

USPRAWNIANIE PROCESÓW TRANSPORTOWYCH Z WYKORZYSTANIEM USŁUG SIECIOWYCH NA PRZYKŁADZIE PRZEDSIĘBIORSTWA KOMUNALNEGO

Streszczenie

Celem artykułu jest analiza wybranych procesów z zakresu transportu miejskiego i propozycja nowego rozwiązania, które ma za zadanie zminimalizować liczbę przejazdów w obszarach aglomeracji oraz odciążać miasto od zbędnego transportu. Zaproponowane rozwiązanie łączy wykorzystanie metod optymalizacji kombinatorycznej z usługami sieciowymi Google Maps.

Słowa kluczowe: proces transportowy, problem komiwojażera, algorytm mrówkowy, Google Maps

1. WPROWADZENIE

Wiele polskich aglomeracji boryka się z poważnymi problemami wynikającymi z przeciążenia sieci transportowych czy środków transportu i powstającymi wskutek przekroczenia ich zdolności przepustowej lub w przypadku środków transportu ich niedoboru. Zjawisko to znane jest pod nazwą *kongestii transportowej* a spowodowane jest przede wszystkim zbyt dużymi przewozami i nieodpowiednią infrastrukturą sieci transportowej. Niestety wiele podmiotów gospodarczych nie jest świadoma wagi działań zmierzających do racjonalizacji i zwiększenia efektywności realizowanych przez nie procesów transportowych, które w efekcie przyczyniłyby się do redukcji skutków zjawiska kongestii.

Kolejnym problemem w miastach jest gospodarka odpadami, w szczególności segregowanymi, które muszą być transportowane. *Zbieranie selektywne* jest wymogiem ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach [13] – jest to system oddzielnego zbierania dwóch lub więcej grup odpadów z podziałem według jasno określonych cech. Zbieranie selektywne może być realizowane wg różnych systemów zbierania, najczęściej uzależnionych od rodzaju zabudowy i będącego w dyspozycji sprzętu do zbierania i transportu. Selektywną zbiórkę w systemie „od drzwi do drzwi” realizuje się zestawem pojemników wyróżniających się barwą. Metoda ta polega na odbiorze odpowiednio posegregowanych surowców wtórnych przez odpowiedzialne służby bezpośrednio sprzed domów. Pracownik firmy komunalnej za każdym razem wchodzi po pojemnik na teren posesji, a po opróżnieniu odstawia pojemnik na miejsce. System zbierania „przy krawężniku” bazuje na zbieraniu części odpadów (surowców wtórnych) w worki foliowe. W tym wariantcie systemu odbierania odpadów ustala się harmonogram zbiórek, a mieszkańcy wystawiają odpady (w bezzwrotnych workach foliowych) przed posesję w dniu zbiórki.

Zagadnienia powyższe stały się inspiracją do podjęcia rozważań o istotności problemów związanych z szeroko rozumianą logistyką miejską oraz znalezienia rozwiązań sprzyjających zwiększeniu efektywności procesów transportowych w aglomeracjach miejskich. W skutecznym podejmowaniu właściwych decyzji przez przedsiębiorstwa mogą być wykorzystywane systemy i narzędzia komputerowe umożliwiające sprawny przepływ

* Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Zarządzania

informacji. Często standardem jest, że przedsiębiorstwa świadczące kompleksowe usługi logistyczne oraz firmy dystrybucyjno-handlowe posiadają zintegrowany system umożliwiający usprawnienie systemów transportowych. Oprogramowanie wykorzystywane do zarządzania transportem klasy TMS (ang. *Transport Management System*) wspomaga m.in. optymalne planowanie tras, łączenie przewozów, optymalizację przeładunków oraz szeroko pojęty monitoring tych działań.

Wiele firm działających na rynku polskim dostarcza narzędzia pozwalające o wiele szybciej wykonywać czasochłonne, rutynowe czynności, w sposób przejrzysty planować transport i przygotowywać harmonogramy poszczególnych działań, a tym samym redukować flotę i minimalizować koszty operacyjne.

Jednak ze względu na wysokie koszty licencji, wdrożenia systemu czy opłat związanych z udostępnieniem przez dostawców Internetu miejsca na swoich serwerach (tzw. hosting), mniejsze firmy niestety nie są zainteresowane zakupem takiego rozwiązania, rezygnując z szansy szybkiego rozwoju i zdobycia konkurencyjnej pozycji na rynku.

