

dr inż. **Elżbieta ROGOŚ**

dr inż. **Andrzej ZBROWSKI**

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy

PERSPEKTYWY ROZWOJU SYSTEMÓW ZWIĘKSZAJĄCYCH BEZPIECZEŃSTWO EKOLOGICZNE¹

Perspectives for development of systems for environmental safety

Streszczenie

W artykule przedstawiono główne kierunki działań mających na celu ochronę środowiska naturalnego przed skutkami rozwoju gospodarczego i naturalnymi zagrożeniami. Omówiono podstawowe międzynarodowe standardy wspierające wprowadzanie i stosowanie prośrodowiskowych technologii. Przedstawiono, w oparciu o analizę światowych i unijnych trendów, podstawowe systemy ukierunkowane na zwiększenie bezpieczeństwa ekologicznego. Szczegółowo omówiono systemy monitorowania zagrożeń ekologicznych w odniesieniu do wód powierzchniowych i gruntowych oraz atmosfery, z uwzględnieniem systemów zdalnego nadzorowania nad ich zanieczyszczeniem. Przedstawiono technologie i systemy przeciwdziałania powstawaniu niebezpiecznych odpadów obejmujące m.in. strategię Czystszej Produkcji, eko-projektowanie i analizę cyklu życia produktów. Dokonano analizy systemów unieszkodliwiania niebezpiecznych odpadów opartych na procesach chemicznych, biologicznych i fizycznych. Szczególny nacisk położono na termiczne metody przetwarzania niebezpiecznych odpadów.

Summary

The article describes main directions of activities, which have the aim to protect the environment against effects of economic development and natural dangers. Basic international standards supporting the introduction and application of new proecological technologies were discussed. Systems directed on increasing ecological safety, including systems of monitoring of ecological dangers for water and atmosphere, with particular regard to remote systems supervising amount of pollution were presented. Technologies and systems, which counteract the formation of the dangerous wastes were introduced, e.g. Cleaner Production, eco-design and the analysis of cycle of life of products. The analysis of systems of neutralizing dangerous wastes based on chemical, biological and physical processes was executed. The special emphasis was put on the thermal methods of processing of dangerous wastes.

¹ Strony w druku: 47-58; Pages in print: 47-58

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo ekologiczne, monitorowanie środowiska, unieszkodliwianie odpadów

Key words: ecological safety, monitoring of environment, neutralisation of dangerous wastes

Wstęp

Wynikiem intensywnego rozwoju nowych technologii, urbanizacji, nieracjonalnego wykorzystywania naturalnych źródeł energii oraz niskiej świadomości ekologicznej jest degradacja i skażenie środowiska, które na przestrzeni 2. połowy XX wieku zmieniły swój zakres przestrzenny z lokalnego na globalny. Poważnym problemem stała się ogromna ilość wytwarzanych i składowanych odpadów, niska jakość wód płynących, stojących i podziemnych, wysoki poziom emisji zanieczyszczeń do atmosfery, duży stopień degradacji gleb [1]. Szczególnie groźna jest obecność w środowisku zanieczyszczeń zaliczonych do niebezpiecznych ze względu na ich palność, korozyjność, reaktywność i ekotoksyczność. Należą do nich m.in. odpady zawierające polichlorowane bifenyle lub azbest, oleje smarowe, baterie i akumulatory, odpady medyczne i weterynaryjne [2]. Odpady, ze względu na wytwarzaną ilość (250 kg/rok/człowieka) i długotrwałe składowanie stanowią największe zagrożenie dla środowiska. Wymywane i ulatniające się z nich trujące substancje dostają się do gleb, wód i powietrza. Skażone powietrze powoduje wtórne zatrucie innych elementów środowiska, przepływające wody transportują zanieczyszczenia do większych akwenów [3]. Zanieczyszczenie i zniszczenie środowiska prowadzi do naruszenia równowagi ekologicznej. Dlatego też, przede wszystkim w uprzemysłowionych krajach, podejmowane są efektywne działania na rzecz środowiska, ukierunkowane na świadome i zorganizowane przeciwdziałanie jego degradacji. Dąży się do zwiększenia bezpieczeństwa ekologicznego m.in. poprzez wprowadzenie norm, systemów i wytycznych zarządzania środowiskiem.

Główne kierunki rozwoju

Najpowszechniejszymi standardami definiującymi wspomniane systemy są obecnie: seria międzynarodowych norm ISO 14000, z których najistotniejsza jest norma 14001:2004 „System Zarządzania Środowiskowego” oraz Rozporządzenie EMAS „System Ekozarządzania i Audytu” funkcjonujące na terenie Unii Europejskiej (Rozporządzenie Nr 761/2001 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 19 marca 2001 r). Standardy przeznaczone są dla przedsiębiorstw, organizacji i instytucji, które dobrowolnie zobowiązują się do oceny wpływu swojej działalności na środowisko oraz wdrażania rozwiązań prośrodowiskowych. Oba dokumenty wspierają rozwój innowacyjnych technologii chroniących środowisko oraz

rozerwanie dotychczasowego związku pomiędzy wzrostem gospodarczym a rosnącym zużyciem surowców naturalnych i emisji zanieczyszczeń. Zalecają, aby podstawą wzrostu gospodarczego było kryterium eko-efektywności, wg którego nowe produkty, usługi i procesy powinny być konkurencyjne poprzez większą oszczędność energii, surowców, wzrost produktywności zasobów, ograniczenie emisji zanieczyszczeń i ilości powstających odpadów. W obu systemach wspierana jest racjonalna gospodarka materiałowa, surowcowa i energetyczna, oparta na koncepcji ciągłego doskonalenia.

Norma ISO 14001 określa metody i zasady wdrażania efektywnych systemów zarządzania środowiskowego. Ujmuje m.in. zasady nadzoru nad wykorzystaniem zasobów naturalnych, ściekami i odpadami przemysłowymi, zużyciem energii. Jest narzędziem wspomagającym działania na rzecz środowiska w sposób zgodny z potrzebami społeczno-ekonomicznymi. Norma przeznaczona jest dla przedsiębiorstw, organizacji, instytucji, które zwracają uwagę na środowiskowe efekty swojej działalności. Wdrożenie normy zobowiązuje przedsiębiorstwo do ciągłego ograniczania negatywnych skutków działalności wobec środowiska.

