

Mateusz Malinowski, Andrzej Woźniak

**PROBLEM OPTIMALIZACJI
LOGISTYCZNYCH PARAMETRÓW TRANSPORTU
ODPADÓW KOMUNALNYCH
W ASPEKCIE STRATEGII EKOFIRMY**

***OPTIMIZATION PROBLEM OF THE MUNICIPAL WASTE
TRANSPORT LOGISTIC SYSTEM IN THE TERMS
OF ECO-COMPANY STRATEGY***

Streszczenie

Gospodarka odpadami komunalnymi zgodnie z dyrektywami UE oznacza gromadzenie, zbieranie, odzysk, unieszkodliwianie i monitoring ich powstawania. Elementem łączącym wymienione zadania jest transport odpadów, realizowany głównie przez specjalistyczne firmy zbierające odpady zmieszane i segregowane.

W Polsce w całości kształcą koszty systemu gospodarowania odpadami, ponad 70% stanowią zbiórka i transport odpadów do miejsc utylizacji [Tyc-Szmil 2003]. Koszty te ze względu na rosnące ceny paliwa, wzrost wynagrodzenia kierowców i ładowaczy, powodują że wzrasta potrzeba optymalizacji systemu logistyki transportu w eko-firmach. Do racjonalizacji systemu transportowego wykorzystywane są ogólnie dostępne programy optymalizujące trasy przejazdów lub stan floty samochodowej, bez uwzględniania działającego systemu. W wielu firmach takie rozwiązania są niemożliwe do wdrożenia, ze względu na dynamiczny charakter systemu oraz najsłabszy jego element, którym jest człowiek długo przystosowujący się do zmian systemowych.

W artykule sformułowano problem optymalizacyjny istniejącego i dynamicznie zmieniającego się systemu transportu odpadów komunalnych w wybranym eko-przedsiębiorstwie. Problem został rozwiązany z wykorzystaniem opracowanego modelu decyzyjnego. Na podstawie zgromadzonych danych o systemie logistycznym transportu odpadów w przedsiębiorstwie wielobranżowym MIKI, dokonano jego analizy przestrzennej oraz wyznaczenia optymalnych sektorów zbiórki. Podstawowym celem wykonania optymalizacji było zminimalizowanie

wartości przebiegu śmieciarek [km] przy ustalonej stałej objętości zbieranych odpadów. Poprzez wdrożenie zaproponowanego rozwiązania uzyskano obniżenie kosztów zbiórki odpadów i czasu jej trwania.

Słowa kluczowe: odpady komunalne, GIS, logistyka transportu, transport odpadów

Summary

Municipal waste management according to EU Directives means the gathering, collection, recovery, disposal and monitoring of their creation. The most important linking element in this system is a transport of wastes, mainly carried out through a specialized companies. In Poland, more than 70% costs of waste management system is generated by collection and waste transport from customer to disposal places [Tyc-Szmit 2003]. The effect of rising fuel prices, increased wages of drivers and loaders, is an increasing cost of waste management. A lot of eco-company have to optimize their transport logistics system to minimalizing of costs. To rationalize the transport system are used publicly available computer programs to optimize travel routes or the state fleet.

In this paper authors formulation logistic problem of optimization the existing waste transport system. The problem was solved using the developed model of decision-making structure. Authors conduct a spatial analysis of waste transport system for determine optimal collection sectors in the city, based on data collected about the waste transport logistics system in the company MIKI. The main aim of the optimization was to minimize the value of the garbage truck's courses [km] at a determining volume of solid waste collected.

