



## WYBRANE METODY OPTIMALIZACJI SYSTEMU TRANSPORTU ODPADÓW KOMUNALNYCH W KATOWICACH

Ewa Płaczek, Jacek Szołtysek

Akademia Ekonomiczna w Katowicach, Katowice, Polska

**STRESZCZENIE.** Jednym z istotnych problemów funkcjonowania skupisk ludzkich, stwarzającym szereg niedogodności i zagrożeń, jest gospodarowanie odpadami. Stąd ten obszar stanowi przedmiot zainteresowania wielu specjalistów, wśród których znajdujemy logistyków. Usprawnianie gospodarowania odpadami polega nie tylko zaprojektowaniu przepływów odpadów, lecz również na stosowaniu aparatu matematycznego do optymalizowania elementów projektowanych procesów logistycznych.

**Słowa kluczowe:** logistyka miejska, logistyka odwrotna, gospodarowanie odpadami, metody optymalizacji.

## LOGISTYKA W GOSPODAROWANIU ODPADAMI W MIEŚCIE

Wraz z założeniem, że obszary wysoce zurbanizowane, czyli miasta i aglomeracje miejskie mogą być traktowane jak systemy logistyczne pojawiło się przekonanie, że możliwa jest racjonalizacja przepływów w obrębach tych systemów oraz że w odniesieniu do tych obszarów mogą być stosowane zasady filozofii logistyki. Specyficzny rodzaj podmiotu działań logistycznych spowodował, że w teorii i w praktyce pojawiło się nowe pojęcie logistyki miejskiej, zdefiniowanej jako ogół procesów zarządzania przepływami osób, ładunków i informacji wewnątrz systemu logistycznego miasta, zgodnie z potrzebami i celami rozwojowymi miasta z poszanowaniem ochrony środowiska naturalnego, uwzględniając, że miasto jest organizacją społeczną, której nadrzędnym celem jest zaspokajanie potrzeb swoich użytkowników [Szołtysek J., 2005].

Jednym z istotnych problemów funkcjonowania skupisk ludzkich (a do takich należą miasta), stwarzającym szereg niedogodności i zagrożeń, jest gospodarowanie odpadami (odpady to wszystkie niespożytkowane produkty (dobra fizyczne) pochodzące z bytowej i gospodarczej działalności człowieka. Ich charakter i wielkość zależą przede wszystkim od poziomu życia ludności, konsumpcji dóbr materialnych, dostępności surowców i technologii produkcji oraz postępu technicznego i świadomości ekologicznej. Każdy niezagospodarowany i niemający określonego przeznaczenia produkt (surowiec, materiał, produkt finalny) nabywa właściwości odpadu, natomiast każdy odpad staje się surowcem wtórnym z chwilą jego zagospodarowania). Obejmuje ono zbieranie i magazynowanie, transport, odzysk i unieszkodliwienie, jak również nadzór nad tymi działaniami oraz miejscami unieszkodliwiania odpadów. Gospodarka odpadami na terenie miasta polega przede wszystkim na odbiorze przez specjalistyczne firmy wywozowe odpadów komunalnych

niesegregowanych (zmieszanych). W Polsce w całokształcie kosztów systemu zbierania i unieszkodliwiania odpadów ponad 70% stanowią zbiórka i transport do miejsc składowania [Tyc-Szmił K., 2003]. Gospodarka odpadami została włączona do logistyki miejskiej i wraz ze wzrastającą ilością odpadów, produktów ubocznych i nieprzydatnych już artykułów konsumpcyjnych (i ich opakowań) po okresie ich użytkowania, generowaną przez aglomeracje miejskie staje się problemem wymagającym coraz większej uwagi. Integracja procesów związanych z usuwaniem odpadów w procesie zarządzania logistycznym miastem może być źródłem znacznych usprawnień.

## MIASTO KATOWICE WOBEC GOSPODARKI ODPADAMI KOMUNALNYMI

Katowice są miastem położonym w południowej części Wyżyny Śląskiej, na płaskowyżu Bytomsko-Katowickim, nad rzekami Rawą i Kłodnicą i równocześnie są stolicą Górnego Śląska. Katowice uzyskały prawa miejskie we wrześniu 1865 r. w okresie gwałtownego rozwoju przemysłu górniczo-hutniczego. Są miastem wysoko uprzemysłowionym, co wynikać może choćby z jego położenia - na Górnym Śląsku, gdzie od początku rozwijał się przemysł.

