

Paweł Hanczar, Katarzyna Michniewska  
Akademia Ekonomiczna we Wrocławiu<sup>1</sup>

## Modelowanie sieci selektywnej zbiórki odpadów w aglomeracji miejskiej

Istotny udział kosztów logistycznych, dotyczących zwrotu produktów oraz opakowań po tych produktach, w kosztach działalności przedsiębiorstw ogółem powoduje, że coraz więcej uwagi przedsiębiorstwa te przywiązują do zagadnień tzw. logistyki odzysku (reverse logistics<sup>2</sup>). Podstawowym bodźcem dla przedsiębiorstw są rygorystyczne przepisy w zakresie ochrony środowiska, nakładające na nie odpowiedzialność za wprowadzane na rynek opakowania, z których powstają odpady. Jednym ze szczególnych elementów w ramach zagadnień gospodarki odpadami jest selektywna zbiórka odpadów opakowaniowych u źródła, które powstają w wyniku konsumpcji produktów i usług przez konsumenta, czyli ostatnie ogniwo łańcucha dostaw. Rozproszenie oraz zmieszanie tych odpadów, jak również znaczne zróżnicowanie stopnia ich użyteczności powodują, że ich zbiórka oraz przygotowanie do przetworzenia w ramach procesu recyklingu stanowią szczególne wyzwanie logistyczne. Elementem procesów logistyki odzysku, który poddany będzie modelowaniu w ramach niniejszego artykułu, jest opracowanie sieci selektywnej zbiórki odpadów opakowaniowych w dużym mieście.

### Potrzeba zagospodarowania odpadów komunalnych

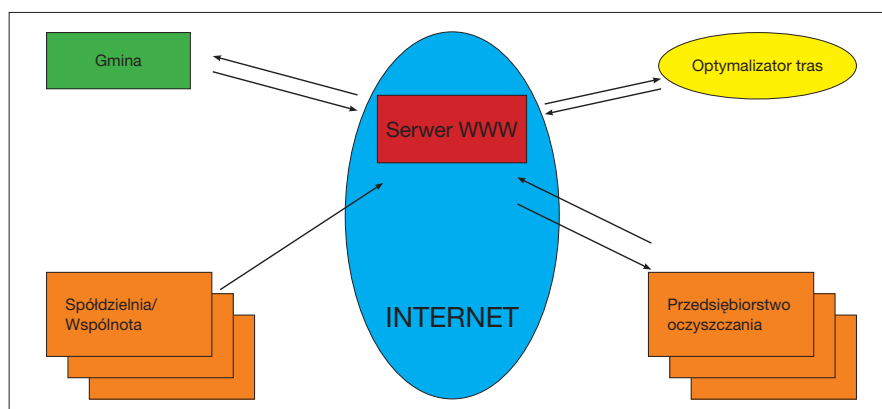
Polska uznawana jest za jeden z krajów europejskich o najniższym stosunku masy odpadów opakowaniowych na 1 mieszkańca, co wskazuje, że masa generowanych odpadów, wraz ze wzrostem zamożności, będzie się zwiększała. Mimo istniejących w tym zakresie wytycznych dyrekty-

wy UE, w chwili obecnej w Polsce selektywnie zbieranych i przekazywanych do recyklingu jest jedynie około 3% ze strumienia około 13,5 mln ton stałych odpadów komunalnych<sup>3</sup>. Pozostała część odpadów przetwarzanych w zakładach recyklingowych, to odpady pochodzące z tzw. źródeł skoncetrowanych, czyli ogniw łańcucha dostaw takich, jak sieci handlowe, centra dystrybucyjne, zakłady produkcyjne, itp. Te proporcje powodują, iż mając na względzie rosnące wymagania Unii Europejskiej wobec redukcji masy zanieczyszczeń emitowanych do środowiska naturalnego, a w szczególności masy odpadów kierowanych na wysypiska odpadów, należy spodziewać się istotnych zmian w tych obszarach. Nie bez znaczenia jest ogrom niewykorzystanego potencjału ekonomicznego, jaki zawarty jest w odpadach. Dodatkowym motorem zmian w tym zakresie są modyfikacje w przepisach prawa, dotyczące utrzymania czystości i porządku w gminach (ustawa z dnia 13 września 1996 r, Dz. U. z 1996, Nr 132, poz. 622 z późniejszymi zmianami), które wyraźnie podkreślają i nadają charakter obligatoryjny obowiązkom gminy w zakresie zapewnienia syste-

mu zbiórki i odzysku, a w szczególności recyklingu odpadów opakowaniowych, powstających na jej terenie.