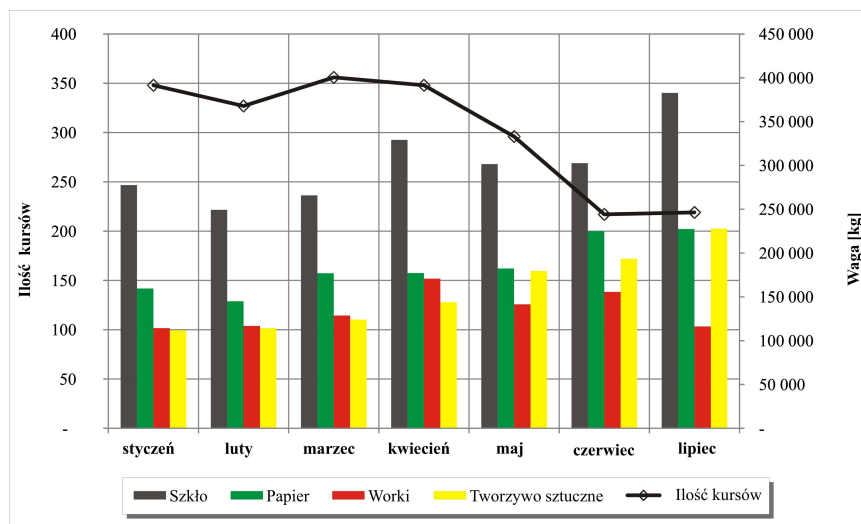
W związku z powyższym po dokonaniu szczegółowych analiz zaproponowano proste w obsłudze i tanie w implementacji narzędzie wykorzystujące internetowe usługi sieciowe Google Maps, które ma usprawnić procesy planowania wykorzystywane w przykładowym przedsiębiorstwie.

2. PROBLEM BADAWCZY – PLANOWANIE WYBRANYCH PROCESÓW TRANSPORTOWYCH W BADANYM PRZEDSIĘBIORSTWIE

Badane przedsiębiorstwo zajmuje się usuwaniem z terenu aglomeracji miejskiej odpadów komunalnych, za pomocą odpowiednio przystosowanych samochodów oraz wywozem odpadów segregowanych, wykorzystując w tym celu samochody ciężarowe. Przedmiotem zainteresowania autorów artykułu były procesy związane z transportem odpadów segregowanych. Do realizacji tych procesów firma wykorzystuje 14 samochodów o ładowności od 3,6 tony do 20 ton.

Proces wymagający usprawnienia to wywóz trzech różnych rodzajów odpadów z ponad 570 punktów (ilość punktów cały czas rośnie – przeciętnie kilkadziesiąt w ciągu roku) rozmieszczonych w całym mieście. Dienne ograniczenie czasowe to 8 godzin pracy kierowcy oraz fakt, że jeden samochód może zabrać tylko jeden rodzaj odpadu. W przypadku, kiedy pojazd jest pełny, zawozi towar do sortowni odpadów odległej o 14 km od centrum miasta. Tam następuje wyładunek, a następnie powrót na trasę.

Wykres przedstawiony na rys. 1 przedstawia dane o ilości przejazdów i masę przewiezionych odpadów segregowanych dla wybranych miesięcy w 2009 roku.



Rys. 1 Zestawienie danych dotyczących ilości przewozów oraz masy odpadów w okresie I-VII
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych badanego przedsiębiorstwa

Usuwanie odpadów powinno następować najlepiej tylko w przypadku maksymalnego zapelnienia się koszy, przy czym nie powinno dochodzić do sytuacji, gdy odpadów jest więcej niż pojemnik może pomieścić – wynika to z ustawy zabraniającej pozostawiania odpadów przy pojemnikach oraz zaśmiecania i zanieczyszczania terenu wokół nich. Problemem jest zarówno wyznaczenie optymalnych tras jak i prawidłowe określenie lokalizacji pojemników do selektywnej zbiórki i wiedza na temat poziomu zapelnienia oraz częstotliwości opróżniania pojemników.

W przedsiębiorstwie planuje się trasy przejazdów w sposób intuicyjny bazujący na wieloletnim doświadczeniu. Taki sposób postępowania – chociaż skuteczny – nie daje możliwości wykorzystania dostępnych zasobów w sposób optymalny.

Aby to móc osiągnąć przedsiębiorstwo musiałaby dysponować odpowiednimi informacjami – między innymi danymi dotyczącymi odległości pomiędzy lokalizacjami pojemników z odpadami segregowanymi. Matryca odległości między lokalizacjami pojemników nigdy nie została stworzona przez firmę – ze względu na ilość punktów stworzenie takiej matrycy od początku byłoby bardzo czasochłonne. Dodatkowo, proste algorytmy liniowe przeszukujące wszystkie możliwości nie poradziłyby sobie z obliczeniem optymalnej trasy składającej się z 575 węzłów, ponieważ łączna ilość wszystkich możliwych tras musiałaby wynieść 574!.

Dlatego też w związku z trudnościami związanymi z obliczeniami, problem został uproszczony poprzez graficzne rozdzielanie lokalizacji na 11 tras, dopiero wewnątrz nich został wykorzystany program wykorzystujący metodę programowania dynamicznego.