Miasto to liczy ok. 321 tys. mieszkańców (stan na 2005 roku - [www.um.katowice.pl](http://www.um.katowice.pl)), co stanowi ok. 6,8 % ludności województwa śląskiego i zajmuje obszar 164,5 km<sup>2</sup>. W 2005 każdy mieszkaniec Katowic wytworzył ok. 370 kg odpadów komunalnych. Zbieraniem i odbiorem tych odpadów, na terenie miasta Katowice w 2005 r., zajmowało się w sumie 17 firm, w tym jedno przedsiębiorstwo komunalne - MPGK Katowice Sp. z o.o., będące własnością miasta Katowice. Zorganizowanym systemem zbiórki zmieszanych odpadów komunalnych, objęta została cała ilość mieszkańców Katowic (100%). Natomiast selektywną zbiórką odpadów został objęty prawie cały teren miasta, z wyjątkiem dzielnic: Zarzecze i Podlesie (Plan Gospodarki Odpadami dla miasta Katowice, dane na rok 2003). Ilość odpadów komunalnych zebranych w 2003 i 2005 roku w Katowicach prezentuje tab.1.

Tabela 1. Ilość odpadów komunalnych zebranych na terenie miasta Katowice w 2003 i 2005 r  
Table 1. Amount of municipal wastes collected on the area of Katowice city in 2003 and 2005

Rok	Odpady komunalne stałe	
	Ogółem w tys. ton	Na 1 mieszkańca w kg
2003	120	377,4
2005	120	374,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Wydziału Gospodarki Komunalnej w Katowicach

System gospodarowania odpadami na terenie Katowic jest następujący: Zebrane z obszaru Katowic przez firmę MPGK odpady komunalne trafiają do następujących jednostek: składowiska, sortowni i kompostowni. Najprostszym, a zarazem najtańszym sposobem utylizacji odpadów byłoby ich składowanie, lecz wymogi ekologiczne i prawne nie pozwalają na to. Art. 7 ust. 3 Ustawy o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 roku wyraźnie określa, że "(...)odpady, których nie udało się poddać odzyskowi, powinny być tak unieszkodliwiane, aby składowane były wyłącznie te odpady, których unieszkodliwienie w inny sposób było niemożliwe z przyczyn technologicznych lub nieuzasadnione z przyczyn ekologicznych lub ekonomicznych". Dlatego też zmieszane odpady trafiają do kompostowni w miarę jej możliwości przerobowej. Wydzielone w tym procesie odpady positowe trafiają po części do spalarni odpadów i na składowisko, natomiast ferromagnetyki wraz z kompostem

- na rynek surowców wtórnych. Z kolei odpady zebrane w procesie selektywnej zbiórki trafiają do sortowni, gdzie są poddawane szczegółowej segregacji, w której oddzielone zanieczyszczenia trafiają na składowisko, a wydzielone "czyste" surowce wtórne są sprzedawane klientom sortowni. Istotnym elementem tego systemu są procesy transportu i składowania, które - zgodnie z założeniem - należy poddać próbie usprawnienia.

## **ZAŁOŻENIA DO OPTIMALIZACJI SYSTEMU TRANSPORTU Z WYKORZYSTANIEM APARATU MATEMATYCZNEGO**

Poprzez optymalizację możemy wyznaczyć najlepsze rozwiązanie ze względu na przyjęte przez nas kryterium (np. koszt, zysk) spośród dopuszczalnych rozwiązań danego problemu przyjmując, że działanie jest racjonalne wówczas, gdy przy danych nakładach następuje maksymalizacja efektu lub, gdy przy założonym efekcie minimalizuje się nakłady. Programowanie pozwala wyrazić cel działania w postaci funkcji matematycznej jednej lub wielu zmiennych i wyznaczyć taką wielkość tych zmiennych, przy których funkcja osiąga - w zależności od potrzeb - maksimum lub minimum. Natomiast badaniem metod optymalizacji zajmuje się teoria optymalizacji. Optymalizacja jest często nazywana programowaniem gospodarczym, lub też badaniami operacyjnymi, które do podejmowania optymalnych decyzji wykorzystują metody matematyczne. Badania te znajdują zastosowanie w sytuacjach, gdy cel działania i środki służące do jego realizacji dają się ująć w sposób ilościowy.