Key words: municipal wastes, GIS, transport logistics, waste transport system

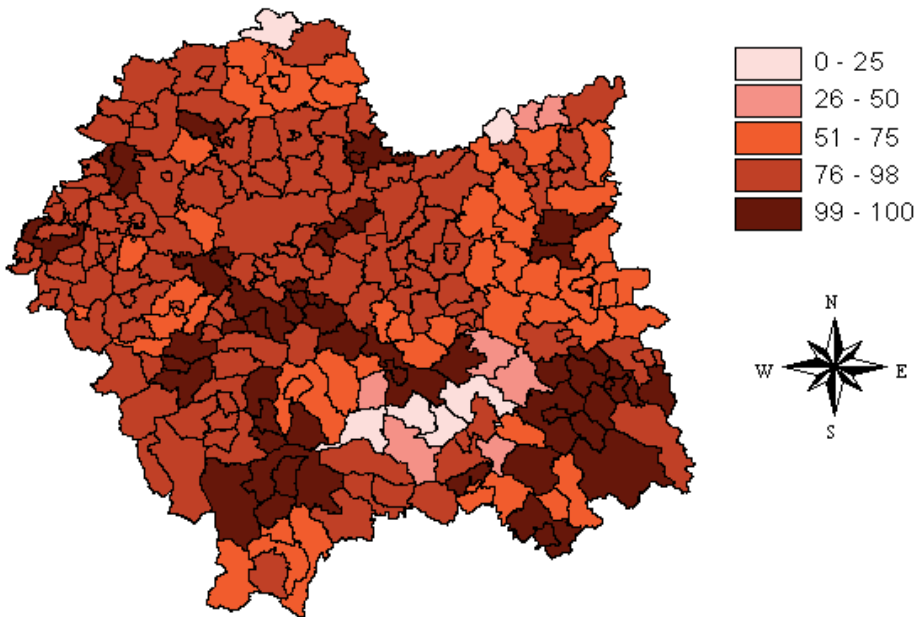
WSTĘP

Dyrektywa ramowa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z 19 listopada 2008 roku w sprawie odpadów, definiuje odpad jako każdą substancję lub przedmiot, której posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub do których pozbycia został zobowiązany. Dyrektywa została transponowana do polskiego prawa Ustawą o zmianie ustawy o odpadach z 22 stycznia 2010 roku. Zgodnie z nową ustawą, odpady komunalne to odpady powstające w gospodarstwach domowych, z wyłączeniem pojazdów wycofanych z eksploatacji, a także odpady niezawierające odpadów niebezpiecznych, pochodzących od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych [Dz. U. z 2010r. Nr 28 poz. 145]. Ustawa o odpadach reguluje system gospodarowania nimi, w tym ich transport, a także określa sposób i tryb udzielania pozwoleń na prowadzenie działalności gospodarczej w zakresie transportu i utylizacji odpadów.

Plan Gospodarki Odpadami Województwa Małopolskiego 2006 zakładał, że do końca 2007 roku wszyscy mieszkańcy Małopolski powinni podpisać

umowę na wywóz odpadów. W ramach monitoringu PGOWM oraz informacji uzyskanych z gmin wynika, że cel sprzed kilku lat udało się osiągnąć jedynie w 30 małopolskich gminach (najwięcej w powiecie nowotarskim i gorlickim). Najgorzej sytuacja przedstawia się w gminach rolniczych w powiatach dąbrowskim, miechowskim, limanowskim, nowosądeckim i tarnowskim (rys. 1). Taki stan jest spowodowany niewystarczającą liczbą firm zbierających odpady oraz utrudnieniami w zbieraniu odpadów, przede wszystkim na obszarach górskich i podgórskich województwa. Ponadto istniejące systemy obciążone są wieloma błędami logistycznymi, które powodują zwiększenie kosztów transportu. Dla większości władz samorządowych problem ten, ze względu na jego złożoność i interdyscyplinarny charakter jest zbyt trudny do rozwiązania.

Za gospodarkę odpadami na terenie gmin odpowiadają specjalistyczne (certyfikowane) firmy wywozowe. System logistyczny transportu odpadów budowany jest na ogół na bazie łańcucha dostaw, którego podstawowe elementy stanowią: wytwarzający odpady mieszkańiec (lub obiekt infrastrukturalny), podmiot organizujący zbiórkę odpadów oraz podmiot je utylizujący (np. sortownia, spalarnia, składowisko, kompostownia) [Płaczek, Szołtysek 2008].



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z Urzędów Gmin, 2011
 Source: Own study according to data from Communes' office

Rysunek 1. Procent obsługiwanych gospodarstw domowych przez firmy zbierające odpady w gminach województwa małopolskiego w 2010 roku

Figure 1. Percent of households served by the company collecting the waste in the communes of Małopolska in 2010

Największe koszty działania systemu gospodarowania odpadami charakterystyczne są dla terenów o małym wskaźniku gęstości zaludnienia i terenów o urozmaiconej rzeźbie. Tyc-Szmił [2003] oraz Sołtysik [2000] potwierdzają opinie eko-przedsiębiorstw, że koszt transportu odpadów może sięgać nawet 70% ogólnych kosztów zbiórki odpadów, w niektórych polskich miastach o liczbie ludności przekraczającej 100 tys.

Z punktu widzenia liczby środków transportu użytych do wywozu tego samego ładunku rozróżnia się jedno i dwustopniowy system wywozu. System jednostopniowy polega na transporcie odpadów bezpośrednio z miejsca gromadzenia do zakładu unieszkodliwiania. W systemie jednostopniowym wywóz odpadów może odbywać się w formie:

- niewymiennym (przesypowym) – po opróżnieniu pojemników, odpady ładowane są do środków transportowych, a pojemniki pozostają w miejscu gromadzenia (stosowany środek transportowy: śmieciarka),

- wymiennym – wypełnione pojemniki na odpady podmieniane są pustymi w miejscu gromadzenia odpadów (najczęściej stosowany środek transportowy: hakowiec).