Codziennie przed wyjazdem na trasę, pracownikom rozdawane są listy lokalizacji, które muszą obsłużyć. Często na liście znajdują się nieplanowane węzły, które zostały zgłoszone przez mieszkańców jako krytycznie przepełnione – wtedy te węzły należy traktować jako priorytetowe. Kolejność poszczególnych punktów na liście jest zupełnie przypadkowa – do kierowcy należy zadanie uporządkowania ich i odwiedzenia wszystkich w jak najkrótszym czasie. Zadanie często jest niewykonalne szczególnie dla tych pracowników, którzy nie mają wystarczająco dużo sprytu lub doświadczenia. Do każdego samochodu przydzielone są stałe trasy oraz ten sam kierowca. Także rodzaj wywożonego odpadu (papier, plastik, szkło, metal) przez każdy z pojazdów jest zwykle taki sam. Sytuacja ta jest wynikiem przekonania, iż niezmiennie rozdzielanie zadań będzie ułatwiało kontrolę nad pracownikami, a ci będą lepiej wykonywać swoje zadania. Harmonogram wywozu surowców wtórnych dla wyznaczonych tras został przedstawiony w tabeli 1.

Tab. 1 Harmonogram wywozu odpadów segregowanych

Numer trasy	Rodzaj surowca			
	Plastik	Papier	Szkło kolorowe	Szkło białe
1	Pon, śr, pt	Pon, śr, pt	Pon	Wt
2	Wt, czw	Wt, czw	Pt	Śr
3	Pon, śr, pt	Pon, śr, pt	Śr	Czw
4	Wt, czw	Wt, czw	Czw	Pt
5	Pon, śr, pt	Pon, śr, pt	Pt	Pon
6	Pon, śr, pt	Pon, śr, pt	Pon	Wt
7	Wt, czw	Wt, czw	Wt	Śr
8	Wt, czw	Wt, czw	Śr	Czw
9	Pon, śr, pt	Pon, śr, pt	Czw	Pt
10	Wt, czw	Wt, czw	Pt	Pon
11	Pon, śr, pt	Pon, śr, pt	Pon	Wt

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych badanego przedsiębiorstwa

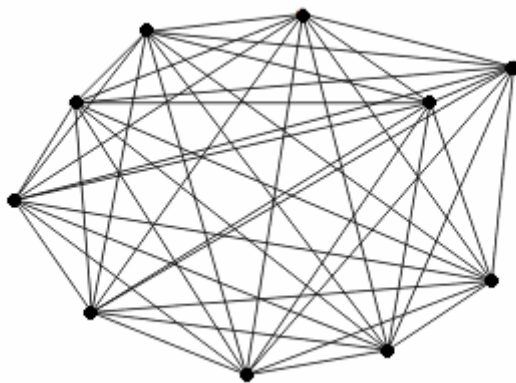
Jednak brak uwzględnienia dynamicznych zmian tras, ich niezmiennosc i nieelastycznosc w przekształcaniu są powodem nieefektywnosci planowania omawianych procesów. Wywóz odpadów wygląda bardzo intuicyjnie – każdy z kierowców „na własną rękę” opracowuje metody jak najlepszego obsłużenia węzłów i wywozu frakcji segregowanej w jak najkrótszym czasie. Taka metodyka nie zawsze okazuje się skuteczna i efektywna w sensie wykorzystania zasobów. Firma mogłaby znacznie efektywniej wykorzystywać dostępne zasoby, czyli przede wszystkim samochody przeznaczone do wywozu odpadów, próbując optymalizować trasy ich przejazdów, a co za tym idzie znacznie obniżyć koszty prowadzonej działalności.

3. PROPOZYCJA ROZWIĄZANIA PROBLEMU PLANOWANIA TRAS

Problem komiwojażera

Rozpatrywany problem należy do klasy kombinatorycznych problemów optymalizacyjnych, a jego proponowane rozwiązanie rozważa wykorzystanie *asymetrycznego problemu komiwojażera* (ze względu na ograniczenia droga przejazdu z punktu A do B może być różna niż droga przejazdu z punktu B do A). Rozwiązanie problemu komiwojażera (ang. *traveling salesman problem*) dotyczy wyznaczenia najkrótszej trasy przejazdu pomiędzy pewną liczbą punktów, tak aby każdy punkt został odwiedzony przez komiwojażera tylko jeden raz. Problem komiwojażera należy do zagadnień *NP-trudnych* [4, 6].