Analizując metody usprawnienia transportu będziemy mówić o optymalizacji transportu, skupiając się na rozwiązywaniu problemów dotyczących wytyczania najkrótszej, najszybszej lub najtańszej trasy, a także wyznaczając kolejność odwiedzanych obiektów, tras wielodniowych uwzględniając bieżące remonty dróg, istniejące objazdy czy inne utrudnienia.

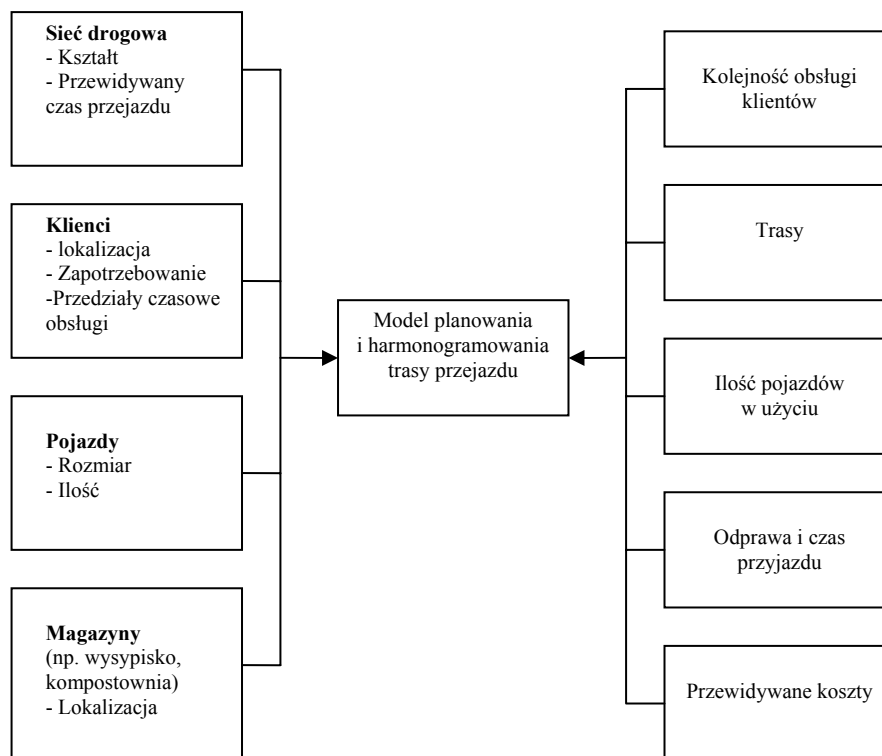
### **ZAGADNIENIE 1**

Planowanie tras przejazdu pojazdów zbierających odpady jest jednym z najpoważniejszych rozwiązań o charakterze logistycznym, który pozwoliłby na ograniczenie kosztów zbierania i transportu odpadów do miejsc ich przeznaczenia, gdyż w polskich warunkach mogą one sięgać nawet 70% wszystkich kosztów systemu zbierania i unieszkodliwiania odpadów [Sołtysik M., 2000].

Przy planowaniu tras przejazdu należy zwrócić uwagę na takie elementy jak:

- częstotliwość obsługi składowiska odpadów,
- zatłoczenie tras,
- ograniczeń możliwości pojemności i wjazdu pojazdów ciężarowych,
- minimalizację negatywnego oddziaływania na środowisko,
- sprawną obsługę miasta przy minimalnych kosztach obsługi miasta.

Zasady planowania tras przejazdów przedstawia rys. nr 1. Planowanie to uwzględnia przepustowość i stan infrastruktury transportowej, jak również czasy preferowanych odbiorów. Może być ono zorientowane na czas obsługi bądź też na jego koszt.



Źródło: Szoltysek J., 2005 r., Hamada, et al, 2004.