### Konieczność koordynacji działań w recyklingu

W obliczu ciągłych i licznych przemian, jakie mają miejsce w Polsce w sektorze recyklingu, widocznie zarysowuje się potrzeba uporządkowania czynności podjętych w tym zakresie przez różnorodne podmioty, zajmujące się odzyskiem i recyklingiem. Jednym z podstawowych elementów, który należy wprowadzić w obszarze działań związanych z zagospodarowaniem powstających w Polsce odpadów opakowaniowych, jest koordynacja działań związanych z operacjami na tychże odpadach. Koordynacja ta dotyczy przepływów następujących materii: strumieni odpadów opakowaniowych, informacji, w tym także dokumentów, związanych z tymi odpadami oraz środków pieniężnych powiązanych ściśle z fizycznymi przepływami surowców wtórnych. Kluczowe znaczenie ma jednak potrzeba koordynacji działań dla zapewnienia ciągłości strumienia dostaw surowców

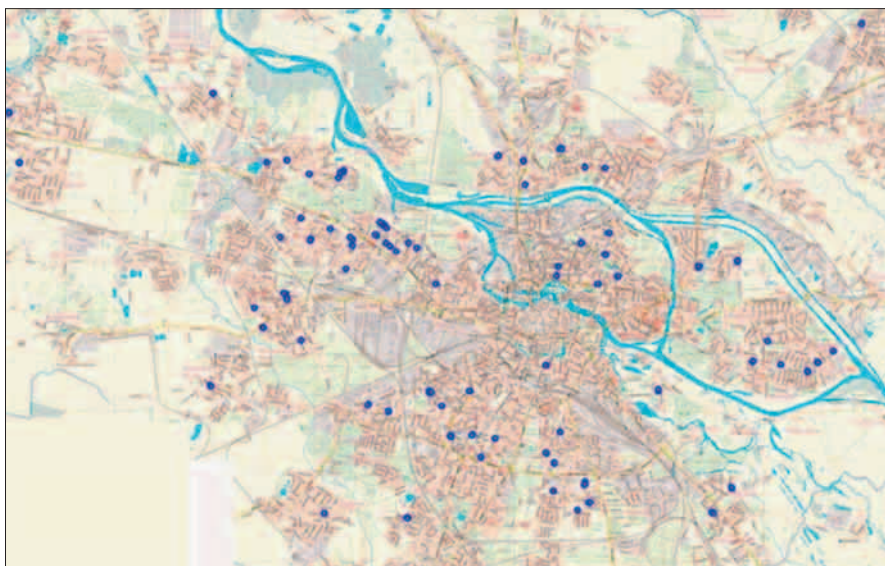


Rys. 1. Schemat działania systemu kontroli selektywnej zbiórki odpadów.  
Źródło: Opracowanie własne.

<sup>1</sup> Katedra Logistyki, Akademia Ekonomiczna we Wrocławiu (przyp. red.).

<sup>2</sup> Dale S. Roberts, Ronald S. Tibben-Lembke, Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices, University of Nevada, 1998.

<sup>3</sup> Praca pod redakcją prof. dr. hab. Bazylego Poskrobko, Analiza kosztów selektywnej zbiórki odpadów, odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych w kontekście stawek opłat produktowych i opłat recyklingowych z uwzględnieniem zmian dyrektywy opakowaniowej, Białystok 2005, www.fundacjaekonomistow.org.pl (2005-08-31).



Rys. 2. Rozmieszczenie pojemników do selektywnej zbiórki odpadów na terenie Wrocławia.  
Źródło: Opracowanie własne.

wtórnych do procesu ponownego przetwórstwa. Dostawy te pochodzą z dwóch podstawowych źródeł:

- skoncentrowanych (surowce dostępne w ramach łańcucha dostaw)
- rozproszonych (selektywna zbiórka odpadów).