Dominującym trendem w światowej gospodarce odpadami, mającym na celu obniżenie kosztów działania systemu, jest wprowadzanie transportu dwustopniowego z zastosowaniem stacji przeładunkowych. Na stacji przeładunkowej odpady czasowo są gromadzone i wstępnie segregowane. W Polsce takie rozwiązanie nie jest obecnie stosowane, mimo iż obniża koszty działania systemu nawet o 1/3 [Sołtysik 2000], a także byłoby idealnym rozwiązaniem w sytuacji gdy zamykane są kolejne składowiska odpadów. Obawy o naruszenie ekosystemu i nasilający się opór społeczny utrudniają realizację takich inwestycji ekologicznych [Malinowski 2010].

Sprawną organizacją wywozu odpadów wymaga optymalizacji, koniecznej ze względu na wysokie koszty transportu. Wpływ na organizację wywozu mają przede wszystkim [Obyrn d' 2005]:

- ilość i pojemność pojemników (kontenerów) na odpady,
- lokalizacja miejsc ustawienia pojemników oraz ładowność samochodu transportowego,
- czas i organizacja pracy brygady wywozowej oraz kierowcy,
- częstotliwość wywozu oraz liczba środków transportu,
- odległość zakładu unieszkodliwiania od rejonu zbiórki odpadów,
- czas przejazdu samochodu zbierającego odpady oraz czas jego rozładunku,
- naprawy, remonty i przeglądy samochodu transportowego.

W celu obniżenia kosztów działania firm gospodarujących odpadami, wykorzystywane są metody optymalizacyjne (problem komiwojażera, teoria kolejek) do usprawnienia systemu odbioru odpadów od klientów. Zastosowanie tych metod najczęściej powoduje całkowitą reorganizację systemu, ponieważ nie

uwzględniają one aktualnie działającego systemu. Wykorzystanie tych metod jest możliwe, gdy odpady są zbierane z zamkniętego (scalonego) obszaru. Niestety w wielu firmach, umowy na odbiór odpadów od klientów były i są podpisywane najczęściej bez uwzględnienia racjonalnego wykorzystania środków transportowych, co powoduje, że śmieciarki poruszają się po trasach, które mogłyby być obsługiwane przez innych kierowców lub w inne dni. Tak zwane dublowane lub mapowanie tras przejazdów powoduje automatyczne zwiększenie liczby przejechanych kilometrów. W tych firmach optymalizacja tras śmieciarek najczęściej jest obciążona wieloma ograniczeniami wynikającymi z czynników wewnętrznych: strategia firmy, tradycja obsługi klientów, przyzwyczajenia kierowców, personelu administracyjnego, itp.

Optymalizacja pozwala na wyznaczenie najlepszego rozwiązania ze względu na przyjęte kryterium (np. koszt, zysk) spośród dopuszczalnych rozwiązań danego problemu. Przyjmuje się, że rozwiązanie jest racjonalne, gdy przy określonych nakładach następuje maksymalizacja efektu lub gdy przy założonym efekcie minimalizuje się nakłady. Aby to osiągnąć, dąży się do zintegrowania wszystkich działań składających się na logistyczny łańcuch usuwania odpadów [Przybycin 2006].

Celem projektu było sformułowanie założeń do problemu optymalizacji logistycznych parametrów transportu odpadów komunalnych na przykładzie przedsiębiorstwa MIKI Kraków w aspekcie specyficznej strategii firmy ukierunkowanej na życzenia klienta. Analizowany problem dotyczył minimalizacji przebiegu śmieciarek, przy narzuconych przez firmę warunkach ograniczających optymalizację. Do rozwiązania problemu została opracowana iteracyjna struktura modelu decyzyjnego. Ponadto przeanalizowano obecny system transportu zmieszanych odpadów komunalnych na terenie miasta Krakowa, a także na podstawie modelu decyzyjnego, opracowano optymalizację istniejącego systemu.

MATERIAŁ I METODA

Dane atrybutowe prezentujące sieć drogową miasta w formie plików *.shp pozyskano z Urzędu Marszałkowskiego Województwa Małopolskiego. Przedsiębiorstwo MIKI Kraków przekazało w 2010 roku bazę klientów z informacjami o ich adresach, częstotliwości zbiórki i charakterystyce pojemników (liczba i objętość) do gromadzenia stałych odpadów komunalnych. Firma działa w branży od 1990 roku, prowadzi zbiórkę odpadów na terenie miasta Krakowa oraz w 11 okolicznych gminach, ponadto specjalizuje się w produkcji paliwa alternatywnego dla cementowni.

Logistyka transportu w firmie polega na wykorzystaniu 11 śmieciarek (w tym 4 obsługują miasto Kraków) oraz 24 tzw. hakowców. Kierowcy śmieciarek mają przydzielone w poszczególne dni tygodnia stałe sektory zbiórki. Sektor to obszar wyznaczony przez listę objazdową dla konkretnego kierowcy w dany

dzień. (w poniedziałki istnieją 2 sektory – dla 2 kierowców, we wtorki 4 sektory dla 4 kierowców, w środę 1 sektor dla 1 kierowcy, w czwartki 4 sektory dla 4 kierowców i w piątki 2 sektory dla 2 kierowców). Wybór dróg i kolejność klientów, od których odbierane są odpady zależą od kierowcy.