Rys. 1. Planowanie trasy przejazdu pojazdów ciężarowych  
Fig. 1. Planning of trucks' routes

Kolejnym ze sposobów służących do wyznaczenia optymalnych tras przewozu jest zagadnienie zwane problemem "komiwojażera". W tym przypadku uproszczony opis tego problemu przedstawia się następująco: pojazd wyjeżdża z bazy w stanie próżnym i jego zadaniem jest obsłużyć pewną liczbę klientów, od których odbiera pewne ilości odpadów, aż do pełnego wykorzystania swojej ładowności, po czym wraca do bazy. Im szybciej pokona wyznaczoną drogę tym lepiej. Zatem rozwiązaniem będzie znalezienie najkrótszego cyklu przechodzącego przez wszystkie wyznaczone punkty. W przypadku optymalizowania tras transportu, dla pojazdów zbierających odpady komunalne, za zmienne można przyjąć odległość pomiędzy poszczególnymi pojemnikami lub ulicami, czas przejazdu pomiędzy określonymi miejscami czy też jego koszt (iloczyn odległości i kosztu paliwa). Rozwiązanie tego ostatniego przypadku pomoże nam wyznaczyć minimalny całkowity koszt transportu. Finalnie możemy, więc wyznaczyć trasę najkrótszą, najszybszą albo najtańszą. Nie jest to jednak takie łatwe przy tylu zmiennych. Dla przykładu 1 brygada bezpylna MPGK Katowice w ciągu jednego dnia musi przejechać przez ok. 30 ulic i zebrać odpady z ponad 200 pojemników. Natomiast przeszukując wszystkie możliwości i biorąc pod uwagę tylko ulice w tym przypadku, otrzymalibyśmy  $(n-1)!$ , czyli w tym konkretnym przypadku wynosi 29! możliwych rozwiązań, co daje nam w zaokrągleniu  $8.84176199 \times 10^{30}$ . Musimy jednak pamiętać przy tym o pewnych warunkach w konstrukcji tego modelu, a mianowicie:

- komiwojazer może przerwać swoją trasę i potem ponownie wrócić na trasę. Ten przypadek może się przytrafić, gdy śmieciarka podczas zbierania odpadów napełni się i będzie zmuszona wywieźć odpady do miejsca zagospodarowania i następnie wrócić na trasę,
- komiwojazer powinien przybywać do punktów na trasie tylko jeden raz, przy założeniu, że w tym czasie obsłużył klientów. Wyjątek stanowi punkt startu, w którym to powinien zakończyć swoją podróż - tzw. cykl Hamiltona,

- powrót komiwożacza do punktu startu może nastąpić dopiero wtedy, gdy obsłuży wszystkie miejsca na trasie.

Podsumowując, zastosowanie modelu komiwożacza dla optymalizacji tras przewozu produktów może być bardzo przydatne, jednakże w przypadku omawianej tu firmy nie znajduje zastosowania, chociażby ze względu na ogromną liczbę kombinacji możliwych do osiągnięcia.

Zatem decydując się na zastosowanie metod optymalizacji transportu powinniśmy oczekiwać korzyści przejawiających się w następujących działaniach:

- każde zatrzymanie pojazdu zbierającego odpady będzie bardziej "owocne" poprzez maksymalizację masy surowców wtórnych zbieranych na każdym postoju przy jednoczesnym minimalizowaniu miejsc zatrzymania się samochodu,
- poprzez wyeliminowanie barier i wzrost udostępnienia odpadów do zbiórki nastąpi minimalizacja bezproduktywnego czasu,
- obniżenie zużycia paliwa, hałasu i innych niekorzystnych oddziaływań na środowisko,
- poprzez usunięcie dublowania się tras zmniejszy się czas pracy oraz zapotrzebowanie na pojazdy.

Jednak wprowadzenie w życie tych usprawnień dla dużego przedsiębiorstwa, jakim jest MPGK będzie wymagało dużo czasu i wysiłku, gdyż obecnie brygady zbierające odpady wyjeżdżają na trasy zbiórki planowane poprzez wyczucie osób za to odpowiedzialnych. Praca ta nie jest poparta żadnymi analizami, bez których zreformowanie wytyczania tras jest wprost niemożliwe. Wskaźniki opisujące czas pracy, załadunku, przejazdu i ładowności będą bez wątpienia przydatne dla poprawnego planowania tras i przyczynią się do osiągnięcia wyżej wymienionych korzyści.

