenną cząsteczki i zmieniana może być na poziomie molekularnym.

Inicjatorzy idei zielonej chemii podkreślają, że chemicy projektujący i realizujący procesy chemiczne powinni przestrzegać zasadę Hipokratesa *primum non nocere* (przede wszystkim nie szkodzić) odniesioną do człowieka i środowiska naturalnego (Anastas, 1998).

Zrównoważony rozwój stał się bodźcem i inspiracją do sformułowania 12 zasad zielonej chemii, a 12 lat później zasad zielonej inżynierii (Anastas, Braungart, Mc Donough, Zimmerman, 2003).

Anastas i Warner (Anastas, 1998) zieloną chemię definiują następująco:

„Zielona chemia jest to projektowanie produktów i procesów chemicznych, które zmniejszają lub eliminują użycie i wytwarzanie niebezpiecznych substancji”.

Rozwijając tą definicję Anastas i współpracownicy oraz inni badacze (Anastas, 1998; Clark, 2002; Matlack, 2001; Gresps, 2004; Paryczak, 2005; Burczyk, 2006, Braungart, 2003) widzą zieloną chemię jako:

- opracowanie i wdrażanie do produkcji nowych metod oszczędnego przetwarzania surowców odnawialnych i wykorzystania w syntezach biomasy odpadowej,
- poszukiwanie nowych metod syntezy z zastosowaniem oryginalnych aktywnych i selektywnych katalizatorów (Anastas, 2000; Paryczak, 2006) oraz bezpiecznych reagentów,
- rozwijanie czystych i oszczędnych metod prowadzenia reakcji elektrochemicznych, fotochemicznych, sonochemicznych i wspomaganych mikrofalami,
- wykorzystanie w syntezie chemicznej nowych mediów reakcyjnych; cieczy jonowych, płynów pod- i nadkrytycznych i cieczy fluorowych, (Pernak, 2003)
- redukcja emisji szkodliwych dla środowiska odpadów gazowych, ciekłych i stałych,
- wykorzystanie w procesach chemicznych nowych źródeł energii,
- dostarczenie nowych bezpiecznych dla człowieka i środowiska produktów.

Szczególnego znaczenia w zielonej chemii nabiera tzw. zasada oszczędności atomowej (Trost, 1991). Jej istota sprowadza się do wyeliminowania lub ograniczenia produktów ubocznych w nowoczesnych syntezach chemicznych, przez

wkomponowanie możliwie wszystkich atomów znajdujących się w wyjściowych reagentach w produkt reakcji (Sheldon, 2000; Trost, 1991).

Z objętości atomowej można obliczyć wielkości odpadów w postaci współczynnika E wyznaczającego ilość odpadów w kg/kg produktu. W różnych gałęziach przemysłu wartości współczynnika E wahają się w szerokich granicach np. w przemyśle farmaceutycznym wartość współczynnika E sięga 100, podczas gdy w procesach przeróbki ropy naftowej wartość ta nie przekracza 0,1. W produkcji masowej chemikaliów E waha się od 1-5.

Większość podręczników chemii organicznej nie odnosi się do ekonomii atomowej jako koniecznego warunku procesu.

1. Oto zasady określające zakres i istotę zielonej chemii (Anastas, 1998):
2. Lepiej zapobiegać tworzeniu zanieczyszczeń i odpadów niż je unieszkodliwiać.
3. Syntezy powinny być projektowane w taki sposób, aby do końcowego produktu wprowadzić jak najwięcej materiałów wyjściowych (ekonomia atomowa).
4. Tam, gdzie to tylko możliwe, syntezy chemiczne powinny być przeprowadzane z udziałem reagentów i materiałów nietoksycznych lub o nieznacznej toksyczności dla ludzkiego zdrowia i środowiska naturalnego.
5. Powinno się dążyć do wytwarzania produktów alternatywnych, które zachowując swoje funkcje (np. lecznicze lub owadobójcze), są nietoksyczne.
6. Substancje pomocnicze (rozpuszczalniki, czynniki rozdzielania itp.) powinny być wyeliminowane, a tam gdzie to niemożliwe należy stosować substancje nieszkodliwe.
7. Niezbędna jest szczegółowa analiza i konieczność minimalizowania nakładów energetycznych. Należy dążyć do prowadzenia syntez chemicznych w temperaturze i pod ciśnieniem otoczenia.
8. Gdzie tylko jest to możliwe, powinno się dążyć do stosowania surowców odnawialnych.
9. Należy unikać, tam gdzie możliwe, blokowania grup funkcyjnych w celu zapobieżenia reakcjom ubocznym przez zastosowanie wysoce selektywnych katalizatorów, w tym enzymów.
10. Reakcje katalityczne (szczególnie wysokoselektywne) powinny być przedmiotem preferencji.
11. Należy dążyć do produkcji materiałów chemicznych, ulegających biodegradacji po zużyciu do nieszkodliwych produktów.
12. Niezbędne jest rozwijanie analitycznych metod „in line”, umożliwiających ciągły monitoring produkcji, w aspekcie zapobiegania powstawaniu niebezpiecznych substancji.
13. Reagenty oraz sposoby ich wykorzystania w procesie chemicznym powinny być tak dobrane, aby w jak największym stopniu

zmniejszyć ryzyko wypadków chemicznych, w tym wycieków niebezpiecznych substancji, wybuchów i pożarów.