Pierwszy etap analizy polegał na opracowaniu warstwy tematycznej dotyczącej lokalizacji wszystkich klientów firmy MIKI. W tym celu wykorzystano oprogramowanie Arc View GIS 3.3. Geograficzne Systemy Informacyjne (*Geographic Information System*) służą do opisu, wyjaśniania i przewidywania rozkładu przestrzennego zjawisk geograficznych [Longley i in. 2006]. Nowe warstwy danych atrybutowych (adres, pojemniki, kierowca, itp.) opracowano poprzez digitalizację punktów obrazujących klientów z wykorzystaniem portalu lokalizacyjnego www.zumi.pl. Efektem tego opracowania było utworzenie 16 warstw tematycznych charakteryzujących system logistyki transportu w firmie MIKI oraz baza danych o klientach. Kolejny etap polegał na wyznaczeniu nowych hipotetycznych obszarów (sektorów) docelowych zbiórki odpadów dla każdego dnia tygodnia i każdego kierowcy według wskazań firmy. Klienci, od których odpady odbierane są w poniedziałek, wtorek, czwartek i piątek, zostali przydzieleni do obszarów utworzonych na podstawie naturalnych (cieki wodne) i infrastrukturalnych (sieć drogowa) granic wewnętrznych miasta. W środę funkcjonuje jedna lista objazdowa, więc nie była ona optymalizowana.

Następnie analizowano punkty (lokalizacje klientów), położone w innym sektorze, niż sektor docelowy i jeżeli było to możliwe, zmieniano przypisany im sektor. Metodę tę opracowano dla następujących warunków ograniczających:

- nie można zmieniać klientowi dnia odbioru odpadów,
- nie można zmieniać klientowi częstotliwości odbioru odpadów, ani liczby pojemników,
- różnica w objętości odbieranych odpadów po zmianach pomiędzy dwoma kolejnymi sektorami (np. różnica pomiędzy zmianami sektora „5 na 6” i „6 na 5”) musi być mniejsza niż 1100 dm^3 .

Funkcją celu w analizowanym problemie optymalizacyjnym jest osiągnięcie minimalnego przebiegu śmieciarek przy ustalonej stałej objętości zbieranych odpadów. Minimalizacja przebiegu pozwoli na osiągnięcie korzyści w postaci obniżenia zużycia paliwa, a w konsekwencji obniżone zostaną ogólne koszty transportu odpadów.

Podstawowy problem badawczym polegał na opracowaniu metody lub algorytmu iteracyjnego postępowania, który umożliwiłby przenoszenie klientów pomiędzy sektorami, tak aby objętość gromadzonych odpadów nie zmieniła się o więcej niż 1100 dm^3 . Warunek ten wynika z faktu, iż sektor jest obszarem, na którym występuje tylu klientów, którzy jednorazowo zapełniają śmieciarkę. Problem ten został początkowo rozwiązany z wykorzystaniem zagadnienia komiwojażera, niestety rozwiązanie nie zostało przyjęte przez właściciela firmy, ze względu na całkowitą reorganizację zbiórki w poszczególne dni tygodnia.

WYNIKI

Analizie poddano system logistyczny transportu odpadów zbieranych na terenie miasta Krakowa od ponad 2400 klientów indywidualnych i firm. Zbiórką odpadów zmieszanych z terenu Krakowa w przedsiębiorstwie MIKI zajmuje się 4 kierowców. Odbiór prowadzony jest we wszystkie robocze dni tygodnia. Miasto zostało podzielone na 13 sektorów (rys. 2). Każdy sektor ma przypisany swój dzień tygodnia i swojego kierowcę.

Tabela 1. Charakterystyka systemu zbiórki pojemników w firmie MIKI Kraków
Table 1. Characteristics of the bins collection system in MIKI Kraków