## **ZAGADNIENIE 2**

Kwestie lokalizacyjne. W niniejszym opracowaniu nie prezentujemy konkretnej metody optymalizacyjnej, pozwalającej na dokonanie wyboru lokalizacji, lecz kierujemy się przesłankami organizacyjnymi oraz ukształtowaną już strukturą miasta Katowice. Zbiórka odpadów w mieście Katowice przez spółkę MPGK oparta jest na schemacie układu zbierania w systemie jednostopniowym, tzn. transport odbywa się bezpośrednio do miejsca unieszkodliwienia. Brak stacji przeładunkowych w tak dużym mieście, jakim są Katowice powoduje wysoki koszt zbiórki odpadów komunalnych. Jednak nie we wszystkich warunkach jednak stacje przeładunkowe są opłacalne. Koszt wybudowania i wyposażania jej w infrastrukturę wymaganą dla tego typu inwestycji kształtuje się na poziomie kilku mln zł, a zyski generowane przez nią zwracają się po kilku latach użytkowania.

Jednym z podstawowych celów, jakie spełnia stacja przeładunkowa jest zmiana środka transportu do wywozu odpadów do miejsca ich unieszkodliwienia. Jednakże obecnie są one także wykorzystywane do obróbki i dystrybucji odpadów do miejsc ich dalszego zagospodarowania oraz służą jako punkty przyjmowania odpadów od okolicznych mieszkańców.

Analizując utworzenie stacji przeładunkowej dla miasta Katowice należy stwierdzić, że zakłady zajmujące się utylizacją znaczącej części odpadów znajdują się na obrzeżach miasta, gdzie dojazd z południowych lub ze wschodnich części miasta wynosi ok. 20 km. Pokonanie takiej trasy do sześciu razy dziennie (przyjmując, że średnio w ciągu dnia jeden pojazd jest rozładowywany trzy razy – (dane Wydziału Transportu MPGK Katowice Sp. z o.o.)) przez jedną brygadę stanowi bardzo duży koszt. Pomimo, że przez Katowice wiedzie dobra organizacja dróg to pokonanie w godzinach porannych i popołudniowych przez samochody wywożące odpady jest bardzo trudne i niebywale czasochłonne. Bezproduktywny czas zaoszczędzony na przemieszczanie się przez zatłoczone miasto mógłby posłużyć do ograniczenia zapotrzebowania na pojazdy i pracę robotników.

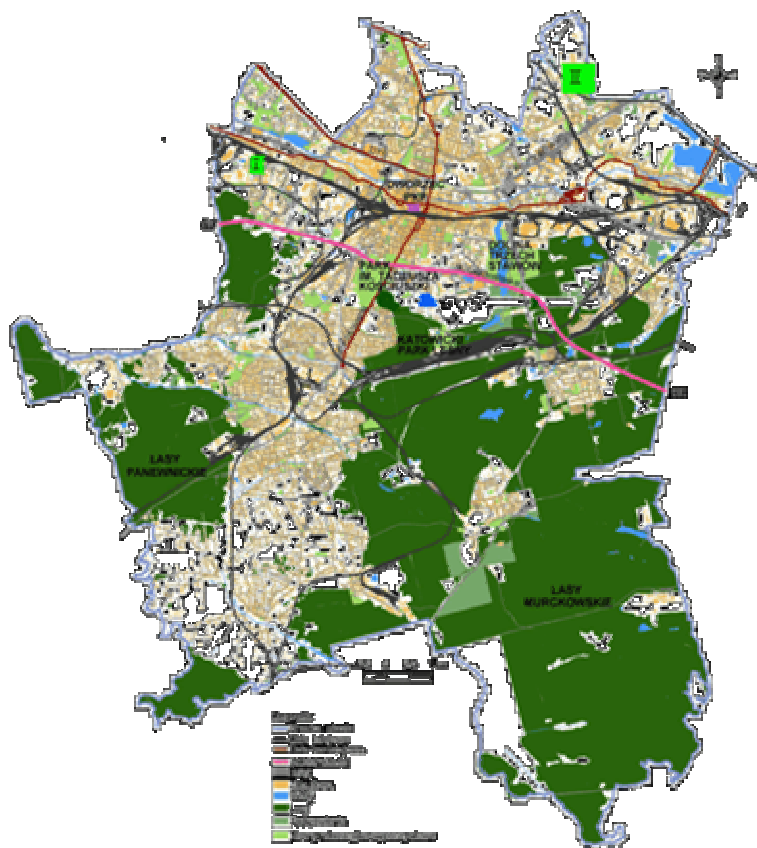
Przywiezione głównie z południowych i środkowo-wschodnich części miasta odpady komunalne przeładowywane mogłyby być w dwojaki sposób:

- bezpośredni - z jednego pojazdu na drugi,



- pośredni - po krótkim magazynowaniu dowożonych odpadów na rampie rozładunkowej lub w zbiorniku (gdzie mogłaby się odbywać wstępna segregacja odpadów) następuje podawanie odpadów do samochodów ciężarowych za pomocą urządzeń załadunkowych.

