

Ewa Owczarek-Nowak^{*)}

**ZRÓWNOWAŻONE SYSTEMY GOSPODAROWANIA
ODPADAMI KOMUNALNYMI NA TERENIE GMINY
– MODELE INFORMATYCZNE**

Streszczenie

Jednym z obowiązków samorządu gminnego jest opracowanie i wdrożenie gminnego systemu gospodarowania odpadami komunalnymi. Z uwagi na dużą liczbę zagadnień, które trzeba uwzględnić podczas planowania i nadzorowania działania takiego systemu, jest to zadanie bardzo skomplikowane. Szczególnie istotne jest zapewnienie, aby gospodarowanie odpadami komunalnymi w gminie odbywało się z poszanowaniem podstawowych zasad zrównoważonego rozwoju. Osoby odpowiedzialne za podejmowanie decyzji w tym zakresie w wielu przypadkach nie posiadają wystarczającej wiedzy merytorycznej i wtedy możliwość posłużenia się specjalnie opracowanym narzędziem informatycznym jest bardzo interesująca. Obecnie istnieje wiele modeli komputerowych ułatwiających projektowanie takich systemów, a ich autorzy prezentują bardzo różnorodne podejście do zagadnienia. Część analizowanych modeli dotyczyła jedynie fragmentów systemu gospodarowania odpadami komunalnymi, inne miały służyć do opracowywania ogólnych założeń na wczesnych etapach projektowania. Różnorodne były stosowane technologie informatyczne i metody modelowania. Wielu autorów podkreślało, że prawidłowy system gospodarowania odpadami komunalnymi powinien uwzględniać trzy podstawowe zasady zrównoważonego rozwoju: akceptację społeczną, efektywność ekonomiczną oraz ekologicznie dopuszczalne oddziaływanie na środowisko. Żadne z analizowanych narzędzi informatycznych nie spełniało jednak tego warunku, gdyż nawet jeśli umożliwiało tworzenie systemu efektywnego ekonomicznie i dopuszczalnego ekologicznie, to nie uwzględniało kwestii społecznych. Pominięcie tego ostatniego aspektu zrównoważonego rozwoju podczas tworzenia gminnego systemu gospodarowania odpadami komunalnymi w wielu przypadkach jest przyczyną jego niepoprawnego funkcjonowania. W ostatnich latach przeprowadzono wiele badań dotyczących czynników wpływających na zachowania prowadzące do zmniejszania ilości wytwarzanych odpadów komunalnych i odpowiedzialnego postępowania z nimi. Interesującą możliwością byłoby wykorzystanie wyników tych badań podczas modelowania systemu gospodarowania odpadami komunalnymi w gminie.

**Sustainable systems of municipal wastes management on a commune terrain
– numerical models**

Abstract

One of the duties of communal council is developing and implementation of municipal wastes management system. Due to a large number of questions, which should be considered during planning and supervising such system functioning, this task is very complicated. Particularly essential is to secure the municipal wastes management in a way respecting basic rules of sustainable development. In many cases, persons responsible for taking a decision in this area do not possess sufficient essential knowledge, and in such cases the possibility of using dedicated computer tool is especially interesting. Presently, there exist many computer models facilitating projecting of such systems, and authors of them present very differentiated approaches to this question. Part of analysed models concerned fragments of the system of municipal wastes' management only, while others were intended to serve to general

^{*)} Śląskie Środowiskowe Studium Doktoranckie w Głównym Instytucie Górnictwa.

assumptions' development on early stages of projecting. Various computer technologies and modelling methods were applied there. Many authors emphasised that proper system of municipal wastes management should take into account three basic rules of sustainable development: social acceptance, economic efficiency as well as ecologically admissible environmental impact. However, no analysed computer tool did fulfil this condition, because even if it made possible to create economically effective and ecologically admissible system, it did not make social allowances. An omission of this last aspect of sustainable development during creation of communal system of municipal wastes' management, in many cases is the reason of its incorrect functioning. In last years, many tests were performed concerning factors influencing demeanours leading to diminishing the quantity of municipal wastes produced and responsible further proceeding. Using the results of these tests would constitute an interesting possibility during modelling the system of municipal wastes' management in the community.

WPROWADZENIE

Zorganizowanie sprawnego systemu gospodarowania odpadami komunalnymi należy do zadań własnych gminy. Obowiązek ten wynika z kilku aktów prawnych, z których do najważniejszych należą: ustawa z dnia 13 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach, ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach oraz ustawa z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym.

Pod pojęciem „zorganizowanie sprawnego systemu gospodarowania odpadami komunalnymi” należy rozumieć przede wszystkim zapewnienie:

- wszystkim mieszkańcom gminy możliwości korzystania ze zorganizowanego systemu odbierania wszystkich rodzajów odpadów komunalnych,
- warunków do funkcjonowania systemu selektywnego zbierania i odbierania odpadów komunalnych,
- budowy, utrzymania i eksploatacji lub warunków do budowy, utrzymania i eksploatacji instalacji oraz urządzeń do odzysku i unieszkodliwiania odpadów komunalnych.

Powyższe działania mogą być wykonywane przez samorząd gminny samodzielnie (np. przez gminne zakłady budżetowe), wspólnie z innymi gminami lub przez przedsiębiorców. Innymi słowy, koncepcja tego systemu polega na tym, że „gmina organizuje, inni wykonują” (Górski 2005).

Szczególnym wyrazem tej odpowiedzialności samorządu gminnego jest, zawarty w art. 14 ustawy o odpadach, obowiązek opracowywania gminnych planów gospodarki odpadami, które stanowią część gminnych programów ochrony środowiska, i które obejmują kwestie dotyczące odpadów komunalnych.