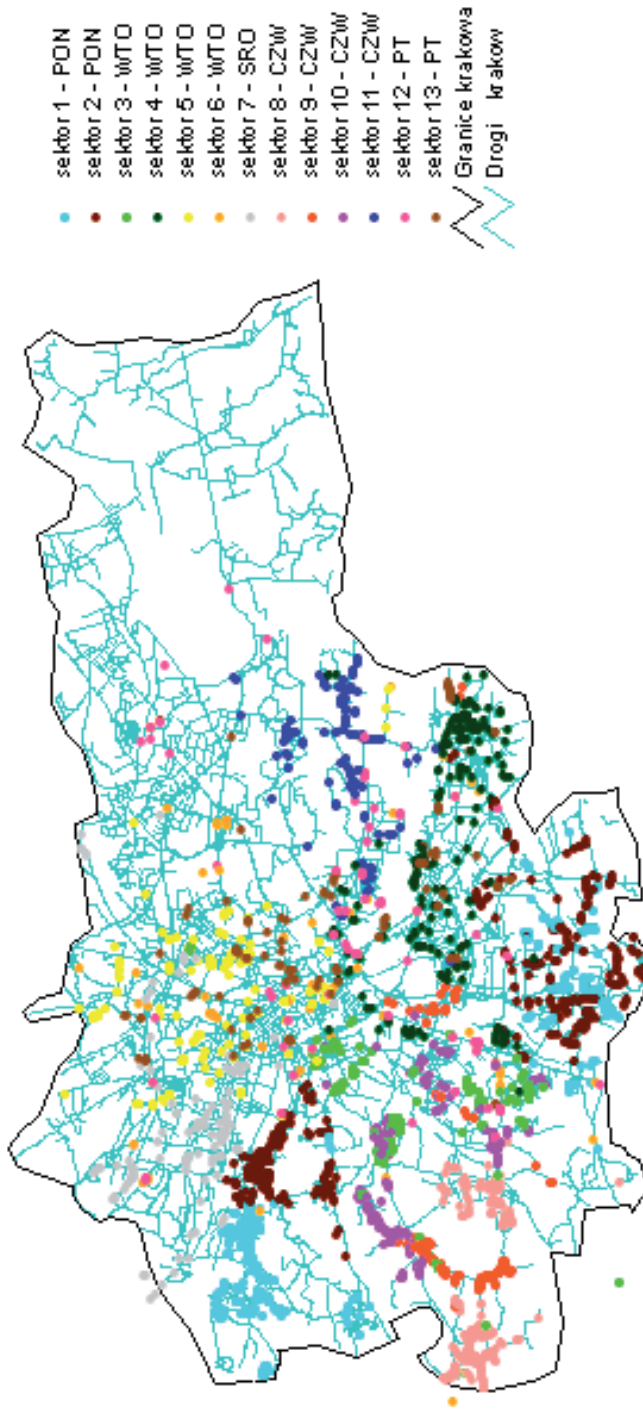
Dzień	Sektor	Liczba klientów	Liczba pojemników	Objętość odpadów [dm ³]	Średnia poj. pojemników [dm ³]	Średnia poj. pojemników [dm ³]
Poniedziałek (co 2 tyg.)	1	328	342	49140	143,6	149,1
	2	413	422	64800	153,5	
Wtorek (co tydz.)	3	234	249	43440	174,4	286,2
	4	206	225	43170	191,8	
	5	127	160	44140	275,8	
Środa (co tydz.)	6	78	103	80180	778,4	322,6
	7	122	141	45500	322,7	
Czwartek (co 2 tyg.)	8	246	251	34330	136,7	160,7
	9	180	182	29360	161,3	
	10	229	238	35220	147,9	
	11	116	124	28860	232,7	
Piątek (co tydz.)	12	77	112	104800	935,7	609,9
	13	116	138	47680	345,5	
RAZEM	-	2472	2687	650620	242,1	-

Źródło: Opracowanie własne, 2011.

Source: Own study, 2011

Z wyników zamieszczonych w tabeli 1 wynika, iż najwięcej odpadów zbieranych jest we wtorki. Największa średnia objętość pojemników występuje w piątek i środę, co bezpośrednio wynika z faktu obsługiwania w te dni dużej liczby firm, posiadających pojemniki 1100 dm³. Najkrótsza trasa realizowana jest w środę. Średnia pojemność śmieciarki w analizowanym przedsiębiorstwie wynosi 16 m³. Każda ze śmieciarek jest w stanie zageścić odpady w stosunku 6:1 lub 5:1.

Rysunek 2 jest efektem digitalizacji przestrzennej klientów firmy MIKI w programie ArcView GIS 3.3 – warstwa *shp. Każdy klient, został przedstawiony jako punkt o określonej lokalizacji na terenie miasta oraz w bazie danych *dbf scharakteryzowany pod względem posiadanej liczby pojemników, ich objętości, częstotliwości odbioru, numeru sektora, itp.).



Źródło: Opracowanie własne, 2011
Source: Own study, 2011

Rysunek 2. Lokalizacja klientów firmy MIKI Kraków w sektorach przed optymalizacją
Figure 2. Location of MIKI Kraków customers in the sectors before optimization

Jak wynika z rysunku 2, firma MIKI obsługuje około 70% powierzchni miasta. Największa liczba klientów przypada na rejon Swoszowic, Woli Justowskiej, Bronowic oraz Podgórze.