System Ekozarządzania i Audytu EMAS ma na celu zachęcenie organizacji, przedsiębiorstw, instytucji do ciągłego zwiększania efektów działalności na rzecz środowiska naturalnego. Jest ukierunkowany na wczesne identyfikowanie, opracowanie i wdrożenie metod rozwiązywania istotnych problemów środowiskowych oraz osiąganie wymiernych efektów ekologicznych. Warunkiem funkcjonowania systemu EMAS jest wdrożenie w przedsiębiorstwie lub innej jednostce organizacyjnej systemu zarządzania środowiskowego i programu systematycznego zmniejszania skali oddziaływania na otoczenie, publikowaniu deklaracji środowiskowej oraz rejestracji i poddawaniu przedsiębiorstwa systematycznym przeglądom ekologicznym. Wymaga od przedsiębiorstw traktowania aspektów środowiskowych na równi z innymi elementami prowadzonej działalności oraz ciągłego dążenia do poprawy i minimalizacji swojego oddziaływania na środowisko.

Stosowanie innowacyjnych technologii prośrodowiskowych, zgodnych z normami ISO 14000 czy systemem EMAS gwarantuje generowanie mniejszej ilości zanieczyszczeń, umożliwia zmniejszenie zużycia i zwiększenie efektywności wykorzystania surowców oraz zapewnia powtórne zastosowanie lub unieszkodliwianie powstających produktów i odpadów w bardziej racjonalny sposób, niż technologie, dla których są alternatywą. Technologie środowiskowe powinny prowadzić do jednoczesnego osiągnięcia celów gospodarczych, ekologicznych i społecznych oraz wystąpienia synergii pomiędzy wzrostem gospodarczym a ochroną środowiska.

Zwiększeniu bezpieczeństwa ekologicznego służy też funkcjonująca w krajach Unii Europejskiej Dyrektywa 96/61/WE w sprawie zintegrowanego zapobiegania i ograniczania (kontroli) zanieczyszczeń, tzw. Dyrektywa IPPC (*Integrated Pollution Prevention and Control*). Jej głównym celem jest pełne rozpoznanie oddziaływań na środowisko i panowanie nad procesami produkcyjnymi w celu systematycznej redukcji emisji zanieczyszczeń, przy zastosowaniu najnowszych osiągnięć technologicznych, określonych jako tzw. Najlepsze Dostępne Techniki BAT (*Best Available Techniques*). Wymaganiom ICCP podlegają przede wszystkim urządzenia i instalacje przemysłu energetycznego, metalurgicznego, chemicznego, mineralnego oraz hutnictwa i gospodarki odpadami, uznawane za szczególnie uciążliwe dla środowiska. Priorytetem systemu jest kontrola i efektywne wykorzystanie surowców i energii oraz zapobieganie zanieczyszczeniom poprzez stosowanie surowców i wytwarzanie produktów przyjaznych środowisku, efektywne wykorzystanie zasobów oraz minimalizację ilości odpadów, ich recykling i powtórne wykorzystanie. Dyrektywa IPPC narzuca konieczność uzyskiwania tzw. pozwolenia zintegrowanego na prowadzenie działalności przemysłowej, ukierunkowanej na uniknięcie zagrożeń związanych z zanieczyszczeniem środowiska. Po zakończeniu działalności powinna być przywrócona odpowiednia jakość środowiska.

Zgodnie z Dyrektywą IPPC, zalecane jest stosowanie Najlepszych Dostępnych Technik (BAT) obejmujących metody działania, rozwiązania organizacyjne, urządzenia techniczne umożliwiające efektywną redukcję i unieszkodliwianie zanieczyszczeń. Standard BAT służy określeniu limitów emisyjnych, przy uwzględnieniu technicznej charakterystyki instalacji, jej lokalizacji geograficznej i lokalnych warunków środowiskowych. Szczegółowe wytyczne zostały opisane w poradnikach branżowych dla wybranych rodzajów działalności gospodarczej.

Polityka ekologiczna UE wyraża się też w przyjętej w 2005 r, strategii tematycznej dotyczącej zapobiegania i recyklingu odpadów, czy też w dyrektywie 2006/12/WE z dnia 5 kwietnia 2006 w sprawie odpadów. Dyrektywa określa sposób gospodarowania odpadami oraz zobowiązuje państwa członkowskie do przygotowania programów dotyczących zapobiegania powstawaniu odpadów (do 2020 r). Celem działania państw członkowskich powinno być zwiększenie recyklingu i ponownego użycia odpadów oraz zapobieganie ich powstawaniu. Ustalono pięciostopniową hierarchię postępowania z odpadami (zapobieganie i ograniczanie, przygotowanie do powtórnego użycia, recykling, inne metody odzysku, np. odzysk energii, unieszkodliwianie).

Ukształtowaną w świecie strategią ochrony środowiska jest tzw. Czysta Produkcja, wg której celem każdego etapu cyklu życiowego produktu lub procesu produkcyjnego powinno być zapobieganie lub minimalizowanie przejściowego lub trwałego zagrożenia dla zdrowia ludzkiego lub środowiska naturalnego [4]. Jej celem jest zwiększenie efektywności wykorzystania zasobów naturalnych i surowców wtórnych, co wiąże się ze zmniejszeniem ilości odpadów powstających w procesach produkcyjnych. Są to przedsięwzięcia prośrodowiskowe wspierające zasady zrównoważonego rozwoju, prowadzące do minimalizowania zagrożeń dla środowiska naturalnego oraz niedopuszczenia do wyczerpywania jego nieodnawialnych zasobów.

Działania Unii Europejskiej na rzecz ochrony środowiska zostały przedstawione w kolejnych strategicznych programach, z których najistotniejsze znaczenie ma szósty program, zatytułowany "Środowisko 2010: Nasza przyszłość zależy od naszego wyboru" (*Environment 2010: Our Future, Our Choice*), realizowany w latach 2001-2010. Za priorytetowe zostały uznane działania na rzecz przeciwdziałania zmianom klimatycznym, ochrony przyrody i bioróżnorodności, dbałości o wpływ środowiska na zdrowie oraz oszczędnego wykorzystania zasobów naturalnych i gospodarki odpadami. Celem przedsięwzięć powinna być poprawa czystości powietrza, wód i właściwa gospodarka odpadami. W obszarze poprawy czystości powietrza proponowane jest redukcowanie emisji gazów cieplarnianych, zmniejszenie emisji zanieczyszczeń przez przemysł i transport drogowy, zmniejszenie zużycia paliwa przez samochody osobowe oraz promowaniu "czystych" pojazdów. Działając na rzecz poprawy czystości wód wprowadzane są standardy dotyczące ich jakości oraz ograniczające dopuszczalny poziom emisji zanieczyszczeń do środowiska wodnego. Za strategiczne cele gospodarki odpadami, w tym odpadami niebezpiecznymi uznano: eliminowanie zanieczyszczeń u źródła, promowanie recyklingu i powtórnego wykorzystania odpadów oraz ograniczenie zanieczyszczeń spowodowanych spalaniem odpadów. Dla osiągnięcia założonych celów Komisja Europejska preferuje stosowanie technologii środowiskowych obejmujących technologie czystszej produkcji, zapewniające produkcyjne wykorzystanie wszystkich składników przerabianych surowców, zapobiegania zanieczyszczeniom, monitoringu emisji szkodliwych produktów oraz usuwania i unieszkodliwiania zanieczyszczeń.