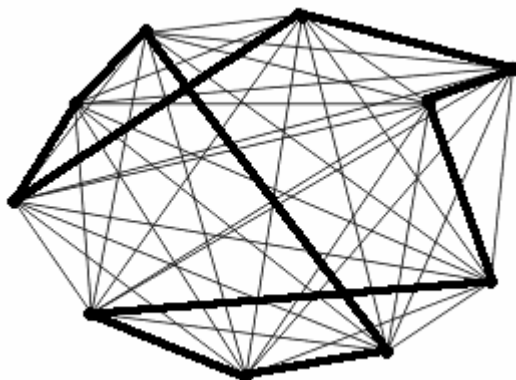
Problem komiwojażera związany jest z tzw. cyklem Hamiltona w grafie, tzn. takim cyklem, który zawiera każdy z wierzchołków V danego grafu dokładnie jeden raz. Komiwojażer musi odwiedzić n lokalizacji w taki sposób, by wrócił do punktu, z którego wyruszył pokonując jak najkrótszą drogę. Musi wyznaczyć więc sobie taką trasę, aby całkowity koszt jego podróży był najmniejszy. Znalezienie właściwego cyklu Hamiltona jest zadaniem trudnym obliczeniowo, ponieważ w grafie pełnym (rys. 2) składającym się z 10 wierzchołków, liczba cykli Hamiltona wynosi $9!$, czyli 362 880.



Rys. 2 Graf pełny

Źródło: Opracowanie własne

Złożoność obliczeniowa otrzymanego wyniku jest klasy wykładniczej, dlatego też koniecznym jest znalezienie cyklu Hamiltona licząc sumę wag krawędzi i zapamiętując cykl o najmniejszej sumie wag. Przykładowy cykl został przedstawiony poniżej (rys. 3).



Rys. 3 Jeden z cykli Hamiltona

Źródło: Opracowanie własne

Nie są znane algorytmy dające dokładne rozwiązanie problemu w czasie wielomianowym¹ dla wielu lokalizacji. Prosty algorytm *brute force*, który wyznacza wszystkie cykle Hamiltona, licząc ich długość i zwracając najkrótszy cykl, może być zastosowany jedynie jeśli liczba wierzchołków w grafie nie jest duża i graf nie jest grafem pełnym.

W praktyce najefektywniejszymi sposobami rozwiązania tego typu zadań są algorytmy genetyczne, algorytmy mrówkowe, algorytmy symulowanego wyżarzania i programowania ewolucyjnego i inne heurystyczne metody. Są to metody dające w większości przypadków jedynie rozwiązania bliskie optymalnemu jednak często rozwiązania te są dopuszczalne i wystarczające. Jak wynika z przeprowadzonych studiów literaturowych skutecznym narzędziem często wykorzystywanym w rozwiązywaniu problemu komiwojażera są algorytmy mrówkowe [2, 14]. Algorytm mrówkowy został zaproponowany przez M. Dorigo, jest techniką szukania rozwiązań w kombinatorycznych problemach optymalizacyjnych. Inspiracją do powstania algorytmu było zachowanie mrówek argentyńskich szukających pożywienia dla swojej kolonii [3].

¹ Czas wielomianowy (ang. *polynomial time*) to czas działania algorytmów wielomianowych, czyli takich dla których istnieje stała całkowita k taka, że liczba operacji potrzebnych do wykonania tego algorytmu na danych o rozmiarze n jest $O(n^k)$.

Warunkiem, aby proponowane narzędzie zyskało uznanie planistów badanego przedsiębiorstwa jest także jego prostota i możliwość wykorzystania rzeczywistych danych m.in. na temat lokalizacji pojemników z odpadami segregowanymi. W tym celu wykorzystano platformę usług sieciowych (ang. *Web services*) Google Maps dostarczaną przez firmę Google. Usługa ta jest niezależna od platformy i implementacji i dostarcza różnych funkcjonalności aplikacjom działającym w rozproszonym środowisku sieciowym.

Google Maps API

Google Maps to zaawansowana usługa sieciowa firmy Google, która oferowana była pierwotnie wyłącznie w serwisie <http://maps.google.com>. Ogromna baza map i zdjęć satelitarnych zawiera także dane dotyczące adresów lokalnych instytucji i punktów usługowych.

Po pewnym czasie producent usługi – firma Google – zaprezentowała i udostępniła pierwszą wersję API (ang. *Application Programming Interface*), która umożliwiała osadzenie mapy na dowolnej stronie internetowej czy aplikacji sieciowej.