Zorganizowanie systemu gospodarowania odpadami komunalnymi jest bardzo złożone i nie można podać jednego sposobu postępowania, który okazałby się odpowiedni w warunkach każdej gminy. Należy bowiem uwzględnić wiele czynników, począwszy od uwarunkowań prawnych i środowiskowych, przez zagadnienia technologiczne i ekonomiczne, aż po specyficzne cechy danej gminy. Szczególną uwagę należy zwrócić na charakterystykę lokalnych społeczności, zagospodarowanie przestrzenne, priorytety rozwoju. Złożoność zagadnienia i wielość czynników o różnorodnym znaczeniu, które należy brać pod uwagę przy podejmowaniu decyzji o zastosowaniu konkretnych rozwiązań powoduje, że informatyczne narzędzia wspomagania decyzji należy traktować jako szczególnie interesującą możliwość.

1. MODELOWANIE I NARZĘDZIA INFORMATYCZNE SŁUŻĄCE DO MODELOWANIA

W słowniku języka polskiego PWN¹⁾ model został zdefiniowany jako konstrukcja, schemat lub opis ukazujący działanie, budowę, cechy, zależności jakiegoś zjawiska lub obiektu. Nieco filozoficzną definicję modelu przedstawił Roy, określając model jako schemat, który dla danego zakresu problemowego jest reprezentacją pewnej klasy zjawisk (...) wyodrębnionych z kontekstu przez obserwatora w celu stworzenia podstawy do badań i (lub) komunikacji (Roy 1990). Jeśli model ma służyć do badań lub komunikacji, powinien być konstruowany w sposób jak najbardziej sformalizowany, chociaż niekoniecznie w języku matematycznym. Oczywiście istnieje tendencja do wyrażania modeli w kategoriach matematycznych, gdyż to umożliwia sformalizowane przedstawianie danego aspektu rzeczywistości oraz doświadczalne sprawdzenie zbudowanego w ten sposób modelu.

Jeśli model będzie odwzorowaniem pewnego fragmentu rzeczywistości, trzeba odpowiedzieć na pytanie: w jaki sposób wskazać, które obiekty i zjawiska są istotne dla funkcjonowania tego fragmentu rzeczywistości, innymi słowy, jakie informacje i dane trzeba uwzględnić podczas modelowania. Nie zawsze odpowiedź na to pytanie jest oczywista, zwłaszcza gdy są modelowane zjawiska złożone lub niecałkowicie poznane. Bardzo wiele zależy od osoby tworzącej model, od jej wiedzy, doświadczenia i umiejętności wyszukiwania związków między obiektami i zjawiskami.

Jakie znaczenie ma prawidłowo opracowany model w systemie wspomagania decyzji?

Roy definiuje wspomaganie decyzji jako odnajdywanie na podstawie jasno wyrażonych, choć niekoniecznie w pełni sformalizowanych modeli, elementów poszukiwanej odpowiedzi, elementów wyjaśniających decyzję i – najczęściej – elementów stanowiących zalecenia (Roy 1990). Należy jednak podkreślić, że wspomaganie decyzji w żadnym przypadku nie jest równoznaczne z jej podjęciem, gdyż to jest zadanie i odpowiedzialność osoby podejmującej decyzję.

Narzędzia wspomagania decyzji stosuje się w przypadku systemów złożonych, gdy podejmując decyzję, trzeba poza wiedzą z określonej dziedziny, będącą domeną ekspertów, uwzględniać inne czynniki, z których wiele nie daje się w jednoznaczny sposób kwantyfikować (np. zmierzyć czy wycenić). Należy się więc zastanowić, czy model stanowiący podstawę systemu wspomagania decyzji jest ścisły i obiektywny. Ścisłość modelu jest uzależniona przede wszystkim od wiedzy i doświadczenia osoby opracowującej model oraz od poprawnego wskazania elementów wpływających na przebieg modelowanych zjawisk. Model obiektywny natomiast, to taki, który zdaniem ogółu stanowi bezstronną reprezentację klasy odzwierciedlanych zjawisk i który stanowi bezstronną podstawę badań i komunikacji (Roy 1990). To zdanie ogółu może się oczywiście zmieniać w zależności od miejsca i czasu, więc bezstronność modelu (i słuszność podejmowanej decyzji) zawsze pozostanie w pewnym stopniu nieustalona.

¹⁾ <http://sjp.pwn.pl>

Obecnie istnieje wiele narzędzi informatycznych służących do wspomagania decyzji, z których najlepiej są znane systemy bazodanowe, systemy ekspertowe i sieci neuronowe, a także narzędzia GIS (czyli tzw. systemy informacji przestrzennej).

2. ZASTOSOWANIE ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU W GOSPODAROWANIU ODPADAMI KOMUNALNYMI

Pojęcie zrównoważonego rozwoju po raz pierwszy zostało oficjalnie użyte na Konferencji ONZ w Sztokholmie w 1972 roku, jednak bez podania dokładnej definicji. Definicję sformułowano i szerzej rozwinięto w 1987 roku w raporcie Komisji ONZ do Spraw Środowiska i Rozwoju zatytułowanym „Środowisko i rozwój”, przygotowanym pod kierunkiem Gro Harlem Brundtland. W raporcie tym stwierdzono, że: *...na obecnym poziomie cywilizacyjnym możliwy jest rozwój zrównoważony, to jest taki rozwój, w którym potrzeby obecnego pokolenia mogą być zaspokojone bez umniejszania szans przyszłych pokoleń na ich zaspokojenie*²⁾. W tej postaci jest to doktryna bardzo idealistyczna, właściwie utopijna – podstawą jej jest bowiem założenie, że najpierw należy skupić się na właściwym określeniu rzeczywistych potrzeb ludzi, szczególnie na zaspokojeniu podstawowych potrzeb najbardziej potrzebujących mieszkańców Ziemi z uwzględnieniem ograniczonych możliwości naszej planety. Oznacza to, że bogatsze społeczeństwa powinny limitować zaspokajanie swoich potrzeb (aby zmniejszyć zużywanie zasobów środowiska) na rzecz uboższych społeczeństw.