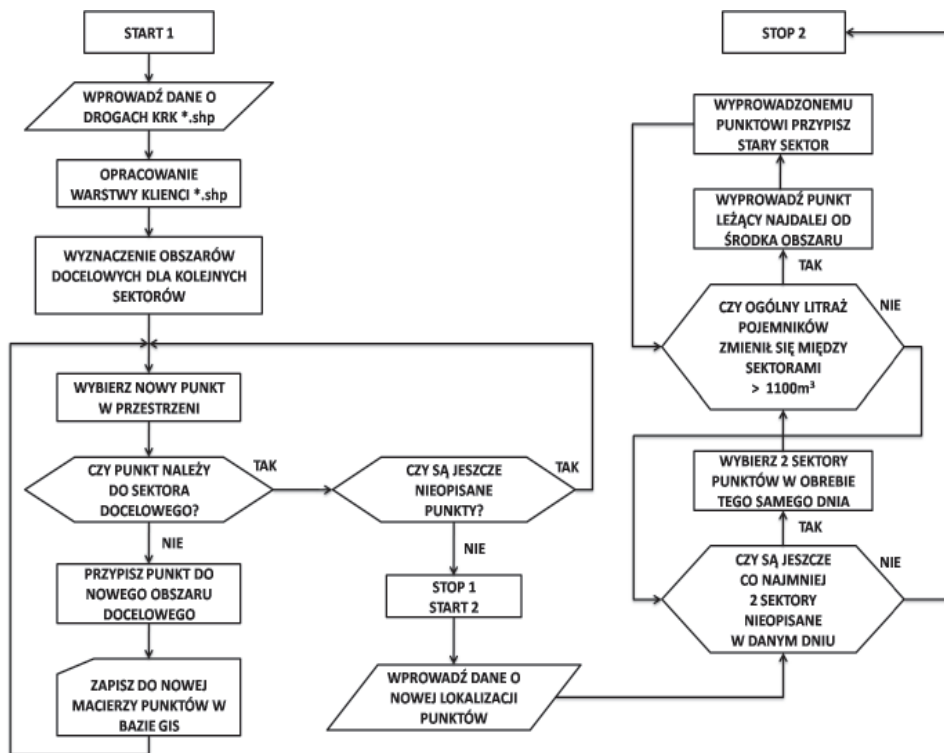
Ze względu na prywatny charakter przedsiębiorstwa, o dniu odbioru odpadów zdecydowali klienci w chwili podpisania umowy, zaś o przynależności do sektora personel administracyjny firmy. Efektem tego postępowania jest dezorganizacja systemu logistycznego, polegająca na pokrywaniu się sektorów obsługiwanych przez różne śmieciarki w ten sam dzień. Przykładowo odpady z ulicy Tynieckiej czy Zawilej są odbierane jednego dnia przez 3 różnych kierowców.

Najkorzystniejszy układ klientów w sektorach pod względem logistyki transportu występuje w rejonie Swoszowic i Woli Justowskiej (sektor 1 i 2), które obsługiwane są w poniedziałek.

Największy problem organizacyjny stanowi logistyka transportu we wtorki (sektor 3, 4, 5 i 6) oraz piątki (sektory 12 i 13), w których każda ze śmieciarek, aby zebrać odpady od wszystkich przypisanych jej klientów, musi przejechać cały obszar Krakowa (rys. 2 i rys. 4). Sektory piątkowe, mimo niewielkiej liczby klientów, charakteryzują się największą liczbą przejechanych kilometrów w ciągu miesiąca, co generuje duże zużycie paliwa w stosunku do zbieranej masy odpadów. Przy optymalizacji logistyki transportu odpadów najwięcej zmian wprowadzono w sektorach piątkowych.

Najprostszym rozwiązaniem problemu badawczego byłoby przenoszenie pomiędzy sektorami klientów, którzy posiadają pojemniki o tej samej objętości. Niestety w każdym sektorze występują różne rodzaje pojemników (90 dm³, 120 dm³, 240 dm³, 770dm³, 1100 dm³), a także ich liczba. Na rysunku 3 przedstawiono schemat modelu decyzyjnego opracowanego przy optymalizacji dla firmy MIKI Kraków. Algorytm obejmuje wszystkie warunki ograniczające, które zostały narzucone przez właściciela firmy.

Wyniki analizy przekazano firmie i początkiem 2011 roku wdrożono je do systemu transportu odpadów. Najwięcej zmian nastąpiło w systemie transportu dla wtorku, pomiędzy 5 i 6 sektorem oraz pomiędzy 6 i 4 sektorem. W tych przypadkach dokonano zmian na łączną objętość 30,6 m³ odpadów dla sektorów: 5→6 i 6→5 oraz 23,9 m³ dla sektorów 4→6 i 6→4. Łączna objętość zmian we wtorek wynosiła 77,2 m³ odpadów dla 152 klientów. Największe zmiany po wdrożeniu systemu zaobserwowano dla piątku. Średni czas przejazdu mimo warunków zimowych, kiedy wyniki optymalizacji zostały wdrożone do systemu, zmniejszył się o 40 minut dla sektora 13. Nowego kierowcę odbierającego odpady przypisano 61 klientom. Łączna objętość odpadów przepisanych do nowych kierowców wyniosła w piątek 21,4 m³. Najmniejsze zmiany objętości zbieranych odpadów dotyczą czwartku (9,9 m³). Nowych kierowców przypisano 67 klientom. Nie zanotowano zmian w czasie pracy kierowców.