Strategiczna lokalizacja stacji przeładunkowej pozwala na znaczne zwiększenie ekonomii zbiórki i transportu odpadów oraz na lepsze wykorzystanie specjalistycznego sprzętu, który mniej nadaje się do dalekobieżnego transportu. Z tego też powodu uważam, że lokalizacja stacji przeładunkowej na terenie Katowic mogłaby być usytuowana w pobliżu rejonów obsługi wywozu odpadów, przy trasach prowadzących w kierunku zakładów unieszkodliwiania, przy bazach transportowych zakładów oczyszczenia miasta lub na wyeksploatowanych wysypiskach podmiejskich.

Na rys nr 2 są wyeksponowane miejsca gdzie zlokalizowane są główne miejsca unieszkodliwiania odpadów przez MPGK a także baza tej firmy. Patrząc na tą mapę możemy również wytyczyć obszary gdzie może się znajdować lokalizacja pod przyszłą stację przeładunkową. Zdaniem autorów najbardziej optymalnym miejscem, w którym stacja przeładunkowa miałaby się znajdować są okolice Ligoty, Panewnik czy Murcek. Są to lokalizacje charakteryzujące się bardzo dobrą organizacją dróg, przez co nie byłoby problemem przewiezienie jak i wywiezienie z tych miejsc odpadów. Przy planowaniu stacji przeładunkowej należałoby również zwrócić uwagę na problemy pojawiające się przy obsłudze tego typu przedsięwzięcia.



Źródło: [www.um.katowice.pl](http://www.um.katowice.pl)

Objaśnienia:  - Lokalizacja Kompostowni, sortowni, wysypiska przy ulicy Żwirównej,  
 - Lokalizacja MPGK Katowice

Rys. 2. Mapa Katowic  
Fig. 2. Map of Katowice

### ZAGADNIENIE 3

Elementy czasu obsługi. W celu zapobieżenie powstania sytuacji, w której jednocześnie do stacji przyjedzie kilka samochodów z odpadami i utworzy się w ten sposób kolejka oczekujących na rozładunek można zastosować jedną z teorii masowej obsługi, tzw. teorię kolejek. Głównym jej celem jest minimalizacja czasu oczekiwania na obsługę i jej kosztów. W teorii tej poszukuje się optymalizacji pomiędzy długością kolejek a systemem obsługi tak, aby koszty łączne były minimalne. Metoda ta pozwoli ograniczyć oczekiwanie pojazdów czekających w kolejce, co stanowi czas zmarnotrawiony dla oczekujących na obsługę jak też obsługujących, poprzez zwiększenie liczby stanowisk obsługi. Z kolei nadmierne zwiększenie ilości miejsc obsługi spowoduje ich niedociążenie i straty finansowe. Do rozwiązania zagadnień teorii kolejek na stacji przeładunkowej potrzebne będzie określenie następujących danych:

- liczby pojazdów oczekujących w kolejce,
- liczby pojazdów obsługujących przez stację,
- czas obsługi jednego pojazdu,
- częstotliwość napływu pojazdów,
- czasu spędzenia pojazdu w kolejce.

Optymalizowaniu za pomocą teorii kolejek poświęcono wiele uwagi w literaturze [Tikhonenko O., 2003], można tam znaleźć wzory, które zapewniają znalezienie zadowalającego nas rozwiązania. Dodatkowo, dla zwiększenia wydajności stacji przeładunkowych istnieje możliwość ich wyposażenia w urządzenia zagęszczające, które pozwoliłyby zmniejszyć objętość odpadów. Dzięki temu obniżyłby się koszt przewozu tychże odpadów. W zależności od tego, jakie byłoby przeznaczenie stacji przeładunkowej, to w przypadku obróbki odpadów powinna być wyposażona w urządzenia przystosowane do prasowania surowców wtórnych w bele, jak również powinna być wyposażona w magazyn lub plac do przechowywania tych surowców. Pozostaje kwestia transportu. Mając do wyboru jedno - bądź dwustopniowy transport, korzystniejszy wydaje się ten drugi. Dlaczego? Chociażby ze względu na posiadane zalety, wśród których wymienić możemy między innymi:

- zmniejszenie liczby pojazdów i wielkości załogi,
- umożliwienie wstępnej obróbki odpadów,
- zmniejszenie natężenie ruchu,
- stworzenie możliwości osobom prywatnym i małym firmom bezpośredniego przekazywania odpadów.