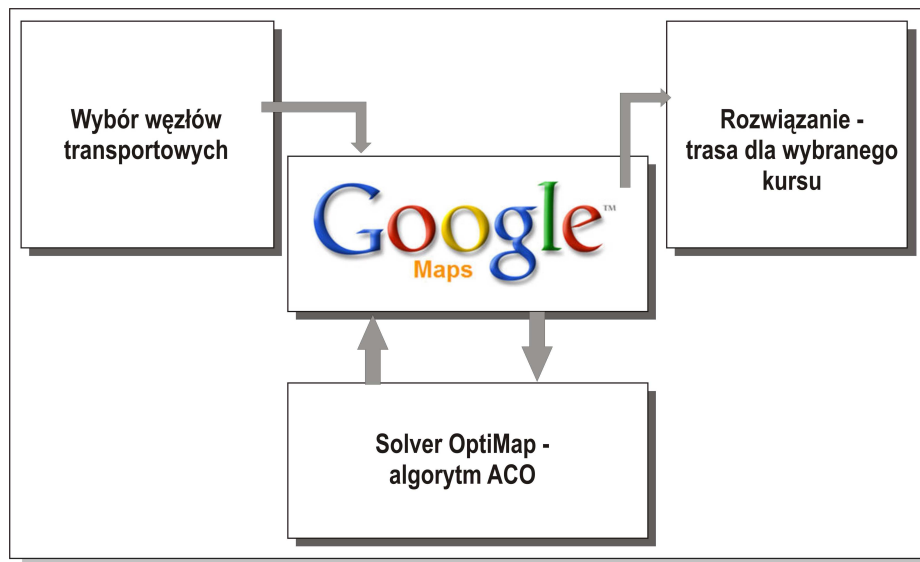
Obecnie funkcjonalność API Google Maps dostępna jest w wersji stabilnej 2 oraz rozwojowej 3. Mechanizmy (obiekty, funkcje, procedury obsługi zdarzeń) obsługujące mapę są zlokalizowane po stronie serwerów Google, przez co autor mapy, czy programista nie musi się troszczyć o implementację metod obsługujących mapy – wystarczy znać jakie obiekty i funkcje są dostępne dla aplikacji zewnętrznych. Najprostszą wersję wykorzystania API Google Maps zaprezentowano na listingu poniżej.

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Strict//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-strict.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
<head>
<meta http-equiv="content-type" content="text/html; charset=utf-8" />
<title>Przykład GoogleMaps API</title>
<script src="http://maps.google.com/maps?file=api&v=2.s&key=JAKIS_KLUCZ_DO_API"
type="text/javascript"></script>

<script type="text/javascript">
  <![CDATA[
    function load() {
      if (GBrowserIsCompatible()) {
        var map = new GMap2(document.getElementById("map"));
        map.setCenter(new GLatLng(50.061392716824024, 19.937353134155273), 17);
      }
    }
  </script>