Tak zdefiniowane pojęcie zrównoważonego rozwoju niezbyt dobrze nadaje się do określania zasad gospodarowania odpadami komunalnymi na terenie gminy. Bardziej przydatne są koncepcje, zgodnie z którymi w zrównoważonym rozwoju muszą być uwzględnione zarówno czynniki ekologiczne, jak i ekonomiczne oraz społeczne. Związką definicję zrównoważonego rozwoju podała Dubel: jest to rozwój gospodarczy pożądaný społecznie, uzasadniony ekonomicznie i dopuszczalny ekologicznie (Dubel 1998).

W definicji tej w wyraźny sposób zostały wykazane podstawowe zasady, jakimi należy kierować się, projektując gminny system gospodarowania odpadami komunalnymi.

Należy zauważyć, że przepisy polskiego prawa wyraźnie wskazują na konieczność przestrzegania zasad zrównoważonego rozwoju. Art. 8 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska stanowi, że: *Polityki, strategie, plany lub programy dotyczące w szczególności (...) gospodarki odpadami (...) powinny uwzględniać zasady ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju*. Uwzględnianie zasad zrównoważonego rozwoju w projektowaniu gminnego systemu gospodarowania odpadami komunalnymi jest zatem obowiązkiem wynikającym z przepisów prawa, a odpowiedzialny za jego spełnienie jest samorząd gminy.

Warto zauważyć, że jeśli dokładniej przeanalizuje się wspomniane wcześniej zasady zrównoważonego rozwoju (zgoda społeczna, efektywność ekonomiczna oraz

²⁾ źródło: <http://pl.wikipedia.org>

ekologicznie dopuszczalne oddziaływanie na środowisko), okaże się, że skuteczne i poprawne funkcjonowanie systemu gospodarowania odpadami komunalnymi, który stałby w sprzeczności z tymi zasadami, byłoby poważnie utrudnione w dłuższym czasie, albo po prostu niemożliwe.

Obowiązujące przepisy prawa narzucają konieczność pozostawania w zgodzie z zasadami ochrony środowiska, rozumianej jako zarówno racjonalne kształtowanie środowiska i korzystanie z jego zasobów, przeciwdziałanie zanieczyszczeniom, jak i przywracanie elementów przyrodniczych do właściwego stanu³⁾. Istnieje wiele instrumentów prawnych umożliwiających egzekwowanie tego obowiązku, na przykład system zezwoleń wymaganych na różnych etapach postępowania z odpadami, wydawanych na podstawie przepisów o odpadach oraz o utrzymaniu czystości i porządku w gminach, jak również sankcyjne decyzje wstrzymujące działalność, która powoduje znaczne pogorszenie stanu środowiska (Górski 2005), takie jak decyzje wydawane przez wojewódzkiego inspektora ochrony środowiska na podstawie art. 365 ustawy – Prawo ochrony środowiska. Decyzjom tym nadaje się rygor natychmiastowej wykonalności i uwzględnia konieczność bezpiecznego dla środowiska zakończenia działalności.

Stosowanie zasady efektywności ekonomicznej w gospodarowaniu odpadami komunalnymi nie wymaga szerszego komentarza. Konieczność uwzględniania nie tylko zasad ochrony środowiska, ale i zasad ekonomicznych, wynika z zasad ogólnych wymienionych w ustawie o odpadach (np. art. 7 ust. 2 i 3, art. 11 ust. 3 pkt 2). Również zawarty w art. 9 tej ustawy wymóg stosowania najlepszych dostępnych technik do unieszkodliwiania odpadów komunalnych, których nie udało się poddać odzyskowi, powoduje konieczność uwzględniania zasadności ekonomicznej (co wynika z definicji najlepszej dostępnej techniki, zawartej w art. 3 pkt 10 ustawy – Prawo ochrony środowiska).

Zgodnie z powyższymi przepisami w planowaniu gminnego systemu gospodarowania odpadami komunalnymi należy uwzględnić jego samofinansowanie się. Zadanie samorządu gminnego polega raczej na stwarzaniu warunków do jego funkcjonowania, natomiast poszczególne zadania związane ze zbiórką, transportem i zagospodarowywaniem odpadów komunalnych są wykonywane przez przedsiębiorstwa. Oczywiście, możliwe jest również wykonywanie części lub całości tych zadań przez gminne zakłady budżetowe, jednak gospodarowanie odpadami komunalnymi zawsze powinno pozostawać w zgodzie z prawidłami ekonomii.

Niezwykle istotnym czynnikiem, który musi koniecznie zostać uwzględniony w planowaniu gminnego systemu gospodarowania odpadami komunalnymi, jest akceptacja lokalnych społeczności. Dotyczy to nie tylko pomyślnego przebiegu postępowania administracyjnego w sprawie ochrony środowiska, prowadzonej z udziałem społeczeństwa na podstawie przepisów o jego ochronie⁴⁾, ale także zapewnienia, że mieszkańcy będą postępowali w sposób zgodny z przyjętymi zasadami gospodarowania odpadami. Nilsson-Djerf i Mc Dougall (2000) stwierdzili, że *jeśli system zarządzania odpadami ma być efektywny, musi być akceptowany przez*

³⁾ Art. 3 pkt 13 ustawy – Prawo ochrony środowiska.

⁴⁾ Dział V tytułu I ustawy – Prawo ochrony środowiska.

społeczeństwo. Joos i inni (1997) sprecyzowali następujące problemy związane z uzyskaniem społecznej akceptacji systemu gospodarowania odpadami komunalnymi:

- lokalizacja instalacji służących do unieszkodliwiania bądź odzysku odpadów w najbliższym sąsiedztwie miejsca zamieszkania,
- wzrastające koszty i opłaty za zagospodarowywanie odpadów,
- obawy o powstanie ryzyka zdrowotnego i ryzyka zniszczenia środowiska w związku z budową instalacji,
- konieczność poświęcenia czasu i wysiłku do selektywnego gromadzenia odpadów.