Podstawowymi kierunkami badawczymi, związanymi ze zwiększeniem bezpieczeństwa ekologicznego, zgodnymi z trendami światowymi i unijnymi są:

- systemy monitorowania zagrożeń ekologicznych;
- technologie i systemy przeciwdziałania powstawaniu niebezpiecznych odpadów;

- systemy unieszkodliwiania niebezpiecznych odpadów.

Rozwój nowych, innowacyjnych technologii i systemów środowiskowych oraz ich komercjalizacja prowadzi do rozwoju gospodarczego oraz wzrostu jakości życia w ekologicznym środowisku.

Systemy monitorowania zagrożeń ekologicznych

Do głównych zagrożeń ekologicznych o globalnym charakterze należą [5]:

- rozprzestrzenianie się toksycznych substancji (chemicznych, radioaktywnych i in.), nie podatnych na biologiczny rozkład;
- niszczenie lasów i zakwaszenie wodnych akwenów przez „kwaśne deszcze”;
- zanieczyszczenie górnych warstw atmosfery przez chlorofluorowęglowodory, uszkadzające warstwy ozonu;
- smog elektromagnetyczny.

Oprócz tego istotne znaczenie ma masowy przyrost ilości odpadów, w tym niebezpiecznych [6]. Zagrożenia ekologiczne występują też ze strony magazynowanych, często toksycznych, substancji przemysłowych, które wskutek awarii mogą przedostać się do atmosfery.

Podstawowym źródłem degradacji środowiska są gazy, zanieczyszczone w sposób naturalny (wulkany, bagna, pustynie) lub sztuczny. Najpoważniejszymi źródłami sztucznych zanieczyszczeń jest transport samochodowy, energetyka, przemysł chemiczny, rolnictwo, rozproszone źródła energii.

Monitorowanie zanieczyszczenia i skażenia środowiska ma na celu przede wszystkim:

- ocenę jakości poszczególnych jego elementów: atmosfery, hydrosfery i litosfery;
- wykrywanie źródeł i określenie wielkości emisji zanieczyszczeń;
- śledzenie dróg przemieszczania się zanieczyszczeń;
- badanie wpływu skażeń i zanieczyszczeń na zmiany klimatyczne [7].

Monitorowanie środowiska obejmuje pozyskiwanie, przetwarzanie, gromadzenie i udostępnianie danych o zanieczyszczeniach i skażeniach. Prowadzone jest poprzez systematyczne okresowe pobieranie próbek w ściśle określonych miejscach i prowadzenie analiz zawartości zanieczyszczeń w stacjonarnych lub ruchomych laboratoriach badawczych. Do oceny stężeń zanieczyszczeń stosowane są metody fizyczne i fizykochemiczne,

obejmujące techniki optoakustyczne, spektrofotometryczne (emisyjne i absorpcyjne), jonizacyjne, przewodności cieplnej, spektrometrii masowej, chromatografii i inne.

W monitorowaniu wód, szczególnie pod względem biologicznym i chemicznym, stosowane są też sieci pomiarowe ze zdalnym przesyłaniem danych pomiarowych wykorzystujące chemiczne czujniki potencjometryczne, amperometryczne i spektroskopowe [8]. Do monitorowania toksycznych skażeń środowiska wykorzystywany jest monitoring biologiczny, tj. bioindykacja. Polega ona na wykorzystaniu roślin lub organizmów zwierzęcych do rejestracji szkodliwego oddziaływania zanieczyszczeń na ekosystem oraz do ustalenia jego pojemności wobec toksyn [9]. Metoda pozwala na poznanie sumarycznej toksyczności wszystkich szkodliwych substancji, często działających synergistycznie. Najpowszechniej stosowanymi bioindykatorami stanu zanieczyszczenia powietrza są pierwotniaki, w przypadku wód są to bakterie luminescencyjne, pierwotniaki, wrotki i skorupiaki.

Wody gruntowe w pobliżu obiektów mogących je zanieczyszczać (stacje paliw, ziemne budowle hydrotechniczne) monitorowane są za pomocą piezometrów, umożliwiających pobór wody do analiz chemicznych i ocenę zmienności poziomu swobodnego zwierciadła wody.

Coraz powszechniej, szczególnie w monitorowaniu atmosfery, wykorzystywane są stałe sieci pomiarowo-alarmowe sprzężone ze zdalną detekcją, identyfikacją i pomiarem stężenia mierzonej substancji. Umożliwiają one prowadzenie badań na dużych odległościach. Kluczową rolę odgrywają tu metody optoelektroniczne, umożliwiające pełną automatyzację pomiaru, jednoznaczność wyników i pomiar stężenia zanieczyszczeń bez konieczności pobierania próbek. Opierają się one na zjawiskach fizycznych takich jak: absorpcja, fluorescencja, dyfrakcja i rozpraszania i obejmują układy generacji, wzmacniania, modulacji, detekcji rejestracji i przetwarzania światła. Zaletą tych metod jest możliwość łączenia różnych technik pomiarowych.

Systemy zdalnego monitorowania skażeń i zanieczyszczeń dzielą się na systemy typu „stand-off” i „remote”. Pierwsze z nich umożliwiają wykrycie zanieczyszczenia (chmury gazów lub bakterii) ze znacznej odległości, bez bezpośredniego kontaktu ze skażeniem. Natomiast drugie wykorzystują niewielkie czujniki punktowe, z których dane przesyłane są do centrów, gdzie są analizowane i określany jest poziom zagrożenia. W systemach „remote” konieczny jest kontakt czujnika z analizowanym obszarem.