W przypadku źródła rozproszonego, istotne znaczenie ma zapewnienie odpowiedniej lokalizacji i rozmieszczenia pojemników do selektywnej zbiórki odpadów. Badanie ankietowe<sup>4</sup> dotyczące selektywnej zbiórki odpadów opakowaniowych, przeprowadzone w I kwartale 2003 r. wskazuje, iż jednym z podstawowych elementów, utrudniających sprawne funkcjonowanie systemu zbiórki odpadów z gospodarstw domowych, jest nieprawidłowa lokalizacja pojemników do selektywnej zbiórki, tzw. gniazd. Dodatkowo, nieodpowiednia częstotliwość opróżnień pojemników skutkująca ich przepełnieniem powoduje, że mieszkańcy niechętnie sortują odpady, a nawet – w skrajnych przypadkach – żądają usunięcia pojemników do selektywnej zbiórki.

Problem wadliwej lokalizacji pojemników do selektywnej zbiórki to jeden z najważniejszych mankamentów funkcjonowania systemów zbiórki w aglomeracjach miejskich. Z tego względu dokonano próby opracowania narzędzi, które umożliwią podniesienie efektywności selektywnej zbiórki odpadów. Rozważania dotyczą zarówno zastosowania algorytmów

optymalizacyjnych do wyznaczania tras pojazdów, jak również wykorzystania Internetu dla lepszej koordynacji zarówno przepływów strumieni samych odpadów (zgromadzenie odpowiedniego rodzaju odpadów i skierowanie ich do właściwego zakładu recyklingowego), jak i poprawy przepływu informacji na temat zgromadzonych i gotowych do odbioru surowców wtórnych (informacje na temat poziomu zapełnienia oraz częstotliwości opróżniania pojemników).

### System komputerowy wspomagający selektywną zbiórkę

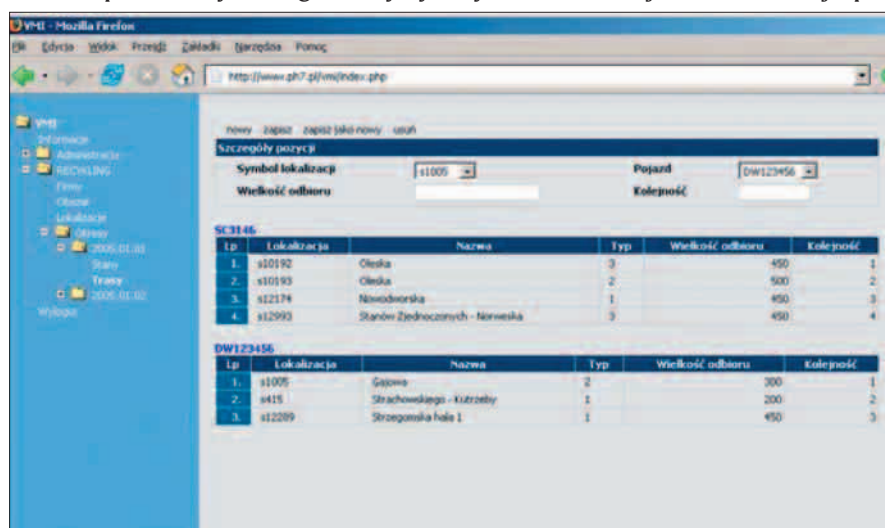
W celu realizacji powyższych zadań został opracowany zintegrowany sy-

stem komputerowy, działający za pośrednictwem Internetu. System składa się z trzech modułów.

Pierwszy z nich to moduł administracji, przy pomocy którego zarządzający systemem (np. gmina) wprowadza do niego lokalizacje pojemników do selektywnej zbiórki, ich typy, a także przewidywany dzienny poziom napełnienia. Na tym etapie bardzo istotną dla opisywanej funkcjonalności informacją jest przypisanie pojemnika do firmy odpowiedzialnej za jego opróżnianie.