Wang i Richardson zwrócili uwagę, że system zarządzania odpadami komunalnymi powinien być „społecznie słuszny”. Pojęcie „słuszności społecznej” oznacza możliwie równe rozłożenie korzyści i kosztów zarządzania odpadami między poszczególnymi grupami społecznymi (Wang, Richardson, Roddick 1996).

Trzeba podkreślić, że opisywane trzy aspekty zrównoważonego rozwoju – zasadność ekonomiczna, dopuszczalność ekologiczna i akceptowalność społeczna – nie są wzajemnie zgodne. Innymi słowy, strategia najlepsza dla środowiska nie musi być najtańsza, a ta najbardziej akceptowana społecznie nie musi być odpowiednia pod względem środowiskowym i ekonomicznym. Wydaje się, że w polskich warunkach konieczne jest przede wszystkim zastosowanie wszelkich zachęt (w tym ekonomicznych) i konsekwentne prowadzenie działań w celu pogłębienia świadomości ekologicznej. Tylko w ten sposób można skutecznie skłonić mieszkańców do zachowań odpowiedzialnych, nawet jeśli wymaga to od nich pewnego wysiłku czy poniesienia wyższych kosztów.

Z powyższego wynika, że spełnienie wszystkich podstawowych zasad zrównoważonego rozwoju w gminnych systemach gospodarowania odpadami komunalnymi nie jest łatwym zadaniem. Dodatkowo należy uwzględnić liczne wymogi wynikające z litery prawa oraz zapewnić zgodność z planami gospodarki odpadami wyższego szczebla. Poza tym trudności powoduje znaczne zróżnicowanie składu jakościowego i ilościowego odpadów komunalnych oraz obecność odpadów niebezpiecznych w strumieniu odpadów komunalnych (w przypadku odpadów pochodzących od osób fizycznych).

Wdrażanie systemów gospodarowania odpadami w wielu gminach przychodzi z trudnością. Z badań ankietowych, przeprowadzonych w 2006 roku wśród gmin na terenie województwa śląskiego, można było wyciągnąć wniosek, że o ile same gminne plany gospodarowania odpadami są przygotowywane w sposób poprawny i jest w nich przewidziana realizacja niezbędnych przedsięwzięć, to samo wykonywanie zadań często jest problematyczne. Nie udało się wskazać zadania, które we *wszystkich* ankietowanych gminach byłoby realizowane (Owczarek-Nowak 2006).

Od maja do października 2005 roku Najwyższa Izba Kontroli przeprowadziła kontrolę pn. *Segregacja, odzysk i unieszkodliwianie odpadów komunalnych w gminach ze szczególnym uwzględnieniem odpadów biodegradowalnych*. Kontrola ta, koordynowana przez Delegaturę NIK w Katowicach, dotyczyła dwunastu gmin na terenie siedmiu województw.

W podsumowaniu wyników kontroli stwierdzono, że: Najwyższa Izba Kontroli pozytywnie ocenia, pomimo stwierdzonych nieprawidłowości (...) działania w zakresie ograniczania ilości odpadów składowanych na składowiskach. Należy jednak wziąć pod uwagę, że kontrolę przeprowadzono wyłącznie w gminach, które należały do grupy gmin, w których w poprzednich latach podjęto działania mające na celu ograniczenie ilości odpadów komunalnych składowanych na składowiskach.

NIK zwróciła również uwagę, że w 2004 roku w całym kraju średni udział odpadów komunalnych zagospodarowanych w sposób inny niż składowanie na składowiskach wynosił 5,8%, co znacząco odbiegało od wymagań Unii Europejskiej.

Stwierdzone nieprawidłowości polegały przede wszystkim na małym zaangażowaniu części gmin w organizację selektywnej zbiórki, nieterminowym uchwaleniu gminnych planów gospodarki odpadami i zakłóceniach w realizacji ustalonych w nich zadań, a także na nieeksploatowaniu niektórych instalacji służących do segregacji, odzysku i unieszkodliwiania odpadów komunalnych oraz nieprzestrzeganiu w pełni zasad przetwarzania tych odpadów.

Niepokój musi budzić stwierdzenie sformułowane na podstawie wyników omawianej kontroli: zbyt wolne tempo zmian w gospodarowaniu odpadami komunalnymi w kraju – w zakresie ich selektywnej zbiórki oraz ograniczania składowania odpadów biodegradowalnych – może uniemożliwić realizację wymagań Unii Europejskiej, dotyczących ograniczenia składowania na składowiskach odpadów biodegradowalnych (NIK 2006).

3. PRZEGLĄD OPRACOWANYCH MODELI INFORMATYCZNYCH LOKALNYCH I REGIONALNYCH SYSTEMÓW GOSPODAROWANIA ODPADAMI KOMUNALNYMI

Podczas planowania poszczególnych elementów tego systemu trzeba uwzględniać różne aspekty – prawne, techniczne, ekonomiczne czy społeczne – i przyjmować rozwiązania najkorzystniejsze dla danej gminy. W oczywisty sposób wymaga to zaangażowania osób o zróżnicowanej wiedzy, co w warunkach urzędu gminy nie zawsze jest możliwe.

Warto zaznaczyć, że nawet jeśli w gminie zostanie przyjęta zasada zlecania firmom zewnętrznym maksymalnej liczby zadań związanych z gospodarką odpadami komunalnymi, jest konieczne prowadzenie ciągłego nadzoru i kontroli nad jakością świadczonych usług i wykonywanych zadań, co wymaga od pracowników urzędu gminy odpowiedniej wiedzy merytorycznej (Storm 2005).