W systemach „stand-off” stosowane są lidary, wykorzystywane głównie do wyznaczania przejrzystości powietrza, badania koncentracji zanieczyszczeń w atmosferze

i detekcji ich składu, wykrywania obszarów o odmiernej temperaturze, pomiaru ruchów powietrza na dużych odległościach itp. Podstawą działania wszystkich typów lidarów są procesy rozpraszania światła oddziałującego z materią. Do badania składu dymów, deszczy oraz chmur wykorzystywane są lidary rozproszeniowe. W tego typu systemach nadajnik wysyła impulsy laserowe o dużej energii, które po odbiciu od dymu lub chmury są detekowane w odbiorniku promieniowania optycznego o dużej czułości. Do ustalania obecności określonych cząstek w atmosferze stosowane są lidary ramanowskie, wykorzystujące zjawisko różnego przesunięcia częstotliwości promieniowania rozproszonego na różnych cząsteczkach gazu. Z kolei w najbardziej rozpowszechnionych lidarach absorpcji różnicowej atmosfera sondowana jest dwiema wiązkami laserowymi o różnej długości fali: odpowiadającej pasmu adsorpcji mierzonego gazu oraz nieznacznie przesuniętej w stosunku do tego pasma, nie absorbowanej przez gaz. Różnica amplitud jest miarą stężenia badanego gazu. Identyfikowanie różnych substancji może być prowadzone także z wykorzystaniem lidarów fluorescencyjnych. Emitują one impulsy laserowe o długości fali absorbowanej przez zanieczyszczenie stanowiące przedmiot badań. Pochłonięte promieniowanie, w postaci sygnału powrotnego, trafia do detektora. Ze względu na wysokie wymagania pod względem czułości pomiary ograniczone są do obszaru światła widzialnego i nadfioletu. Lidary fluorescencyjne stosowane są do badań wysokich warstw stratosfery [10]. Wykorzystywane są też do wykrywania ropopochodnych zanieczyszczeń w akwenach wodnych. W lidarach dopplerowskich wykorzystywane jest zjawisko rozpraszania wiązki światła na poruszających się cząsteczkach. Służą do pomiaru prędkości wiatru i dynamiki turbulencji atmosferycznych. Stosowane są m.in. do badania huraganów, ruchu cząsteczek w gazach wylotowych silników.

Wykorzystanie lidarów w systemach monitorowania atmosfery umożliwia prowadzenie pomiarów emisji różnych gazów na trudnodostępnych obszarach, bez konieczności wchodzenia na badany teren. Stosowane są do określania stężenia gazów w spalinach, badania składu chemicznego spalin, zanieczyszczeń górnych warstw atmosfery, powierzchniowych zanieczyszczeń wód, naturalnych źródeł zanieczyszczeń.

Podstawowym elementem każdego systemu monitorowania jest czujnik. Najczęściej stosowane są czujniki analogowe, przetwarzające odebrany sygnał fizykochemiczny na postać elektryczną. Przy zastosowaniu czujników wielostopniowych pośrednim etapem jest sygnał optyczny. Każdy czujnik sprzężony jest z układem obróbki sygnału, zasilania i stabilizacji pracy czujnika, modułem pobierania próbek oraz sygnalizatorami alarmowymi przekroczenia granicznych wartości stężenia. Istotnymi modułami funkcjonalnymi są: układ rejestracji i przetwarzania sygnału oraz obróbki sygnału.

W systemach monitoringu zagrożeń środowiska stosowane są czujniki elektrochemiczne, elektryczne, grawimetryczne, termometryczne, magnetyczne, optyczne oraz biosensory. Czujnikami elektrochemicznymi są różnego rodzaju elektrody (inercyjne, aktywne chemiczne, modyfikowane) przystosowane do oznaczania konkretnych substancji chemicznych. Efekty zachodzącej reakcji elektrochemicznej oceniane są metodami potencjometrycznymi, konduktometrycznymi, woltamperometrycznymi lub kulometrycznymi. Czujniki elektryczne działają na zasadzie adsorbowania substancji chemicznych (z fazy ciekłej lub gazowej) na aktywnej powierzchni sensora i zmianie jego elektrycznych parametrów: przewodnictwa, potencjału, ładunku. W czujnikach grawimetrycznych wykorzystywane są adsorpcyjne właściwości materiałów piezoelektrycznych, w wyniku czego następuje zmiana ich masy. Jest ona przetwarzana na sygnał elektryczny. Czujniki termometryczne działają na zasadzie pomiaru ilości ciepła wytwarzanego lub pochłanianego podczas reakcji oznaczanej substancji z aktywną powierzchnią sensora. W czujnikach magnetycznych wykorzystywany jest pomiar paramagnetycznych właściwości analizowanych substancji. Natomiast w czujnikach optycznych analiza zmian parametrów strumienia świetlnego w wyniku kontaktu oznaczanej substancji z powierzchnią sensora, pokrytego optycznie aktywnym związkiem chemicznym. W biosensarach do generowania sygnału analitycznego wykorzystywane są materiały biologicznie i biochemicznie aktywne, np.: białka, enzymy, hormony, mikroorganizmy, kwasy nukleinowe. Używane są one przede wszystkim do wykrywania i identyfikacji substancji toksycznych i mutagennych. W systemach ciągłego monitorowania powietrza i wód powierzchniowych najczęściej wykorzystywane są czujniki optyczne, elektrochemiczne oraz fotoakustyczne [11]. Najczęściej są one sprzężone w hybrydowy układ modułów funkcjonalnych skonfigurowanych do oznaczania wybranych substancji chemicznych.

Degradacja środowiska naturalnego oraz rosnąca ilość zagrożeń ekologicznych wymagają ciągłego rozwijania asortymentu i polepszenia technicznych parametrów systemów monitorowania obecności zanieczyszczeń, przede wszystkim chemicznych związków i toksycznych substancji przemysłowych. Niezbędne jest prowadzenie badań nad rozwijaniem stałych sieci pomiarowych i pomiarowo-alarmowych wód powierzchniowych i gruntowych oraz gleb. Istotne przyszłościowe znaczenie ma zdalne monitorowanie jakości środowiska — teledetekcja przy użyciu promieniowania elektromagnetycznego.

Technologie i systemy przeciwdziałania powstawaniu niebezpiecznych odpadów

Przeciwdziałanie powstawaniu niebezpiecznych odpadów jest zgodne z podstawowymi założeniami światowej i europejskiej polityki ekologicznej. Zakłada ona m.in. rozwój proekologicznych technologii ukierunkowanych na eliminowanie strat w trakcie całego procesu produkcyjnego i eksploatacyjnego, wytwarzanie i aplikację ekologicznie przyjaznych produktów, wydłużenie czasu użytkowania produktów szkodliwych dla środowiska.