Zaproponowane przez Anastasa i Warnera zasady zielonej chemii były od dawna przeczuwane intuicyjnie, a szereg z nich ze względu na swą oczywistość było stosowanych zarówno w fazie projektowania na poziomie molekularnym jak i procesów inżynierskich. Zielona chemia to nowy perspektywiczny i długofalowy sposób myślenia chemików zawarty w 12 podanych zasadach uszczegółowionych później przez Wintertona (Winterton, 2000).

Kataliza należy do podstawowych narzędzi realizowania wszystkich zasad zielonej chemii wychodząc od badań podstawowych na poziomie molekularnym do zastosowań przemysłowych. Stosowanie 12 zasad równocześnie w procesach chemicznych nie jest łatwe, a często niemożliwe – wymaga to opracowania nowych technologii, nowego spojrzenia na proces chemiczny, choć już wiele w tym kierunku w praktyce zrobiono.

Trzeba wziąć pod uwagę, że przemysł chemiczny jest kapitałochłonny i to powoduje, że zmiany technologiczne są w nim tak powolne. Przemysł skupia się raczej na innowacji procesu niż na innowacji produktu. Wprowadzenie innowacji procesu w sektorze chemicznym jest często ryzykowna, droga i trudna, wymaga dłuższego czasu. Aby sprostać oczekiwaniom tempa wprowadzania zielonej chemii do przemysłu, konieczne jest szybsze jego unowocześnienie, a więc zielona chemia jest dobrym bodźcem do tego.

Niektóre z zasad zielonej chemii stały się inspiracją powstania nowych dyscyplin chemii i technologii. Dyscypliny te rozwijają się już intensywnie i samodzielnie obok zielonej chemii (Pernak, 2003, Angela, 2003; Giray, 2004; Kiran, 2005).

Literatura

1. ANASTAS P.T., *Green Chemistry, Theory and Practice*, Oxford University Press, 1998.
2. ANASTAS P.T., BARTLETT L.B., KIRCHHOFF M.M., Williamson T.C., 2000, *The role of catalysis in the design, development and implementation of green chemistry*, w: *Catalysis Today*, vol. 55, s. 11-22.
3. ANGELA M, MEIRELES A., 2003, *Supercritical extraction from solid; Process design data(2001-2003)*, w: *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, Vol. 7, s.321-330.
4. BURCZYK B., *Zielona Chemia, zarys*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006.
5. CATO M.P., *Origenes – De Agricultura*.
6. CLARK J., MACQUARRIE D.J., *Handbook of Green Chemistry and Technology*, Blackwell,

- 2002.
7. McDONOUGH W., BRAUNGART M, ANASTAS P.T, ZIMMERMAN J.B., 2003, *Applying the Principles Engineering*, w: Environ. Science and Technology, December 1, s. 435-441.
 8. GIRAY E.S., SONMEZ O., 2004, *Supercritical extraction of scrap tire with different solvents and the effect of tire oil on the supercritical extraction of coal*, w: Fuel Processing Technology, Vol. 85, s. 251-265.
 9. MATLACK A.S., *Introduction to Green Chemistry*, Mareel Dekker Inc., New York 2001.
 10. PARYJCZAK T., LEWICKI A., ZABORSKI M., *Zielona Chemia*, PAN, Oddział w Łodzi, Komisja Ochrony Środowiska, Łódź 2005.
 11. PARYJCZAK T., LEWICKI A., 2006, *Kataliza w zielonej chemii*, w: Przemysł Chemiczny, Vol. 2, s. 85-95.
 12. PARYJCZAK T., LEWICKI A., ZABORSKI M., *Zielona chemia – przyszłość ochrony środowiska*, w: red. Marciniak B., *Misja chemii* Wydawnictwo Poznańskie, Poznań 2004, s. 2990327.
 13. PAWŁOWSKI A., 2006, *Wielowymiarowość rozwoju zrównoważonego*, w: Problemy Ekorozwoju, Vol. 1, No 1, s. 23-32.
 14. PAWŁOWSKI A., 2007, *Bariery we wdrażaniu rozwoju zrównoważonego – spojrzenie ekofilozofa*, w: Problemy Ekorozwoju, Vol. 2, No 1, s. 59-65.
 15. PERNAK J., 2003, *Ciecze jonowe. Związki na miarę XXI wieku*, w: Przem. Chem., Vol. 8, s. 521.
 16. SHELDON R. A., 2000, *Atom efficiency and catalysis in organic synthesis*, w: Pure Appl. Chem., Vol. 72, No 7, s. 1233-1246.
 17. TROST M.B., 1991, Science No 254, s. 1471-
 18. WINTERTON N., 2001, Green Chem., No 3, s.73.
 19. YEO S.D., KIRAU E., 2005, *Formation of polymer particles with supercritical fluids*, w: A. Review supercritical Fluids, No 34, s. 287-308.
 20. AFONSO C.A.M., GRESPO J.G., (red.), *Green Separation Processes Fundamentals and Application*, Wiley-VCH Verlag, 2004.