Wykorzystywanie narzędzi informatycznych do wspomaganie decyzji podejmowanych podczas tworzenia systemu gospodarki odpadami na szczeblu lokalnym nie jest nowym pomysłem. Pierwsze próby zastosowania komputerów do optymalizacji gospodarowania odpadami pojawiły się w latach siedemdziesiątych zeszłego stulecia. Na początku były to stosunkowo proste narzędzia, służące na przykład do optymalizacji tras transportu odpadów bądź wspomaganie decyzji o lokalizacji instalacji do unieszkodliwiania odpadów. W tym samym czasie zaczęto tworzyć oprogramowanie ułatwiające minimalizację kosztów zagospodarowywania odpadów. W 1973 roku, na

przykład Clark przedstawił model informatyczny służący do planowania regionalnych systemów gospodarowania odpadami, który umożliwił optymalizację kosztów takiego systemu. Koszty stałe (ponoszone niezależnie od stopnia wykorzystania instalacji) modelował techniką dyskretnego (całkowitoliczbowego) programowania liniowego, natomiast koszty zmienne opisał jako liniowo zależne od przepustowości instalacji (Clark 1973).

Podobna technika MILP (z ang. *mixed-integer linear programming*, czyli ciągle i dyskretne programowanie liniowe) została wykorzystana w systemie Kuhnera i Harringtona, który zaprezentowano w 1975 roku. Umożliwił on dynamiczne, wieloetapowe modelowanie inwestowania i został zaprojektowany do zarządzania regionalnym systemem gospodarowania odpadami (Kuhner, Harrington 1975).

Wkrótce liczba narzędzi informatycznych – w tym modułów specjalistycznego oprogramowania – zaczęła wzrastać. Morrissey i Browne dokonali ogólnego przeglądu opracowanych modeli systemów gospodarowania odpadami komunalnymi i zaproponowali ich podział na trzy grupy:

- modele oparte na analizie kosztów i korzyści,
- modele oparte na analizie cyklu życia produktu,
- modele oparte na wielokryterialnej analizie decyzji.

Morrissey i Browne zauważyli, że w żadnym z opisywanych modeli nie uwzględniono kompletnego cyklu zarządzania odpadami, począwszy od zapobiegania powstawaniu odpadów, na unieszkodliwieniu skończywszy. Większość z nich jest stosowana do doskonalenia dotychczasowych technik optymalizacji wielokryterialnej lub do porównywania aspektów środowiskowych poszczególnych opcji zagospodarowywania odpadów. W żadnym z analizowanych modeli nie uwzględniono jednak wszystkich trzech podstaw zrównoważonego gospodarowania odpadami: dopuszczalności ekologicznej, zasadności ekonomicznej i akceptacji społecznej, mimo że twórcy wielu z nich zauważają, że model lub strategia jest wtedy zrównoważona, gdy są uwzględnione aspekty ekonomiczne, ekologiczne i społeczne. Stwierdzone niedoskonałością tych modeli było nieuwzględnienie udziału stron zainteresowanych (ang. *stakeholder*), na przykład przedstawicieli rządu, władz lokalnych, ekspertów i lokalnej społeczności (Morrissey, Browne 2004).

Interesujące podejście do zagadnienia informatycznego modelowania systemu gospodarowania odpadami zaprezentowali w 2002 roku Salvia i inni. Do badań wykorzystali generator modeli o nazwie MARKAL (MARKet ALlocation). Jest to generator modeli oparty na programowaniu liniowym, rozwijany w późnych latach siedemdziesiątych przez konsorcjum 14 państw (komitet IEA). Obecnie MARKAL jest używany w większości państw członkowskich OECD w celu wspomaganie planowania energetyki i ochrony środowiska na szczeblu narodowym i lokalnym (Salvia i inni 2002).

Salvia wraz z współpracownikami wykorzystał generator modeli MARKAL do budowy modelu porównawczego, który miał wskazywać związki między procesami produkcji i technologiami zagospodarowania odpadów, co miało na celu wypracowanie strategii gospodarowania odpadami zgodnymi z zasadami zrównoważonego rozwoju. Nieco inne podejście do omawianego zagadnienia zaproponowali Barlishen

i Baetz (1996). Opracowany przez nich model miał być stosowany podczas wstępnego etapu długoterminowego planowania systemów gospodarowania odpadami komunalnymi na szczeblu lokalnym lub regionalnym. Oprogramowanie to utworzono z wykorzystaniem optymalizacji, symulacji i modelowania. W badaniach zastosowano arkusz kalkulacyjny z bazami danych. Dokonano próby zebrania, zorganizowania i zakodowania pojęć z zakresu zarządzania odpadami, modelowania matematycznego rozwiązań dotyczących przewidywania ilości i składu odpadów, wyboru technologii, projektowania systemów recyklingu i kompostowania odpadów. Miało to na celu zaprojektowanie i przeprowadzenie analizy systemu gospodarowania odpadami.

Barlisen i Baetz zaproponowali podzielenie procedury projektowania systemu gospodarki odpadami na kilka etapów:

- szacowanie ilości i składu odpadów,
- ocena technologii,
- projektowanie systemów segregacji u źródła, kompostowania i recyklingu,
- ocena kosztów instalacji i kosztów operacyjnych,
- lokalizacja instalacji, wymiarowanie, tworzenie harmonogramów i badanie alokacji odpadów,
- symulacja istniejącego lub proponowanego systemu gospodarowania odpadami komunalnymi.

Według Autorów kryterium przyjętym do optymalizacji jest minimalizacja kosztów, a decyzja co do konkretnej technologii jest podejmowana przez użytkownika na podstawie jego własnego doświadczenia i oceny. Zdaniem Barlisen i Baetza czynnikiem, który najbardziej utrudniał implementowanie projektów systemów gospodarowania odpadami komunalnymi była znacząca złożoność procesu planowania takiego systemu.

Wielu autorów próbowało opracowywać informatyczne modele systemu gospodarowania odpadami komunalnymi, wykorzystując technikę oceny cyklu życia produktu.