Powszechnie na świecie przyjęto strategię Czystszej Produkcji, której celem jest minimalizacja ilości odpadów w trakcie całego procesu produkcyjnego, począwszy od etapu pozyskiwania surowców, poprzez ich przetwarzanie i produkowanie wyrobów, aż do całkowitego wykorzystania wyrobów i recykling. Recykling ma na celu zagospodarowanie powstałych odpadów w formie składnika lub produktu do wytwarzania innych wyrobów. Wg strategii minimalizacja ilości odpadów następuje poprzez efektywne wykorzystanie surowców, zmiany procesów technologicznych oraz ulepszenia działań operacyjnych. Preferowane są technologie bezodpadowe, obejmujące procesy zapewniające pełne wykorzystanie surowców oraz odpadów powstających w jednostkowych operacjach technologicznych, a w przypadku nie całkowitego wyeliminowania odpadów, zapewniające ich zagospodarowanie bez zanieczyszczania środowiska. Technologie mało- i bezodpadowe są istotnym, docelowym systemem zmniejszenia ilości powstających odpadów m.in. dzięki zmianom składu produktu, oszczędzaniu i zastępowaniu surowców produktami bardziej ekologicznymi, zmianie technologii bądź pojedynczych procesów, wprowadzania automatyzacji oraz przestrzegania parametrów procesu, poprawnym zarządzaniu oraz planowaniu produkcji.

Przykładem technologii, generujących mniejszą ilość niebezpiecznych odpadów jest termiczne oczyszczanie powierzchni metali przed nałożeniem powłok, zamiast mycia rozpuszczalnikami lub detergentami, zastępowanie płynów eksploatacyjnych pochodzenia naftowego produktami syntetycznymi o dłuższym czasie użytkowania, czy odzysk i powtórne wykorzystywanie wody technologicznej (np. ze zużytych cieczy obróbkowych) [12].

Podczas opracowywania technologii, już na etapie projektowania procesu i inwestycji przeprowadzana jest ocena oddziaływania na środowisko. Narzędziami ułatwiającymi opracowywanie nowych i modernizację starych technologii w kierunku zmniejszenia negatywnych oddziaływań ekologicznych jest analiza cyklu życia, karty identyfikujące

produkt oraz wskaźniki odzysku komponentów i opakowań [13]. Analiza cyklu życia umożliwia ocenę emisji szkodliwych substancji oraz zużycia energii i materiałów we wszystkich fazach procesu technologicznego, co pozwala na ustalenie całkowitego wpływu wyrobu na środowisko. Karty produktów pozwalają na szybką i precyzyjną identyfikację składu poszczególnych elementów wyrobu (wytwarzanych lub dostarczanych w postaci surowców lub półproduktów) w celu ustalenia stopnia i możliwości ich recyklingu bądź utylizacji. Wskaźniki odzysku komponentów dają możliwość ustalenia słabych miejsc procesu produkcyjnego pod względem recyklingu i powtórnego wykorzystania odpadów.

Eko-projektowanie jest szeroko stosowane przy produkcji samochodów. Jego efektem są wysokie wskaźniki odzysku masy, np. 95% dla koncernu Renault, czy 90% dla koncernu Volkswagen i Peugeot-Citroen [14].

W przeciwdziałaniu powstawaniu niebezpiecznych odpadów istotne znaczenie ma ograniczenie emisji do otoczenia szkodliwych ekologicznie produktów, szczególnie jeśli następuje ich interakcja z otoczeniem. Preferowane są działania mające na celu rozwój i upowszechnianie produktów przyjaznych środowisku. W wielu krajach wprowadzane są rozporządzenia określające kryteria ekologiczne dotyczące ich składu chemicznego i obszarów stosowania. Dotyczy to m.in. powszechnych w użyciu naftowych środków smarowych i cieczy roboczych, które negatywny wpływ na środowisko wykazują na każdym etapie eksploatacji [15]. Ze składu chemicznego cieczy są eliminowane lub bardzo ograniczane szkodliwe dla środowiska składniki: wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, związki chloru, fosforu, chloroparafiny i innych [16]. Wskazywane są miejsca, gdzie ochrona środowiska jest szczególnie istotna i powinny być stosowane cieczki nietoksyczne, ulegające szybkiemu rozkładowi pod wpływem mikroorganizmów. Przede wszystkim ma to miejsce w przelotowych układach smarowania oraz maszynach i urządzeniach pracujących poza zamkniętymi pomieszczeniami, np. maszynach rolniczych, leśnych, ogrodniczych, pracujących w kopalniach odkrywkowych, zaporach wodnych, budowach hydrologicznych.

Konieczność stosowania biodegradowalnych produktów skutkuje zastępowaniem naftowych środków smarowych, płynów technologicznych i innych cieczy eksploatacyjnych produktami biodegradowalnymi, np. na bazie olejów roślinnych [17]. Aplikacja olejów roślinnych do wytwarzania środków smarowych ma miejsce przede wszystkim w Europie Zachodniej, głównie w Niemczech, Austrii i Skandynawii oraz w Kanadzie i USA [18]. Krajem przodującym pod względem produkcji i stosowania biodegradowalnych środków smarowych są Niemcy. Szacuje się, że ilość środków smarowych wykorzystujących bazy

naturalne stanowi ok. 10% ogólnego zużycia, przy czym w rolnictwie i leśnictwie osiąga wartość ok. 75% [19]. Żeby wyróżnić produkty nie wykazujące szkodliwego działania na środowisko w wielu krajach opracowano programy i systemy przyznawania specjalnych znaków, np. „Błękitny Anioł“ w Niemczech, „Biały Łabędź“ w krajach skandynawskich, „Wybieram Środowisko” w Kanadzie [20]. W Polsce za działania w ochronie środowiska jest przyznawana nagroda Ministerstwa Środowiska „Lider Polskiej Ekologii“.

Problem przeciwdziałania powstawaniu niebezpiecznych odpadów rozwiązywany jest też poprzez wydłużenie cyklu życia produktom szkodliwym ekologicznie. Ma to miejsce m.in. podczas eksploatacji olejów przemysłowych, cieczy technologicznych i innych materiałów eksploatacyjnych. Wprowadzane są systemy proekologicznej gospodarki tymi produktami prowadzące do zmniejszenia ilości przepracowanych produktów [21,22]. Systemy obejmują monitorowanie wybranych właściwości cieczy podczas eksploatacji, systematyczne uzdatnianie oraz metody zagospodarowania powstających odpadów. Zabiegi uzdatniania prowadzone są najczęściej w miejscu użytkowania, za pomocą mobilnych urządzeń, podczas normalnej eksploatacji lub postojów maszyn związanych z przeglądami i remontami. Eliminowana jest w ten sposób konieczność transportu cieczy do firm uzdatniających.