Doświadczenia innych krajów wykorzystujących transport dwustopniowy do przewozu odpadów pokazują liczne możliwości wykorzystania do tego innych gałęzi transportu. Transport rzeczny wykorzystywany jest na przykład w Rotterdamie, w Londynie oraz w Genewie. Natomiast kolej przydatna jako drugi środek transportu odpadów jest we Francji w okolicach Paryża, w Niemczech w Rothenbach i w Schwandorf, gdzie do tamtejszej spalarni odpady dowożone są z ośmiu stacji przeładunkowych. W pozostałych przypadkach, tak jak w przypadku Katowic, powinno się stosować tzw. transport łamany. Jest on z zasady znacznie efektywniejszy od bezpośredniego transportu odpadów przy użyciu śmieciarki. Wykorzystanie drogowych środków transportu jest - z punktu widzenia kosztów osobowych - najkorzystniejsze wówczas, gdy zbiórka odpadów odbywa się bez ich sortowania selektywnego u źródła powstawania, lecz z wymuszonym zginiataniem w skrzyni pojazdu. Jednakże w przypadku większych odległości, transport śmieciarkami przestaje być opłacalny. W Niemczech przyjmuje się, że transport dwustopniowy jest opłacalny wówczas, gdy odpady są transportowane na odległość od 20 do 40 km., natomiast średnia odległość opłacalna dla transportu dwustopniowego wynosi dla warunków polskich powyżej 10 km [Leboda R., Oleszczuk P., 2002].

## ZAGADNIENIE 4

Kwestie efektywnościowe. Autorzy R. Leboda i P. Oleszczuk uważają transport dwustopniowy jako znacznie lepszy niż jednostopniowy, gdyż pozwala on, bowiem na zwiększenie efektywności ekonomicznej, jak również na poprawienie efektywności i sprawności eksploatacyjnej pojazdów przystosowanych do zbierania odpadów z różnych rodzajów pojemników z miejsc ich gromadzenia. Oprócz dużej ekonomiczności koszty budowy stacji przeładunkowej i nakłady wydane na pojazdy zwracają się po krótkim czasie, w przypadku Niemiec okres ten wynosi ok. 9 lat. Przed rozpoczęciem budowy stacji przeładunkowej, na podstawie poniższego wzoru, możemy wyznaczyć czas, po którym roczne oszczędności na kosztach transportu dwustopniowego w stosunku do transportu bezpośredniego zrównoważą koszty inwestycyjne:

$$T = \frac{I}{K_{Tb} - (K_{T2} + K_{E2})} |lata|$$

Natomiast składniki kosztów możemy określić za pomocą następujących wzorów:

$$K_{Tb} = [2C_1(L_1 + L_2) + b_3]Q$$

$$K_{T2} = [2(C_1L_1 + C_2L_2) + b_1 + b_2]Q$$

$$K_{E2} = (d + c)Q$$

Chcąc wyznaczyć graniczną ilość odpadów komunalnych  $Q_{gr}$ , przy której stosowanie stacji przeładunkowej będzie opłacalne, możemy skorzystać z następującego wzoru:

$$Q_{gr} \geq \frac{I(S + P) + d}{[2(C_1 - C_2)L_2 + b_3 - (b_1 + b_2) - c]} |m^3 / rok|$$

gdzie:

I - nakłady inwestycyjne na budowę stacji przeładunkowej oraz samochodów I i II stopnia, łącznie z nakładami inwestycyjnymi na zakup samochodów przewozu bezpośredniego z rejonu na wysypisko, w [zł];

$K_{Tb}$  - roczne koszty transportu bezpośredniego, w [zł/rok];

$K_{T2}$  - roczne koszty transportu dwustopniowego w [zł/rok];

$K_{E2}$  - roczne koszty eksploatacji stacji przeładunkowej, pomniejszone o koszty amortyzacji środków trwałych, w [zł/rok];

S - stawka amortyzacji;

P - oprocentowanie nakładów inwestycyjnych;

$C_1$  - jednostkowy koszt transportu w I stopniu, w [zł/km  $m^3$ ];