Ocena cyklu życia produktu (LCA) jest stosowana do badania potencjalnych wpływów (w tym aspektów środowiskowych), wywieranych przez dany produkt podczas całego jego okresu istnienia, począwszy od surowców i energii wykorzystywanych do produkcji, przez użytkowanie aż po unieszkodliwienie odpadów (podejście to jest nazywane „od kołyski po grób”). W przeszłości badania cykli życia produktów polegały na szacowaniu porównawczym produktów, które pełniły podobne funkcje i które mogły się nawzajem zastępować. Obecnie obserwuje się skłonność do stosowania tej techniki do porównywania alternatywnych procesów produkcji czy do porównywania strategii gospodarowania odpadami. LCA jest postrzegana jako metoda właściwa do oceny praktyk związanych ze zrównoważonym zarządzaniem odpadami. Korzystając z tej metody, można zdefiniować działania związane z gospodarowaniem odpadami jako ogólne operacje, które są niezależne od szczególnych cech przetwarzanych odpadów. Operacje te służą do określania badanego systemu i wskazują, które stwierdzone negatywne oddziaływania na środowisko są niezależne od rodzaju odpadu. Rodzaje tego oddziaływania zostały zdefiniowane stosunkowo słabo, choć wymieniono takie zjawiska, jak kwaśne deszcze, ubytki warstwy ozonowej, eutrofiza-

cję, globalne ocieplenie (Barton, Dalley, Patel 1996). Odrębnym sposobem szacowania wpływu na środowisku jest zastosowanie pewnych technik wykorzystywanych przez ekonomistów do „wyceny” wpływu na środowisko. Niedoskonałością modelu opisywanego przez Bartona wydaje się nieuwzględnienie jakichkolwiek wpływów społecznych.

McDougall i inni połączyli pomysł zintegrowanego gospodarowania odpadami z analizą cyklu życia (IWM i LCA), tworząc model nazywany IWM-2 (McDougall i inni 2001). Model ten pozwalał na przeprowadzanie IWM porównań scenariuszy gospodarowania odpadami przez wykorzystanie wyników analizy cyklu życia⁵⁾.

Podobne prace wykonali Beigl i Salhofer (2004), którzy porównali różne systemy gospodarowania odpadami na podstawie oceny cyklu życia oraz wielkości kosztów, badając dane dotyczące ilości odpadów komunalnych wytworzonych, zebranych i przetworzonych na wybranym obszarze w Austrii. Następnie opracowali modele systemów gospodarowania odpadami z uwzględnieniem prowadzenia recyklingu i selektywnego zbierania odpadów oraz modele systemów bez takich działań. Podczas badań cyklu życia szacowano trzy grupy oddziaływań na środowisko: potencjał globalnego ocieplenia, zakwaszanie środowiska i zużycie energii.

Na podstawie otrzymanych wyników wysnuto wniosek, że koszty badanych systemów gospodarowania odpadami nie różnią się znacząco od siebie, natomiast korzyści środowiskowe z zastosowania technik recyklingu i selektywnej zbiórki są znaczne (Beigl, Salhofer 2004).

Łatwo zauważyć, że w modelu Beigla i Salhofera została odzwierciedlona potrzeba ograniczenia negatywnego oddziaływania na środowisko oraz konieczność minimalizacji kosztów zagospodarowania odpadów, jednak nie uwzględniono mechanizmów ułatwiających ocenę akceptacji społecznej zastosowanych rozwiązań technicznych i organizacyjnych. Podobne cechy ma model zaproponowany przez Bovea i Powella (2006), którzy przeanalizowali różne sposoby gospodarowania odpadami komunalnymi na terenie Walencji (wschodnie wybrzeże Hiszpanii). Zidentyfikowane sposoby zostały przeanalizowane z zastosowaniem metody oceny cyklu życia (LCA). Analiza ta polegała na określeniu emisji na poszczególnych etapach gospodarowania odpadami. Emisje te łączono w kategorie wyodrębnione na podstawie oddziaływania na środowisko, a następnie przypisano wagi do poszczególnych danych środowiskowych.

Model Bovea i Powella dotyczył przede wszystkim metod selektywnej zbiórki i segregacji odpadów oraz ich zagospodarowywania – oceniano koszty, odsetek odpadów, które trzeba było składować na składowiskach oraz wpływ tego gospodarowania na środowisko. Także w tym przypadku, mimo nazwania modelu „zrównoważonym”, nie uwzględniono udziału zainteresowanych grup społecznych w procesie oceny poszczególnych sposobów gospodarowania odpadami.

Ciekawym narzędziem informatycznym, zaproponowanym przez Wanga, Richardsona i Roddicka jest SWIM – model komputerowy, który został rozwinięty na podstawie programu MS Excel. Autorzy podkreślili, że SWIM ma interaktywny, przyjazny interfejs użytkownika, niezbędny dla takich narzędzi wspomagania decyzji.

⁵⁾ http://scienceinthebox.com/en_UK/sustainability/solid_waste_management_en.html#five

Model SWIM umożliwia przeprowadzenie podstawowej analizy problemów zarządzania odpadami komunalnymi na szczeblu gminy, w szczególności interakcji zachodzących między czynnikami zawartymi w systemie gospodarowania odpadami. Pozwala także na analizę systemową oddziaływań ekonomicznych i ekologicznych na szczeblu gminy, a przez zawarty w nim moduł mapowy, pozwala na uwzględnianie danych przestrzennych, na przykład w ocenie kosztów zbiórki i transportu odpadów (Wang, Richardson, Roddick 1996).

W tym modelu nie uwzględniono także wpływu zainteresowanych społeczności lokalnych w procesie tworzenia systemu gospodarowania odpadami. Tak jest również w przypadku modelu komputerowego zaproponowanego przez Tanskanena, który miał ułatwić opracowanie strategii pozwalającej na zwiększenie odzysku odpadów komunalnych. Model ten umożliwił zbadanie skuteczności różnych systemów gospodarowania odpadami. W ten sposób Tanskanen stwierdził, że strategia polegająca tylko na segregacji u źródła pozwoliła na osiągnięcie największego (o 66%) wzrostu poziomu odzysku przy wzroście kosztów o 41%. Strategia segregacji u źródła, połączona z wtórnym sortowaniem odpadów, pozwoliła na zwiększenie poziomu odzysku do 74%, przy wzroście kosztów o 30%. W obydwóch przypadkach ogólne pojęte negatywne oddziaływanie na środowisko zostało ograniczone (Tanskanen 2000).