Podstawowymi zadaniami w zakresie przeciwdziałania powstawaniu niebezpiecznych odpadów, istotnymi dla rozwijania gospodarki zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju są:

- rozwijanie i aplikacja technologii efektywnie wykorzystujących surowce i materiały;
- zastępowanie nieodnawialnych surowców odnawialnymi oraz produktów i technologii uciążliwych dla środowiska bardziej bezpiecznymi;
- rozwój technologii recyklingu surowców i odpadów wewnątrz przedsiębiorstw.

Realizacja tych zadań wymaga zaangażowania wielu wyspecjalizowanych placówek naukowych oraz biur konstrukcyjnych i technologicznych różnych branż.

Systemy unieszkodliwiania niebezpiecznych odpadów

Unieszkodliwianie niebezpiecznych odpadów polega na poddaniu ich procesom biologicznym, chemicznym lub fizycznym przekształceń w celu doprowadzenia do stanu nie stwarzającego zagrożenia dla ludzi i środowiska.

Podstawowymi technologiami unieszkodliwiania niebezpiecznych odpadów są technologie termiczne, spośród których największe znaczenia ma piroliza, spalanie,

witryfikacja i technologie plazmowe. O przydatności odpadów do poddania ich procesom termicznym decydują ich fizykochemiczne właściwości oraz wartość opałowa. Jako dolna granica wartości opałowej przyjmowana jest wartość 6700-7530 kJ/kg [23].

Piroliza (odgazowanie) – wykorzystywana powszechnie przy unieszkodliwianiu odpadów medycznych. Proces zachodzi w temperaturze 200-1000°C, w środowisku beztlenowym. W zależności od temperatury jest procesem nisko- lub wysokotemperaturowym. Piroliza polega na przekształceniu bogatych w węgiel substancji organicznych w fazę gazową (gaz pizolityczny), stałą (koks, metale, składniki inertne) i ciekłą (oleje, smoły, składniki organiczne; kwasy i alkohole). Powstający gaz pirolityczny ma wartość opałową 12000-16000 kJ/Nm³. Jego składnikami są: wodór, metan, etan i ich homologi, tlenki węgla siarkowodór i inne. Piroliza niebezpiecznych odpadów przebiega dwuetapowo: w pierwszej kolejności następuje częściowe spalanie przy niedomiarze powietrza, w drugiej fazie, po podwyższeniu temperatury (do wartości 1200-1300°C) i doprowadzeniu powietrza wtórnego następuje spalanie gazu pizolitycznego.

Spalanie – powszechnie stosowane w odniesieniu do różnych grup niebezpiecznych odpadów organicznych i nieorganicznych. Przebiega w obecności czynnika utleniającego, którym najczęściej jest powietrze. Pierwiastkami palnymi są: węgiel i jego związki, wodór i siarka, natomiast produktami procesu: gazy spalinowe (dwutlenek węgla i siarki, woda), popiół, żużel, frakcje ciekłe. W zależności od rodzaju spalanych odpadów i warunków prowadzenia procesu mogą też być węglowodory, tlenek węgla, chlorowodór, dioksyny i furany. Najczęściej przyjmuje się, że dolna granica gazów opuszczających palenisko to 850°C, a wychodzących z komory dopalania 1100-1300°C. W przypadku spalania niebezpiecznych odpadów nie powinna być niższa niż 1200°C. Metoda wykorzystywana jest do spalania odpadów stałych, półpłynnych i płynnych oraz ich mieszanin.

Odpady stałe spalane są też w warstwie fluidalnej, którą stanowi mieszanina popiołu i paliwa oraz powietrza i spalin. Proces przebiega w temperaturze 800-900°C. Wykorzystywany jest do unieszkodliwiania stałych odpadów. Jego zaletą jest mniejsza emisja tlenków azotu w odniesieniu do konwencjonalnego spalania oraz możliwość ograniczenia emisji tlenków siarki.

Powszechne jest termiczne unieszkodliwianie odpadów w piecach obrotowych stosowanych przy produkcji cementu. Wykorzystywana jest tutaj wysoka temperatura procesu klinkieryzacji (1480°C) i strumienia gazów przepływających przez piec (max 1730°C) oraz długi czas przepływu gazów przez strefę o temperaturze ok. 1450°C (ok. 2,7 s). Istotne

znaczenie ma też wysoka turbulizacja strumienia gazów, obecność bardzo rozdrobnionej fazy stałej oraz rozwinięta powierzchnia wymiany ciepła i masy. Są to warunki odpowiednie do spalania niebezpiecznych odpadów. Podczas procesu, szkodliwe dla środowiska gazowe produkty spalania reagują ze składnikami surowcowymi lub są absorbowane na powierzchni rozdrobnionej fazy stałej. Metale ciężkie zostają wbudowane do struktury krystalicznej klinkieru.

Do spalania niebezpiecznych odpadów stosowane też są specjalne paleniska pulsacyjne. Ich konstrukcja umożliwia dostarczenie takiej ilości powietrza i zapewnia taki czas trwania procesu, który gwarantuje całkowite spalanie odpadów. Zaletą procesu jest niska emisja tlenku węgla i węglowodorów, nie sprzyjająca powstawaniu dioksan i furanów. Metoda stosowana jest do unieszkodliwiania szerokiej grupy odpadów, m.in. z przeróbki ropy naftowej, syntez organicznych, przemysłu fotograficznego, olejów odpadowych, rozpuszczalników organicznych [24].

Witryfikacja – polega na przetapianiu materiałów nieorganicznych z odpadową stłuczką szklaną. Proces przebiega w temperaturze ok. 1500°C przez 1-2 godziny i prowadzi do powstania zeszkliwionej masy, w której trwale są związane niebezpieczne składniki. Powstały produkt wykorzystywany jest jako warstwa podkładowa w drogownictwie [25].

Technologie plazmowe – stosowane są do unieszkodliwiania niebezpiecznych odpadów organicznych i nieorganicznych. Proces może być prowadzony w warunkach pirolizy termicznej (w obecności wody), plazmy powietrznej lub tlenowej, wodnej i wodorowej. Powstający gaz palny może mieć wartość opałową ok. 12 MJ/m³. Technologia gwarantuje całkowitą destrukcję m.in. freonów, dioksyn, furanów, PCB, substancji zaliczanych do szczególnie niebezpiecznych. Produktem końcowym procesu jest zeszkliwiona masa wykorzystywana w przemyśle budowlanym.