</head>
<body onload="load()" onunload="GUnload()">
  <div id="map" style="width: 600px; height: 400px">
  </div>
</body>
</html>
```

Zaprezentowany wcześniej algorytm komiwojażera w połączeniu z możliwościami usług sieciowych Google Maps API może stanowić skuteczne narzędzie wspomagające planowanie. Poniżej na rys. 4 zaproponowano koncepcję systemu służącego do optymalizacji tras, którą można zrealizować przy pomocy solvera OptiMap [9] (z zaimplementowanym algorytmem mrówkowym dla problemu komiwojażera) oraz arkusza kalkulacyjnego MS Excel, w którym użytkownik – planista dokonuje wyboru węzłów transportowych planowanych w przewozie.



Rys. 4 Koncepcja systemu planowania tras przewozu odpadów segregowanych
 Źródło: Opracowanie własne

Program, który jest wykorzystywany do optymalizacji trasy przedstawionego przedsiębiorstwa – OptiMap – wykorzystuje API Google Maps. Dla liczby lokalizacji (n) conajmniej dziesięć wykorzystano heurystyczny algorytm mrówkowy (ang. *Ant Colony Optimization*, ACO) napisany w obiektowym języku programowania JavaScript [5, 9]. Dla liczby węzłów $n < 10$ program uzyskuje rozwiązanie wykorzystując prosty algorytm *brute force*, który wyznacza wszystkie cykle Hamiltona, liczy ich długość i zwraca najkrótszy cykl. Rozwiązanie to jest o tyle dobre, iż zawsze zwraca cykl optymalny, a nie przybliżony. Algorytm mrówkowy stosowany dla dużej liczby n nie gwarantuje znalezienia najkrótszej drogi (nie wszystkie możliwe kombinacje ułożenia krawędzi w grafie będą sprawdzone ze względu na wykładniczą złożoność obliczeniową).

4. ANALIZA ROZWIĄZANIA DLA WYBRANYCH TRAS WYWOZU ODPADÓW

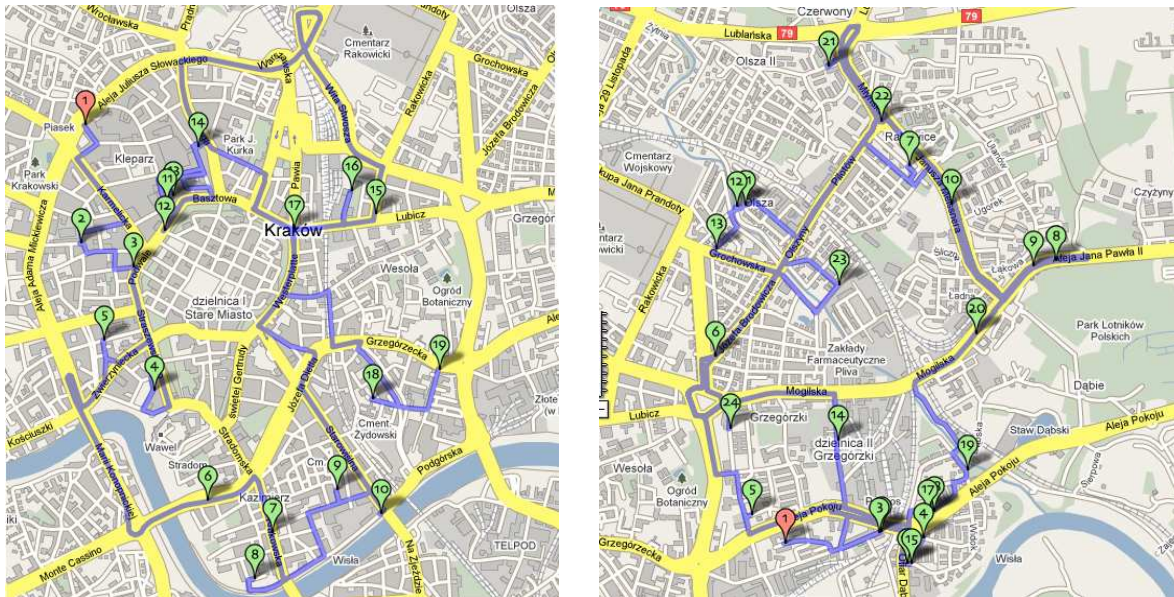
Przedstawione rozwiązanie, mające na celu ograniczenie ruchu w mieście, usprawnienie pracy przedsiębiorstwa, obniżenie kosztów dla firmy dotyczy trasy wywozu materiału typu papier z 43 gniazd rozmieszczonych w dzielnicach będących w centrum miasta. Trasa ta jest jedną z najbardziej problematycznych tras gdyż obejmuje ściśle centrum miasta, które charakteryzuje się największą kongestią.

Rodzaj towaru sam w sobie nie ma wpływu na zmianę metodologii obliczania optymalnej trasy, jedynie harmonogram wywozu towaru (szkło jest znacznie rzadziej wywożone niż papier) wpływa na rozkład jazdy samochodów. Punkty, w których znajdują się pojemniki odwiedzane są zgodnie z harmonogramem przedstawionym w tab. 1 (poniedziałki, środy, piątki), czyli około 11 – 13 razy w miesiącu.

W związku z bardzo dużą ilością punktów do odwiedzenia, algorytmy optymalne nie znalazłyby zastosowania. W celu obniżenia ilości możliwych rozwiązań i spełnienia warunków programu, trasa została podzielona na dwa zbiory punktów, które będą rozpatrywane osobno. Pierwszy zbiór lokalizacji składa się z 19 węzłów, natomiast drugi 24.

Czynnik wpływający na wynik optymalizacji to przede wszystkim ograniczenie czasowe (dzienny czas pracy wynoszący osiem godzin nie może zostać przekroczony), natomiast ładowność pojazdów okazuje się nie być w pełni wykorzystana, tak więc nie stanowi ograniczenia funkcji celu. Rozliczenie towarowe pokazuje, że w ciągu jednego dnia z jednej trasy składającej się z ponad 40 punktów oddawane jest około 2 tony papieru (ponad 30

pełnych pojemników), 6 ton szkła (25 pełnych pojemników) i 0,5 tony plastiku (18 pełnych pojemników). Wszystkie te ilości mogą zostać przetransportowane odpowiednim samochodem bez konieczności wyładunku pośredniego. Trasy przewozów obliczone za pomocą zaproponowanego narzędzia zaprezentowano na rys. 5.



Rys. 5 Trasy przejazdów obliczone za pomocą solvera OptiMap i zaprezentowane na mapach Google

Źródło: Opracowanie własne

Po dokonaniu podstawowych usprawnień dotyczących wyznaczenia optymalnej kolejności odwiedzanych węzłów, całkowity czas obsługi trasy składającej się z 43 punktów wyniósł 7h 10 minut. Jest to wprawdzie czas mieszczący się w ograniczeniu 8 godzin, jednak w momencie niespodziewanych zdarzeń losowych (zwiększony ruch uliczny, zamknięcie ulicy, awaria pojazdu), może dojść do sytuacji, gdy nie cała trasa będzie mogła być obsłużona.

W tym celu proponowane jest rozwiązanie wykorzystujące dane historyczne współczynnika wypełnienia koszy, ażeby wyeliminować sytuacje, gdy pracownik dwukrotnie opróżnia pojemnik zapełniony tylko w połowie swojej pojemności.