Z dokonanego przeglądu wynika, że projektanci modeli gospodarowania odpadami, choć zdają sobie sprawę z istotności aspektów społecznych we wdrażanym systemie, to jednak nie uwzględniają ich w opracowywanych przez siebie modelach – nawet jeśli określają je słowem *sustainable* (zrównoważony).

Wydaje się, że w przypadku systemów gospodarowania odpadami komunalnymi jest to bardzo poważna wada. Jak już wcześniej podkreślono, w przypadku gospodarowania odpadami komunalnymi osiągnięcie zgodności z obowiązującymi przepisami prawa (na przykład uzyskanie wymaganego ograniczenia składowania odpadów biodegradowalnych na składowisku) jest w szczególności sposób uwarunkowane nie tylko bierną akceptacją, ale wręcz współpracą mieszkańców danej gminy. Joos i inni stwierdzili, że: *programy gospodarowania odpadami, w szczególności techniki zagospodarowania odpadów, które ignorują aspekty społeczne, muszą ponieść klęskę*. Innymi słowy, podczas podejmowania decyzji związanych z gospodarowaniem odpadami komunalnymi konieczne jest uwzględnianie akceptacji społecznej, udziału społeczeństwa w planowaniu i implementacji, zachowań konsumentów i zmian ich systemu wartości. Są one nie mniej ważne niż aspekty techniczne czy ekonomiczne (Joos i inni 1997).

Uwzględnianie aspektów społecznych wiąże się jednak z koniecznością rozwiązywania konfliktów i osiąganiem kompromisów. Obecnie najczęściej jest to uzyskiwane przez arbitralne decyzje urzędnika odpowiedzialnego za postępowanie w danej sprawie. Nowatorskie podejście do osiągania kompromisów zaprezentowali Mig-Lung Hung i inni, proponując wykorzystanie technik informatycznych do określania optymalnego rozwiązania w warunkach sprzecznych interesów stron biorących udział w postępowaniu. W 2007 roku zaprezentowali oni zrównoważony model podejmowania decyzji, integrujący wielokryterialne podejmowanie decyzji (MCDM) i model analizy konsensusu (CAM).

Model analizy konsensusu służy do wspomaganie podejmowania decyzji. Wspomaganie to polega na wielokryterialnym podejmowaniu decyzji za pomocą zwykłych metod. Prezentowane narzędzie ma na celu umożliwienie oceny konsensusu między uczestnikami procesu dla określonych alternatyw.

Autorzy stwierdzili, że zaproponowany model może ułatwić administracji analizę aspektów społecznych, a także rozwiązywanie potencjalnych konfliktów, które mogą powstawać na skutek podjętej decyzji (Mig-Lung, Hwong-wen, Wan-Fa 2007).

Całkowicie odmienne podejście do partycypacji społeczeństwa w rozwiązywaniu problemów gospodarowania odpadami komunalnymi zaprezentowali Tonglet i inni. Zauważyli oni, że skoro najefektywniejszą drogą zmniejszenia ilości odpadów jest minimalizacja ich wytwarzania, to zrozumienie zachowań prowadzących do minimalizacji ilości wytwarzanych odpadów ma podstawowe znaczenie w tworzeniu zrównoważonych systemów gospodarowania odpadami. Ilość wytwarzanych odpadów komunalnych może ulec zmniejszeniu przez konsekwentne, trwające dłuższy czas, badanie zachowań osób w gospodarstwach domowych, wykorzystanie psychologii kognitywnej oraz wykorzystanie starannie zaprojektowanych działań marketingowych. Techniki psychologii kognitywnej pozwalają na zwiększenie skuteczności tych działań przez zidentyfikowanie najważniejszych czynników prowadzących do pożądanego zachowań oraz na wskazanie najbardziej prawdopodobnych czynników powodzenia. Po ustaleniu tych czynników można zaprojektować skuteczne kampanie społeczne (Tonglet, Philips, Bates 2004).

Tonglet podał, że w celu stymulowania zachowań minimalizujących ilości powstających odpadów, warto próbować oddziaływać na ludzi młodszych – przekonywać ich, że zachowania takie nie są czasochłonne ani kłopotliwe, informować co do sposobów takich zachowań (kupowanie przedmiotów trwałych, naprawa, a nie wymiana na nowe, unikanie jednorazówek, wykorzystywanie pewnych przedmiotów wspólnie z innymi) oraz celów takiego postępowania (dążenie do większej świadomości społecznej).

WNIOSKI

Dokonany krótki przegląd zagadnień dotyczących budowania informatycznych modeli systemów gospodarki odpadami pozwala na stwierdzenie, że dotychczas nie opracowano modelu gospodarowania odpadami komunalnymi w gminie, który by w pełni odpowiadał założeniom zrównoważonego rozwoju. Wielu autorów jako jeden z najważniejszych warunków funkcjonowania systemu zagospodarowywania odpadów komunalnych wymienia należyte potraktowanie kwestii społecznych. W publikacjach zostały wyszczególnione także najważniejsze przyczyny, dla których osiągnięcie akceptacji i współdziałania społeczności lokalnych w tworzeniu systemu gospodarowania odpadami komunalnymi jest problematyczne.

W wielu przypadkach udało się utworzyć interesujące narzędzia wspomaganie decyzji, w których uwzględniono zarówno kwestie oddziaływania na środowisko, jak i kwestie ponoszonych kosztów. Część z tych narzędzi dotyczyła pewnego wycinka zagadnień technicznych, inne służyły do ogólnego, wieloletniego planowania inwestycji w regionie.