Plazmowe procesy unieszkodliwiania odpadów są najbardziej czystymi technologiami. Ich podstawową zaletą są warunki procesu (temperatura, intensywność promieniowania) zapewniające całkowity rozkład złożonych związków chemicznych, w tym dioksyn i furanów. W wyniku procesu objętość niebezpiecznego odpadu zmniejsza się 100-krotnie i przekształca do postaci bezpiecznej dla środowiska. Ponadto istnieje możliwość odzysku metali i sprzężenia z konwencjonalną metodą spalania.

Systemy termicznego unieszkodliwiania odpadów produkowane są m.in. przez firmę Basic Envirotech (spalanie pulsacyjne), SVZ Schwarze Pumpe (zgazowanie). Technologie plazmowe stosowane są w systemach firmy Tetronics Ltd, Ekolpazma i Solena.

Termiczne metody unieszkodliwiania odpadów sprzężone są z oczyszczaniem powstających gazowych produktów. Wykorzystywane są do tego celu procesy odpylania i usuwania gazowych składników. Odpylanie ma na celu usunięcie zanieczyszczeń stałych, głównie pyłów o różnej granulacji. Proces realizowany jest za pomocą cyklonów i multicyklonów (w polu sił odśrodkowych), włókninowych worków filtracyjnych, elektrofiltrów. Do redukcji szkodliwych gazowych składników spalin wykorzystywane są techniki absorpcyjne lub adsorpcyjne. Procesy adsorpcji zachodzą w nieruchomym lub ruchomym złożu oraz w warstwie fluidalnej.

Jako technologie alternatywne do termicznego unieszkodliwiania odpadów stosowana jest też obróbka chemiczna wykorzystująca procesy utleniania i redukcji. Metoda jest stosowana przede wszystkim do unieszkodliwiania odpadów pochodzących z procesów trawienia oraz powierzchniowej obróbki metali. Polega na wytrącaniu z odpadowych cieczy metali ciężkich i oddzieleniu powstałego osadu na prasach filtracyjnych. W przypadku obecności w cieczy szczególnie niebezpiecznych składników (chrom, fluorki, cyjanki) stosowana jest wstępna obróbka chemiczna.

Technologie zateżania, zestalania i stabilizacji mają na celu trwałe związanie określonych grup niebezpiecznych odpadów z obojętnymi dla środowiska substancjami. Jako lepiszcze wykorzystywany jest najczęściej cement.

Z kolei technologie biologiczne i biochemiczne wykorzystują specjalne szczepy bakterii, najczęściej w postaci błony biologicznej lub osadu czynnego, do rozkładu odpadowych związków organicznych [26].

W technologiach chemotermiczno-plazmowych wysoka temperatura i silne promieniowane plazmy wykorzystywane są do rozrywania najbardziej złożonych wiązań chemicznych. Technologie plazmowe umożliwiają unieszkodliwienie silnie toksycznych związków np. środków bakteriobójczych, toksycznych odpadów przemysłowych, azbestu, niebezpiecznych popiołów. Odmienną technologią unieszkodliwiania niebezpiecznych odpadów jest ekstrakcja katalityczna. Rozdział substancji następuje pod wpływem indukcji łuku elektrycznego lub plazmy „zimnej” (2000-2500°C), przy odpowiednim wspomaganie termicznym. Metoda prowadzi do częściowego odzysku pierwotnych składników odpadów. Jest oferowana przez firmę Du Pont [27].

Specjalnymi grupami odpadów są wyroby zawierające azbest, zużyte źródła światła zawierające rtęć, baterie i akumulatory, sprzęt elektroniczny, przepracowane oleje. Do unieszkodliwiania wyrobów azbestowych stosowane są reaktory mikrofalowe, w których odpady poddawane są termicznej destrukcji w temperaturze ok. 1100°C. Wykorzystanie

skoncentrowanego pola mikrofalowego zapewnia ogrzanie azbestu w całej objętości. Proces powoduje nieodwracalną destrukcję włókien azbestowych. Powstały produkt jest wykorzystywany jako dodatek do cementu i innych materiałów budowlanych.

Do unieszkodliwiania zużytych lamp fluorescencyjnych stosowana jest próżniowa metoda oddestylowania rtęci (firmy MRT System). Proces prowadzony jest w temperaturze ok. 400°C. Po procesie, powietrze z parami rtęci przechodzi przez komorę dopalania części organicznych gazów (ok. 850°C), dwie komory chłodnicze, w których następuje wydzielenie metalicznej rtęci oraz filtr węglowy. Powietrze, wtórnie zanieczyszczone parami rtęci, oczyszczane jest metodą nadmanganową lub tiosiarczanową. Oferowane też są destylatory do termicznego usuwania rtęci z baterii rtęciowych, termometrów, pyłu fluorescencyjnego²³.

Najkorzystniejszą metodą unieszkodliwiania przetworzonych olejów jest ich rerafinacja. Proces prowadzi do wytworzenia surowców petrochemicznych, które mogą być użyte do produkcji nowych produktów. Przetworzone oleje wykorzystywane są też jako paliwo w celu odzysku ich energii cieplnej. Proces prowadzony jest w specjalnych piecach, gwarantujących uzyskanie wymaganych parametrów w zakresie temperatury i czasu spalania. Oleje przetworzone o dużym stopniu zanieczyszczenia i degradacji chemicznej, nie nadające się do regeneracji lub rerafinacji, unieszkodliwiane są w instalacjach do spalania odpadów komunalnych lub piecach obrotowych w cementowych [28].

Spśród przedstawionych metod unieszkodliwiania niebezpiecznych odpadów największe perspektywy rozwoju mają metody plazmowe, przede wszystkim z uwagi na możliwość stosowania w odniesieniu do najbardziej złożonych i trudnych do utylizacji substancji, wysoką skuteczność procesu i możliwość sprzężenia z konwencjonalnymi metodami spalania.