Drugi moduł to część systemu przeznaczona dla firm oczyszczających. Pozwala on na kontrolę, które pojemniki powinny zostać opróżnione. Na jednym obszarze dopuszcza się działanie wielu firm oczyszczających, a przydział pojemników dokonany w części administracyjnej powoduje, że każda z firm może analizować pojemniki przydzielone wyłącznie do niej. Kolejną funkcją tego modułu jest planowanie i optymalizacja tras odbioru odpadów. System w sposób interaktywny układa trasy, uwzględniając takie czynniki, jak: typ odbieranego odpadu czy poziom wypełnienia pojemników. Realizacja zaplanowanej trasy powoduje, że poziom napełnienia opróżnionych pojemników jest aktualizowany. Dodatkowo system w tej części daje możliwość zmiany dziennego poziomu napełnienia.

Moduł trzeci, ostatni, to moduł informacyjny, przeznaczony dla osób lub instytucji (np. spółdzielnia), których zadaniem jest aktualizacja po-



Rys. 3. Planowanie tras odbiorów odpadów. Źródło: Opracowanie własne.

<sup>4</sup> Katarzyna Michniewska, *Lecą śmiecie w pięciolecie*, Rzeczpospolita, 30 czerwca 2003, strona 1 dodatku *Człowiek i ekologia*.

Id	Symbol	Nazwa	Typ	Stan początkowy	Prognostyka P.1	Prognostyka P.2	Prognostyka P.3	
1	11005	Główna	2	542 120.40	6	500	500	519
2	10905	Główna	1	27 7.40	44	500	125	189
3	10906	Główna	3	542 120.40	36	500	614	690
4	10930	Główna	3	518 103.60	52	500	622	674
5	10932	Główna	1	253 50.60	26	279	305	331
6	10943	Główna	2	224 44.80	38	262	300	330
7	113011	Grabszyńska	1	322 64.40	21	143	364	385
8	113012	Grabszyńska	2	309 61.80	49	350	407	456
9	17310	Główna	2	309 61.80	50	364	419	474
10	17302	Główna	1	514 102.80	26	500	566	610
11	17301	Główna	1	407 81.40	9	444	485	514
12	17302	Główna	3	502 100.40	4	500	490	494
13	17403	Główna	2	543 108.60	17	500	577	611
14	17406	Główna	3	362 72.40	20	352	402	442
15	1951	Główna-Rosiewskiego	1	58 11.60	49	107	156	205
16	1952	Główna-Rosiewskiego	2	540 108.00	12	500	544	576
17	1953	Główna-Rosiewskiego	3	170 34.00	27	197	229	270
18	110057	Harbaczewskiego	1	323 64.60	20	351	379	407
19	10950	Harbaczewskiego	2	236 47.20	24	180	204	232
20	10949	Na ostatnim grocie	2	461 92.20	50	500	571	626
21	110050	Na ostatnim grocie	1	363 72.60	26	389	425	467
22	110051	Na ostatnim grocie	3	70 14.00	26	106	142	176
23	11217	Nowodworska	2	491 98.20	28	430	517	600
24	112174	Nowodworska	1	340 68.00	49	389	430	467
25	110147	Nowowiejska	2	467 93.40	25	432	467	500
26	10944	Nowowiejska	1	510 102.00	51	500	612	663

Rys. 4. Zarządzanie pojemnikami. Źródło: Opracowanie własne.

ziomu napełniania oraz wprowadzanie istotnych informacji, co do sposobu i czasu odbioru zawartości pojemników przez firmy oczyszczające. Szybkość napełniania pojemników do selektywnej zbiórki często ulega zmianie. Moduł ten ma zapobiec ewentualnemu przepełnieniu się pojemników na skutek przyjęcia zbyt małego dziennego poziomu napełniania. Schemat działania systemu zawiera rys. 1.