Z kolei narzędzia informatyczne, w których zostały uwzględnione kwestie społeczne, nie pozwalały na dopracowanie pozostałych aspektów systemu gospodarowania odpadami. Przedstawiony model analizy konsensusu CAM (Mig-Lung, Hwong-wen, Wan-Fa 2007) jest interesującą propozycją rozwiązywania wszelkich problemów środowiskowych, w przypadku których jest wymagane osiągnięcie kompromisu między sprzecznymi interesami poszczególnych uczestników procesu. Nie pozwala on jednak na ocenę wypracowanego rozwiązania pod kątem oddziaływania na środowisko czy efektywności ekonomicznej.

Równoczesne ujmowanie trzech aspektów jest warunkiem uzyskania zrównoważonego systemu gospodarowania odpadami, a tylko taki system ma szansę funkcjonowania i uzyskania możliwie pełnej zgodności z obowiązującymi przepisami prawa. Ze względu na złożoność tego zagadnienia, dużym ułatwieniem dla pracowników urzędów gmin, do których obowiązków należy nadzór nad gminnym systemem gospodarki odpadami, byłby model komputerowy – narzędzie informatyczne, charakteryzujący się przyjaznym interfejsem użytkownika i możliwie łatwym sposobem użytkowania. Najważniejszą funkcją takiego narzędzia byłoby jednakże uwzględnienie wszystkich trzech czynników – ekologicznego, ekonomicznego i społecznego – podczas budowy systemu gospodarowania odpadami komunalnymi.

Literatura

1. Barlishen K.D., Baetz B.W. (1996): *Development of a decision support system for municipal solid waste management systems planning*. Waste Management & Research 14, s. 71–86.
2. Barton J.R., Dalley D., Patel V.S. (1996): *Life Cycle Assessment for waste management*. Waste Management. Vol. 16, No. 1–3, s. 35–50.
3. Beigl P., Salhofer S. (2004): *Comparison of ecological effects and costs of communal waste management systems*. Resources, Conservation and Recycling 41, s. 83–102.
4. Bovea M.D., Powell J.C. (2006): *Alternative scenarios to meet the demands of sustainable waste management*. Journal of Environmental Management 79, s. 115–132.
5. Clark R.M. (1973): *Solid waste: management and models*. W: Models for Environmental Pollution Control (R.A. Deininger, ed.). Michigan, U.S.A., Ann Arbor Science Publishers Inc., s. 269–305.
6. Dubel K. (1998): *Uwarunkowania przyrodnicze w planowaniu przestrzennym*. Białystok, Wydaw. Ekonomia i Środowisko.
7. Górski M. (2005): *Gospodarowanie odpadami w świetle wymagań prawa wspólnotowego i polskiego prawa wewnętrznego*. Poznań, Wydaw. FUTURA.
8. Joos W., Carabias V., Winistoerfer H., Stuechili A. (1999): *Social aspects of public waste management in Switzerland*. Waste Management 19, s. 417–425.
9. Kuhner J., Harrington J.J. (1975): *Mathematical models for developing regional solid waste management policies*. Engineering Optimization 1, s. 237–256.
10. McDougall F., White P., Franke M., Hindle P. (2001): *Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory*. London, Blackwell Science.
11. Mig-Lung Hung, Hwong-wen Ma, Wan-Fa Yang (2007): *A novel sustainable decision making model for municipal solid waste management*. Waste Management 27, s. 207–219.
12. Morrissey A.J., Browne J. (2004): *Waste management models and their application to sustainable waste management*. Waste Management 24, s. 297–308.

13. Najwyższa Izba Kontroli – Delegatura w Katowicach (2006): *Informacja o wynikach kontroli „Segregacja, odzysk i unieszkodliwianie odpadów komunalnych w gminach ze szczególnym uwzględnieniem odpadów biodegradowalnych”*. Katowice, NIK.
14. Nilsson-Djerf J., McDougall F. (2000): *Social factors in sustainable waste management*. Warmer Bulletin 73, s. 18–20.
15. Owczarek-Nowak E. (2006): *Analiza funkcjonowania gminnych systemów gospodarowania odpadami komunalnymi w województwie śląskim – teoria a praktyka*. Prace Naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko nr 3, s. 67–78.
16. Roy B. (1990): *Wielokryterialne wspomaganie decyzji*. Warszawa, WNT.
17. Salvia M., Cosmi C., Macchiato M., Mangiamele L. (2002): *Waste management system optimisation for Southern Italy with MARKAL model*. Resources, Conservation and Recycling 34, s. 91–106.
18. Storm J. (2005): *Polityka gospodarki odpadami w gminach – praktyczne aspekty zarządzania*. Materiały z seminarium „Optymalizacja instrumentów zarządzania gospodarką odpadami komunalnymi w Polsce”. Warszawa, Ministerstwo Środowiska.
19. Tanskanen J.-H. (2000): *Strategic planning of municipal solid waste management*. Resources, Conservation and Recycling 30, s. 111–133.
20. Tonglet M., Philips P.S., Bates M.P. (2004): *Determining the drivers for householder pro-environmental behaviour: waste minimisation compared to recycling*. Resources, Conservation and Recycling 42, s. 27–48.
21. Ustawa z dnia 13 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (tekst jednolity – Dz.U. z 2005 r. Nr 236, poz. 2008 z późniejszymi zmianami).
22. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (tekst jednolity – Dz.U. z 2006 r. Nr 129, poz. 902 z późniejszymi zmianami).
23. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (tekst jednolity – Dz.U. z 2007 r. Nr 39, poz. 251).
24. Ustawa z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym (tekst jednolity – Dz.U. z 2001 r. Nr 142, poz. 1591 z późniejszymi zmianami).
25. Wang F.S., Richardson A.J., Roddick F.A. (1996): *Swim – a computer model for solid waste integrated management*. Computers, Environment and Urban Systems Vol. 20 No. 4/5, s. 233–246.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Barbara Białecka