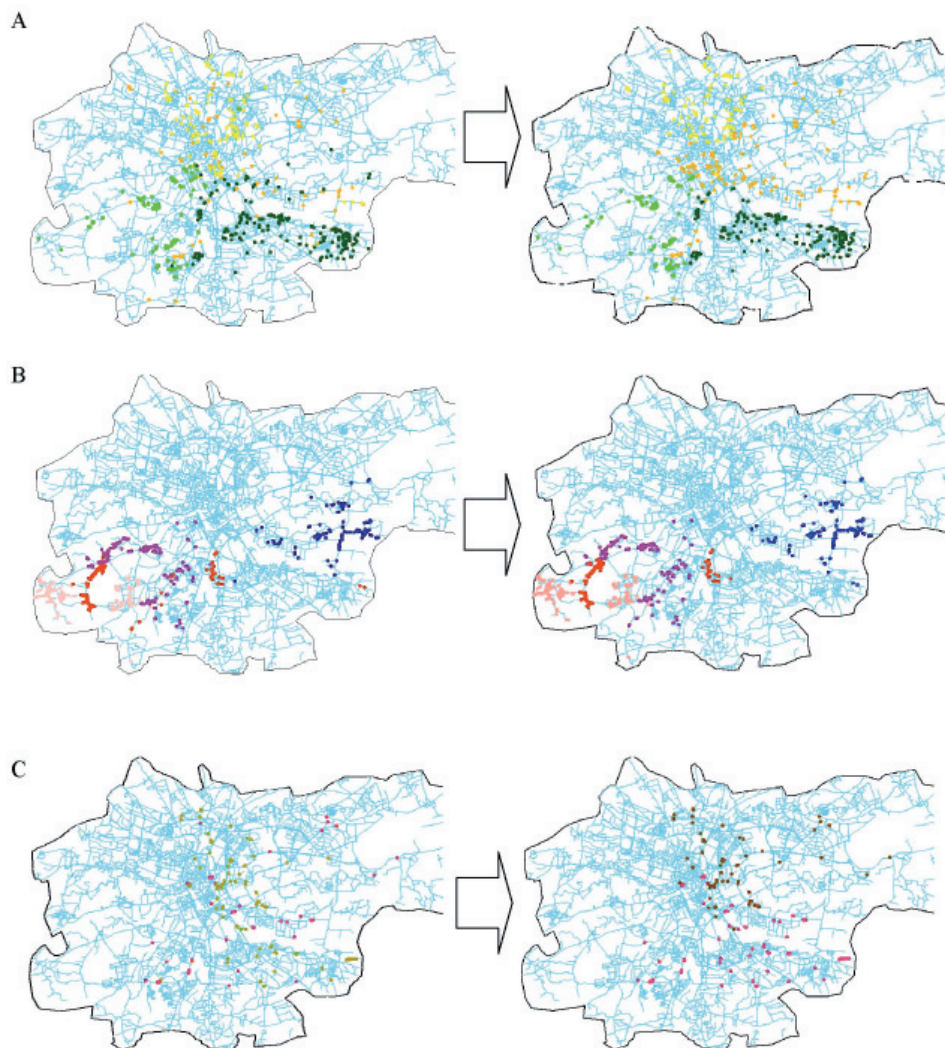


Źródło: Opracowanie własne, 2011
Source: Own study, 2011

Rysunek 3. Struktura modelu decyzyjnego
Figure 3. Decision-making structure

Rysunek 4 przedstawia efekty optymalizacji list objazdowych w kolejnych dniach.

Pozostałe efekty z optymalizacji przedstawiono w tabeli 2. Dane dotyczące przebytych kilometrów ustalono na podstawie odczytów z licznika samochodów w marcu 2010 i 2011 roku. W ostatniej kolumnie przedstawiono sumaryczną liczbę klientów, którzy zostali przetransponowani do listy objazdowej w innym sektorze. W tabeli nie ujęto zmian w ogólnie rosnącej liczbie klientów przedsiębiorstwa.



Źródło: Opracowanie własne, 2011.
Source: Own study, 2011.