$C_2$  - jednostkowy koszt transportu w II stopniu, w [zł/km  $m^3$ ];

$b_1$  - jednostkowy koszt wyładunku odpadów w stacji przeładunkowej w [zł/ $m^3$ ];

$b_2$  - jw., lecz z transportowca na wysypisku, w [zł/ $m^3$ ];



$b_3$  - jw., lecz ze śmieciarki na wysypisku, w [zł/m<sup>3</sup>];

c- zmienny jednostkowy koszt eksploatacji stacji przeładunkowej, obejmujący koszt energii, materiałów i remontów, w [zł/m<sup>3</sup>];

Q - ilość odpadów, w [m<sup>3</sup>/rok];

$L_1$  - długość drogi transportu w I stopniu wywozu w jedną stronę (rejon - stacja przeładunkowa), w [km];

$L_2$  - jw., lecz w II stopniu wywozu (stacja przeładunkowa- wysypisko), w [km].

## PODSUMOWANIE

Zwiększenie sprawności działań logistycznych związanych z usuwaniem odpadów komunalnych w miastach może być osiągnięte również z wykorzystaniem aparatu matematycznego, o ile dostępne są niezbędne dane wyjściowe. Badając problematykę gospodarowania odpadami w mieście Katowice autorzy zwrócili uwagę na to, że często na przeszkodzie w stosowaniu metod optymalizacyjnych stoi brak właściwych i wiarygodnych danych, zaś próby optymalizowania dokonywane są metodą prób i błędów. Niemniej jednak warto jest uświadamiać decydentom, że do ich dyspozycji stawiane są również znane od lat modele matematyczne.

## LITERATURA

Leboda R., Oleszczuk P., 2002, Odpady komunalne i ich zagospodarowanie. Uniwersytet M. Curie-Skłodowskiej, s. 49.

[www.um.katowice.pl](http://www.um.katowice.pl)

Plan Gospodarki Odpadami dla miasta Katowice, 2003.

Sołtysik M., 2000, Zarządzanie Logistyczne (za K. Tyc-Szmił: Rola i miejsce transportu w logistyce odpadów komunalnych), AE Katowice, s.231.

Szoltysek J., 2005, Logistyczne aspekty zarządzania przepływami osób i ładunków w miastach, AE Katowice, s.105.

Tikhonenko O., 2003, Elementy teorii obsługi masowej, Wydaw. WSP.

Tyc-Szmił K., 2003, Rola i miejsce transportu w logistyce odpadów komunalnych, w: Transport w logistyce. Łańcuch logistyczny. Akademia Morska w Gdyni, Jurata 2003, s. 310.

## SELECTED METHODS OF OPTIMIZATION OF TRANSPORT SYSTEM OF MUNICIPAL WASTES IN KATOWICE

**ABSTRACT.** Waste management is one of crucial problems in developed living areas. It is also an area of problems and threats for normal functioning. Therefore this is an object of interest of lots of specialist including logisticians. Improving waste management is not only projecting flows but also using mathematical methods of optimization of elements of these flows.

**Key words:** city logistics, reverse logistics, waste management, optimization methods.

## **AUSGEWÄHLTE PROBLEME DER OPTIMIERUNG DES TRANSPORTSYSTEMS IM BEREICH DER ABFALLENTSORGUNG IN DER STADT KATOWICE**

**ZUSAMMENFASSUNG.** Die Abfallentsorgung gilt als eines der wichtigsten Probleme der Wohnorte. Sie bereitet viele Unbequemlichkeiten und Gefahren. Daher ist dieser Bereich das Interessengebiet für mehrere Spezialisten, darunter auch Logistiker. Die Verbesserung der Abfallentsorgung beruht nicht nur auf der Gestaltung der Abfallflüsse, aber auch auf der Anwendung mathematischer Werkzeuge zur Optimierung des Bestandteile der zu gestaltenen Logistikprozesse.

**Codewörter:** Stadtlogistik, Kreislauflogistik, Abfallentsorgung, Optimierungsmethoden.

---

dr Ewa Płaczek  
dr hab. inż. Jacek Szoltysek  
Katedra Logistyki Ekonomicznej  
Akademia Ekonomiczna w Katowicach  
e-mail: [eplaczek@ae.katowice.pl](mailto:eplaczek@ae.katowice.pl)