Brano pod uwagę średni miesięczny współczynnik wypełnienia pojemników na odpady n , który przyjmuje wartości z przedziału $(0,1)$, przy czym $n=1$ oznacza, że dany pojemnik był za każdym razem pełny, natomiast $n=0$, że zawsze był pusty.

Dokonano analizy współczynnika wypełnienia n dla węzłów, i wyróżniono te, dla których spełniony został warunek $n < 0,5$ oraz $\sigma < 0,25$ (σ – odchylenie standardowe współczynnika wypełnienia liczone dla poszczególnych lokalizacji na podstawie dostępnych danych historycznych). W tych węzłach każdorazowo przy wywozie, pojemniki nie były wypełnione co najmniej w połowie swojej objętości. Odchylenie standardowe natomiast zostało obliczone w celu wykluczenia sytuacji, gdy średnia arytmetyczna została zaniżona poprzez chwilowy brak pojemników w węzle.

Po statystycznej analizie zgromadzonych danych i przyjęciu założeń dotyczących kryteriów odrzucania określonych punktów trasy okazało się, iż kierowca w ciągu jednego dnia pracy będzie musiał odwiedzić średnio tylko 38 punktów (zamiast 43). Zaproponowane zostały również nowe harmonogramy wywozu dla poszczególnych typów odpadów. Przykład takiego harmonogramu dla surowca typu papier (dla trasy nr 1) przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2 Tryb wyjazdów do węzłów po uwzględnieniu współczynników wypełnienia pojemników

Tryb wyjazdu do węzła	Harmonogram wywozu surowca typu papier na trasie 1		
	Poniedziałek	Środa	Piątek
Wyjazd przed usprawnieniem	X	X	X
Wyjazd parzysty	X		X
Wyjazd nieparzysty		X	

Źródło: Opracowanie własne

Zaproponowane rozwiązanie dla analizowanej trasy będzie zawierać tylko 41 punktów, z czego 6 będzie odwiedzanych zamiennie. Oznacza to, iż kierowca w ciągu jednego dnia pracy będzie musiał odwiedzić średnio tylko 38 punktów. Oczywiście w momencie pojawienia się nowych gniazd w okolicach poszczególnych tras, będzie można dodać nowe lokalizacje do listy punktów, z których kierowca będzie musiał odebrać odpady.

Zestawienie wyników analiz dla trasy wywozu surowca typu papier po pierwszym usprawnieniu (ulepszenie kolejności wywozu surowca z poszczególnych lokalizacji) oraz drugim usprawnieniu (wskazanie punktów zbyt często odwiedzanych oraz ponowne ulepszenie kolejności wywozu surowca) zostało przedstawione w tabeli 3.

Tab. 3 Zestawienie wyników dla trasy wywozu surowca typu papier po wstępnym usprawnieniu (43 punkty) oraz po uwzględnieniu danych dotyczących współczynników wypełnienia pojemników

	Czas obsługi 43 punktów		Czas obsługi 38 punktów			
	1 strefa (19 punktów)	2 strefa (24 punkty)	Wyjazdy parzyste		Wyjazdy nieparzyste	
			1 strefa (18 punktów)	2 strefa (20 punktów)	1 strefa (17 punktów)	2 (21 punkty)
Długość trasy pomiędzy węzłami (km)	20	24	20	22	17	23
Czas przejazdu pomiędzy węzłami (min)	50	60	50	56	44	58
Czas obsługi (ilość węzłów x 5 min)	95	120	90	100	85	105
Czas dojazdu do trasy, do sortowni i powrót (min)	95		95		95	
Razem cała trasa	430 min (7h 10 min)		389 min (6h 39 min)*			

Źródło: Opracowanie własne

Zaoszczędzony czas dzięki omijaniu wolno zapełniających się gniazd wyniesie 41 minut, co stanowi około 10 % czasu potrzebnego do pokonania całej trasy. Zaletą rozwiązania jest przede wszystkim możliwość szybkiej reakcji na zmiany – przy każdym dodaniu węzła nowa, optymalna trasa może zostać w prosty sposób obliczona za pomocą programu i wygenerowana w postaci mapy i opisu trasy. Do tej pory sygnalizacja mieszkańców

o przepełnionych koszach czy dodanie nowych koszy było powodem dezorganizacji pracy kierowców. Przy zastosowaniu prostych metod optymalizacji trasy każde nowe zgłoszenie konieczności odwiedzenia węzła nie będzie powodowało zachwiania porządku pracy kierowców i firmy.

Posiadając wiedzę na temat wypełniania koszy oraz punktów zniszczonych, można by również zaplanować przestawienie koszy z miejsc niewykorzystanych do miejsc krytycznych, gdzie zazwyczaj współczynnik zapełnienia koszy był bliski 1.

5. PODSUMOWANIE