Zastosowanie metod optymalizacji w opisanym przypadku wymaga w pierwszej kolejności opracowania modelu sieci transportowej obszaru, na którym jest realizowana zwózka odpadów. Punktem wyjścia podczas tworzenia modelu sieci dystrybucji była mapa Wrocławia. Następnie, poprzez skanowanie, została ona przetworzona do postaci pliku graficznego o wymiarach 7 200 x 5 247 punktów. W czasie pracy z systemem mapa ta jest układem odniesienia przy wyznaczaniu położenia odbiorców. W przygotowanym układzie dla każdego pojemnika zostaje określona jego lokalizacja na mapie. Następnie położenie każdego pojemnika jest określane przez współrzędne punktu odpowiadającego jego lokalizacji na mapie. Lokalizacja 267 pojemników selektywnej zbiórki została zaprezentowana na rys. 2.

Podstawowym zadaniem projektowanego systemu jest przekazywanie

do firm oczyszczania informacji na temat poziomu napełnienia pojemnika. Na podstawie zadanego dziennego poziomu napełnienia oraz informacji o dacie ostatniego opróżnienia pojemnika, na każdy dzień będzie wyznaczony przewidywany poziom napełnienia. Dopuszcza się także modyfikację dziennego poziomu napełnienia. System automatycznie, na podstawie informacji o bieżącym poziomie napełnienia (wprowadzanych przez pracowników firm oczyszczających, a także przez pracowników spółdzielni, na terenie których są zlokalizowane pojemniki bądź z wykorzystaniem transponderów, gdzie zapisywana będzie automatycznie waga zgromadzonych odpadów), będzie aktualizował przewidywane tempo napełnienia pojemników.

Drugim istotnym zadaniem, które ma być realizowane w ramach funkcji systemu, będzie planowanie tras odbioru odpadów. W tym celu wykorzystane zostaną metody badań operacyjnych rozwiązywania problemów wyznaczania tras pojazdów (ang. *vehicle routing problem*), a także problemów wyznaczania tras przepływu zapasów (ang. *inventory routing problem*).

### Korzyści dla firm komunalnych

Wymierne korzyści, jakie mogłyby dać wykorzystanie prezentowanego systemu, w praktyce dotyczą nie tyl-

ko sprawnego przepływu strumienia odpadów, ale również podwyższenia użyteczności tego strumienia, poprzez sprawną koordynację przepływu informacji m.in. także na temat jego struktury. Wyraźnie widać, iż zarówno informacja na temat odpadów przekazywana w czasie rzeczywistym ich odbiorcom – recyklerom, jak również możliwość przekazania informacji zwrotnej na temat sfery preparacji tego strumienia, mają ogromny wpływ na efektywne wykorzystanie tych surowców wtórnych. Element sprawnego zarządzania odbiorem zgromadzonych odpadów działa w sposób motywacyjny na mieszkańców, którzy chętniej i z większą starannością angażują się w prezentowany proces.

Do podstawowych korzyści dla operatorów, odpowiedzialnych za gospodarkę odpadami na danym terenie, należy zaliczyć oszczędność kosztów związanych z przebiegiem tras odbioru odpadów (automatyczne wyznaczanie na podstawie danych na temat zebranych odpadów w czasie rzeczywistym). Przykłady planowania tras odbioru prezentuje rys. 3.

Możliwości użycia zaprezentowanego systemu w praktyce nie ograniczają się tylko do zbiórki odpadów w aglomeracjach miejskich. Należy wskazać na możliwość zastosowania takich rozwiązań do poprawy efektywności zbiórki odpadów realizowanych przez recyklerów, którzy często ze względu na znaczne koszty oraz trudne do przewidywania wielkości powstawania odpadów, rezygnują z podjęcia aktywnych działań ich pozyskania.

#### LITERATURA:

1. Dale S. Roberts, Ronald S. Tibben-Lembke, *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*, University of Nevada, 1998.
2. Katarzyna Michniewska, *Leć śmiecie w pięciolecie*, Rzeczpospolita, 30 czerwca 2003, strona 1 dodatku Człowiek i ekologia.
3. Praca pod redakcją prof. dr hab. Bazylego Poskrobko, *Analiza kosztów selektywnej zbiórki odpadów, odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych w kontekście stawek opłat produktowych i opłat recyklingowych z uwzględnieniem zmian dyrektywy opakowaniowej*, Białystok 2005, [www.fundacjaekonomistow.org.pl](http://www.fundacjaekonomistow.org.pl).