Rysunek 4. Zmiany przestrzennej lokalizacji klientów obsługiwanych we: wtorek (A), czwartek (B) i piątek (C)

Figure 4. Changes of spatial localization of support clients in: Tuesday (A), Thursday (B) and Friday (C)

Tabela 2. Zmiany w miesięcznym kilometrażu i liczba przeniesionych klientów
Table 2. Changes of the monthly done kilometers and number of customers transferred

Dzień	Sektor	Kilometraż III 2010	Kilometraż III 2011	Zmiana kilometrażu	Liczba klientów przeniesionych w czasie optymalizacji
Poniedziałek (co 2 tyg.)	1	1521	1411	-110	34
	2	1704	1610	-94	39
Wtorek (co tydz.)	3	1956	1921	-35	5
	4	1899	1964	65	8
	5	1819	1727	-92	68
Środa (co tydz.)	6	1944	1799	-145	71
	7	704	745	41	0
Czwartek (co 2 tyg.)	8	1233	1152	-81	15
	9	1175	1105	-70	13
	10	1332	1311	-21	17
Piątek (co tydz.)	11	1080	990	-90	22
	12	1884	1688	-196	28
RAZEM	13	2012	1843	-169	33
	-	20263	19296	-997	353

Źródło: Opracowanie własne, 2011

Source: Own study, 2011

DYSKUSJA I WNIOSKI

Przedsiębiorstwa prywatne charakteryzują się specyficznym podejściem do klienta, stawiając ich zawsze na pierwszym miejscu. Dopasowanie się firmy do potrzeb klienta indywidualnego może generować problemy związane z logistyką. W analizowanej firmie próbowano przeprowadzić optymalizację systemu transportu odpadów metodą komiwojażera. Zaproponowane rozwiązanie nie przyniosło jednak pożądanych efektów. Rozwiązanie prezentowane w artykule nie jest rozwiązaniem optymalnym dla całego systemu, ponieważ przy zmianie kryteriów parametry optymalizacyjne można dalej minimalizować, a więc poprawiać. Proponowany model decyzyjny można jednak z powodzeniem zastosować przy racjonalizowaniu transportu odpadów na innych obszarach obsługiwanych przez PW MIKI.

Optymalizacja systemu logistycznego z wykorzystaniem programu GIS i opracowanego algorytmu polegała na określeniu nowych obszarów docelowych dla kierowców z uwzględnieniem warunków ograniczających. Zaproponowany algorytm obejmuje zmiany jedynie w tak zwanych listach objazdowych, które posiadają kierowcy zbierający odpady w kolejnych sektorach. Opracowana koncepcja została zaaprobowana przez władze i pracowników firmy. Sektory zostały zawężone pod względem obsługiwanej powierzchni, co przyczyniło się do uporządkowania ogólnego systemu transportu odpadów zmieszanych.

Korzyści z wprowadzenia optymalizacji są obserwowane po upływie pewnego czasu. W przedsiębiorstwie MIKI Kraków będzie można je zaobserwować, gdy zostanie przeanalizowana całoroczna dokumentacja, dotycząca na przykład poniesionych kosztów paliwa. Po pierwszym miesiącu (marzec 2011) funkcjonowania nowego systemu zbiórki odpadów zaobserwowano zmniejszenie się czasu pracy kierowców we wtorki i piątki w porównaniu do lutego 2011 (o pół godziny), co powinno przełożyć się na obniżenie kosztów poniesionych na paliwo.

BIBLIOGRAFIA

- Longley A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W. 2006. *GIS – Teoria i praktyka*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Malinowski M. 2010. *Akceptacja społeczna obiektów gospodarki odpadami komunalnymi w świetle badań ankietowych*. Materiały VI Ogólnopolskiej Młodzieżowej Konferencji Naukowej, Rzeszów – Iwonicz.
- Obyrn d' K., Szalińska E. 2005. *Odpady komunalne, recykling, unieszkodliwianie*. Wyd. PK Kraków.
- Płaczek E., Szoltysek J. 2008. *Wybrane metody optymalizacji systemu transportu odpadów komunalnych w Katowicach*. Logforum Nr 1/2008.
- Przybycin W. 2006. *Logistyczny system gospodarki stałymi odpadami komunalnymi*. Recykling Nr 11/2006.
- Sołtyś M., 2000. *Zarządzanie logistyczne*, Wyd. AE w Katowicach.
- Tyc-Szmił K. 2003. *Rola i miejsce transportu w logistyce odpadów komunalnych. Transport w logistyce. Łańcuch logistyczny*. Wyd. Akademia Morska w Gdyni.
- Ustawa o zmianie ustawy o odpadach z dnia 22 stycznia 2010r.* Dziennik Ustaw z 2010r. Nr 28 poz. 145.
- Dyrektywa ramowa o odpadach Nr 2008/98/WE.*

Dr hab. inż. Andrzej Woźniak, Prof. UR
Mgr inż. Mateusz Malinowski
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki
30-149 Kraków ul. Balicka 116B
Tel. (012) 662 4660
mateuszmalinowski1985@o2.pl
awozniak@ar.krakow.pl

Recenzent: Prof. dr hab. Zdzisław Wójcicki