Wnioski

Efektem notowanego w ostatnich latach wzrostu zanieczyszczenia i skażenia środowiska są działania mające na celu zwiększenie bezpieczeństwa ekologicznego. Zapewnienie rozwoju gospodarczego poprzez wprowadzanie nowych, innowacyjnych rozwiązań technologicznych i społecznych nie powinno kolidować z potrzebami środowiska naturalnego. Integracja i harmonijne współdziałanie gospodarki, społeczeństwa i środowiska powinny być podstawowymi i równorzędnymi czynnikami uwzględnianymi przy wprowadzaniu nowych oraz realizacji istniejących rozwiązań służących zaspokojeniu potrzeb człowieka. Zwiększeniu bezpieczeństwa ekologicznego służą m.in. systemy monitorowania

skażenia środowiska, zmniejszenie ilości powstających odpadów oraz racjonalne i efektywne ich unieszkodliwianie. Systemy monitorujące środowisko pozwalają na wykrycie źródeł, określenie wielkości zanieczyszczeń oraz szybką reakcję zapobiegającą rozprzestrzenianiu się skażenia. Ze względu na rosnącą ilość zagrożeń ekologicznych, przede wszystkim toksycznych substancji przemysłowych, niezbędne jest rozwijanie asortymentu oraz ciągłe zwiększanie technicznych parametrów systemów już istniejących. Istotne przyszłościowe znaczenie mają techniki zdalnego monitorowania jakości środowiska. Zmniejszenie ilości powstających odpadów, szczególnie niebezpiecznych, jest jednym z podstawowych założeń światowej polityki ekologicznej. Jej efektem jest rozwój proekologicznych technologii, których celem jest minimalizacja ilości odpadów podczas całego procesu produkcyjnego i eksploatacyjnego, rozwój i aplikacja ekologicznie przyjaznych produktów oraz recykling powstałych odpadów. Racjonalne i efektywne unieszkodliwianie niebezpiecznych odpadów ma na celu poddanie ich różnym procesom przekształcenia w postać nie stwarzającą zagrożenia dla otoczenia. Powszechnie stosowane są metody termiczne oraz obróbka chemiczna. Największe perspektywy rozwoju mają technologie plazmowe, które mogą być stosowane do unieszkodliwiania najbardziej złożonych substancji, mają wysoką efektywność oraz mogą być sprzężone z konwencjonalnymi metodami spalania.

Literatura

1. Allen T., [et al.], *Distinguishing ecological engineering from environmental engineering*, Ecological Engineering, 2003, 20, s. 389-407;
2. Ilhan Talinh [et al.], *A rating system for determination of hazardous wastes*, Journal of Hazardous Materials, 2005, 23-30 s. 23-30;
3. Chaaban A. Moustafa, *Hazardous waste source reduction in materials and processing technologies*, Materials Processing Technology, 2001, 119, s. 336-343.
4. Staniskis J.K., [et al.], *Promotion of cleaner production investments: international experience*, Journal of Cleaner Production. 2003, 11, 619-628;
5. Mierczyk Z., [et al.], *Monitorowanie bezpieczeństwa obiektów budowlanych i środowiska naturalnego*, Nowoczesne technologie dla budownictwa, Wojskowa Akademia Techniczna, Z. Mierczyk, 326-370, 978-83-89399-59-5, 2008;
6. Calov P., *Ecological Risk Assessment: Risk for What? How Do We Decide?* Ecotoxicology and Environmental Safety, 1998, 40, 15-18;
7. Bruce K. Hope. *An examination of ecological risk assessment and management practices*, Environmet International, 2006, 32, 983-995;
8. Strain P.M. [et al.], *Design and implementation of a program to monitor ocean health*, Ocean and Coastal Management. 2002, 45, 325-355;
9. Grzesik M., [et al.], *Monitorowanie toksycznych skażeń wody metalami ciężkimi przy pomocy kielkowania nasion*, Ecohydrol. Hydrobiol., 2005, 5, 53-57;
10. Gietka A., [et al.], *Optoelektroniczne systemy zdalnego wykrywania skażeń i zanieczyszczeń atmosfery*, Biuletyn WAT, 2006, 55, 21-55. .
11. Kristensen P., [et al.], *Integrated approach for chemical, biological and ecotoxicological monitoring – a tool for environmental management*, European Water Pollution Control, 1997, 7, 36-42;
12. Gresham R.M., *Waste treatment in tough times*, Tribology and Lubrication Technology. 2009, 6, s. 28-31;

13. Stachura M., [et al.], *Ekoprojektowanie w praktyce*, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, 2007, 5, 53-563;
14. Merkiż-Guranowska A., *Ekoprojektowanie a recycling samochodów*. Recykling, 2006, 3;
15. Haus F., [et al.], *Primary and ultimate biodegradabilities of mineral base oils and their relationships with oil viscosity*, International Biodeterioration and Biodegradation, 2004, 54, s. 189÷192;
16. Bartz W.J., *Ecotribology: environmentally acceptable tribological practices*, Tribology International. 2006, 39, s. 728÷733;
17. Bartz W.J., *Lubricants and the environment*, Tribology International, 1998, 31, s. 35÷47;
18. Erlan S.Z. [et al.], *Oxidation and low temperature stability of vegetable oil-based lubricants*, Industrial Crops and Products, 2006. 24, s. 292÷299;
19. Keller U. [et al.], *Neue Schmier stoffe auf der Basis nachwachsender Rohstoffe*, Ökotoxikologische und oxidative Eigenschaften. Ölenhydraulik und Pneumatik. 2000, nr 4, s. 385÷395;
20. Battersby N.S, *The biodegradability and microbial toxicity testing of lubricants – some recommendations*, Chemosphere, 2000, 41, s. 1011÷1027;
21. Todd Rusk, [et al.], *Evaluation of aged and recycled metalworking fluids by the tapping torque*, Lubrication Engineering, February 2003;
22. Soković M., [et al.], *Ecological aspects of cutting fluids and its influence on quantifiable parameters of the cutting processes*, Journal of Materials Processing Technology, 2001, 109, p. 181÷189;
23. Listwan A., [et al.], *Podstawy gospodarki odpadami niebezpiecznymi*, Politechnika Radomska, 2009;
24. Karcz H., [et al.], *Instalacja KJN do termicznej utylizacji odpadów i spalania biomasy*, Problemy Inżynierii Rolniczej, 2007, 2 87-92;
25. Garcia-Valles M. [et al.], *Heavy metal-rich waste sequester in mineral phases through a Glass-ceramic process*, Chemosphere, 2007, 68, 1946-1953;
26. Tałataj A., *Dioksyny w procesach unieszkodliwiania i przetwarzania odpadów*, Ochrona Środowiska. 2008, 9, 52-55;
27. Mollah M.Y.A. [et al.], *Plasma chemistry as a tool for Green chemistry, environmental analysis and waste management*, Journal of Hazardous Materials, 2000, B79, 301-320;
28. Podniadło A., *Paliwa, oleje i smary w ekologicznej eksploatacji*, WNT, Warszawa 2002.