Wydaje się, że zaproponowane rozwiązanie optymalizacji trasy wywozu odpadów segregowanych może stanowić prostą i tanią w implementacji metodę wyznaczania kolejności lokalizacji na trasie zbiórki odpadów segregowanych oraz minimalizowania pustych przebiegów. Ze względu na stale rosnącą konkurencję i rozwój rynku obsługi odpadów wdrożenie rozwiązań podobnych do zaproponowanych w pracy może być dla badanego przedsiębiorstwa koniecznością.

Zastosowana aplikacja OptiMap, wykorzystująca usługi sieciowe Google Maps, umożliwi usprawnianie wywozów odpadów segregowanych tak, aby uzyskać maksymalny zwrot z kosztów transportu. Jako główną zaletę zaproponowanego rozwiązania należy wskazać łatwość użytkowania aplikacji i praktycznie brak konieczności zakupu nowej i kosztownej infrastruktury oraz natychmiastowy efekt w postaci zmniejszenia pustych przebiegów. Ponadto, aplikacja może zostać z powodzeniem zastosowana do innych dziedzin działalności przedsiębiorstwa, takich jak czyszczenie ulic czy wywóz frakcji mieszanej.

Dzięki wyraźnemu skróceniu czasu przejazdu samochodów przez miasto, założenia transportowe wynikające z potrzeby racjonalnej polityki w zakresie transportu, takie jak ograniczenie ruchu w mieście, redukcja emisji spalin oraz obniżenie poziomu hałasu, zostaną spełnione.

Jednak ze względu na skalę przedsięwzięcia, zaproponowane rozwiązanie posiada również pewne ograniczenia. Cała trasa przedsiębiorstwa to ponad 570 punktów, a wyznaczenie optymalnej drogi składającej się z tych punktów jest niemożliwe za pomocą prezentowanej aplikacji.

Prezentowane rozwiązanie to zaledwie bodziec do wzbudzenia chęci dalszego poszukiwania rozwiązań informatycznych przez badane przedsiębiorstwo. Następnym krokiem, który powinien zostać podjęty przez przedsiębiorstwo, powinien być przede wszystkim zakup oprogramowania pozwalającego usprawnić przepływ informacji i ich bezpośredni dostęp dla przewoźników, łączenie zleceń przez Internet, czy uzyskanie kontroli nad realizacją planów.

LITERATURA

- [1] Bogajewski T.: *Logistyka zbierania domowych odpadów komunalnych stałych*. Czasopismo „Logistyka” 6/2006, s. 76–78
- [2] Dorigo M., Gambardella L. M.: *Ant colonies for the traveling salesman problem*, Technical Report TR/IRIDIA/1996-3, Université Libre de Bruxelles, Belgium, 1996
- [3] Dorigo M, Stützle T.: *Ant Colony Optimization*, MIT Press, 2004
- [4] Glinka M., *Elementy badań operacyjnych w transporcie*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2007
- [5] Google Maps API <http://code.google.com/apis/maps/documentation/index.html> (dostęp: 21.10.2009)

- [6] Greco F. (Ed.): *Travelling Salesman Problem*, In-tech 2008
- [7] *Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2010* – uchwalony przez Radę Ministrów z dnia 29 grudnia 2006 r., uchwała nr 233, opublikowana w Monitorze Polskim nr 90 poz. 946
- [8] Milewski D.: *Problematyka optymalizacji przewozów całopojazdowych*, Czasopismo „Logistyka” nr 3/2007 s. 37–41
- [9] OptiMap: <http://gebweb.net/optimap/> (dostęp: 21.10.2009)
- [10] Piwowarska-Solarz L. i inni, *Plan selektywnej zbiórki odpadów ze szczególnym uwzględnieniem Punktów Dobrowolnego Gromadzenia Odpadów*, raport wykonany na zlecenie Gminy Brzeźnica, dostępny w Małopolskiej Agencji Energii i Środowiska, Kraków, 2007
- [11] *Polityka Transportowa*, dokument przyjęty uchwałą Nr LXX/468/93 Rady Miasta Krakowa z dnia 8 stycznia 1993 r.
- [12] Ridder J., *Wegeprobleme der Graphen Theorie*, Bericht, Berlin 2007 http://opus.kobv.de/zib/volltexte/2008/1112/pdf/ZR_08_26.pdf (dostęp: 21.10.2009)
- [13] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz.U. Nr 62 poz. 628 z późn. zm.)
- [14] Vescan A., Pintea C.-M., *Ant Colony Component-based System for Traveling Salesman Problem*, Applied Mathematical Sciences, Vol. 1, 2007, no. 28, pp. 1347–1357

IMPROVEMENT OF TRANSPORT PROCESSES USING THE WEB SERVICES ON THE EXAMPLE OF MUNICIPAL ENTERPRISE

Abstract

Aim of this study is to analyze selected processes in the field of urban transport and to propose a new solution that aims to minimize the number of trips in urban areas and relieve the city from the unnecessary transport. The proposed solution combines the use of combinatorial optimization methods and web services such as Google Maps.

Keywords: transport process, travelling salesman problem, ant colony algorithm, Google Maps