

Minimalizacja pracy transportowej wykonywanej przez firmy kurierskie

Wstęp

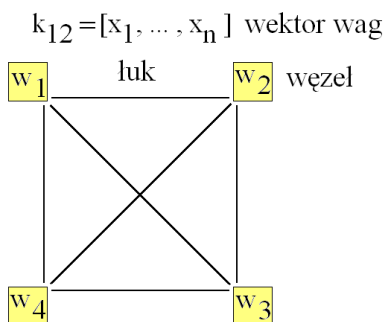
Minimalizacja pracy transportowej wykonywanej przez firmy kurierskie przyczynia się do obniżenia kosztów świadczonych usług oraz skrócenia czasu transportu. Kurierzy zbierają przesyłki z danego obszaru a następnie przesyłają je do magazynu. W magazynie formuje się ładunek zbiorowy, który następnie wysyłany jest do sortowni. W sortowni paczki są sortowane według lokalizacji odbiorców i po powtórnym sformowaniu ładunku zbiorowego są wysyłane do odpowiednich magazynów docelowych. Następnie kurierzy odbierają paczki z magazynu i rozwożą je do odbiorców danego rejonu. Tak w skrócie można opisać prace firmy kurierskiej. Pracę transportową można minimalizować na każdym z tych etapów stosując modelowanie matematyczne procesów transportowych. Artykuł ten prezentuje metody minimalizacji pracy transportowej, które są stosowane w badaniach operacyjnych oraz sposób organizacji firmy kurierskiej. Zaprezentowane wyniki i przemyślenia są przydatne dla firm kurierskich do uzyskania przewagi konkurencyjnej.

1. Zbieranie i rozwożenie przesyłek przez kurierów

Problem komiwojażera (TSP - travelling salesman problem) jest klasycznym zagadnieniem w badaniach operacyjnych i teorii grafów; polega on na znalezieniu najkrótszej drogi, którą przebywa wędrowny sprzedawca odwiedzający n klientów. Sprzedawca wyrusza z magazynu po to aby sprzedać towar, a następnie po sprzedaży wraca z powrotem do magazynu w celu rozliczenia utargu. Można przyjąć, że zamiast sprzedawcy jedzie kurier, który dostarcza i odbiera paczki. Bardziej formalnie ten problem opisywany jest jako znalezienie cyklu Hamiltona o najmniejszej wadze w pełnym grafie ważonym.

Graf pełen, to taki graf w którym każdy wierzchołek ma tylko jedno bezpośrednie połączenie łukiem, ze wszystkimi pozostałymi wierzchołkami (rys. 1). Wierzchołki w_i w tym przypadku reprezentują magazyn, odbiorców i nadawców paczek. Natomiast graf ważony, to taki w którym łukom grafu przyporządkowano wagi, lub wektory wag $k_{n\ m}=[x_1, x_2, x_3, \dots]$. W rozpatrywanym przypadku wagą x_i może być: odległość, czas podróży lub koszt podróży.

Natomiast łuki reprezentują drogi. Łuki mogą być nieskierowane, wtedy wagi nie zależą od zwrotu; lub skierowane, w tym przypadku wagi zależą od zwrotu (kierunku jazdy). Inaczej rzecz ujmując, czas podróży zależy od kierunku w którym porusza się pojazd. Zależnie od tego czy jedzie z w_1 do w_2 , czy z w_2 do w_1 . Takie podejście pozwala na modelowanie korków które tworzą się tylko w jednym kierunku jazdy. Można to zagadnienie bardziej skomplikować i założyć że czas podróży na danym odcinku zależy od pory dnia - tworzenia się korków; wtedy waga staje się funkcją czasu. Natomiast cykl Hamiltona to droga w grafie, która przechodzi przez każdy wierzchołek tylko raz, oraz rozpoczyna i kończy się w tym samym wierzchołku. Innymi słowy, kurier wyrusza z magazynu z paczkami, odwiedza każdego odbiorcę i nadawcę tylko raz, a po czym wraca do magazynu. Natomiast cykl o najmniejszej wadze to taki, który jest najkrótszy, najtańszy lub potrzeba najmniej czasu aby go zrealizować, zależnie od przyjętego kryterium. Wagę danego cyklu oblicza się sumując wagi poszczególnych krawędzi cyklu.



Rys. 1. Przykład grafu pełnego [badania własne]

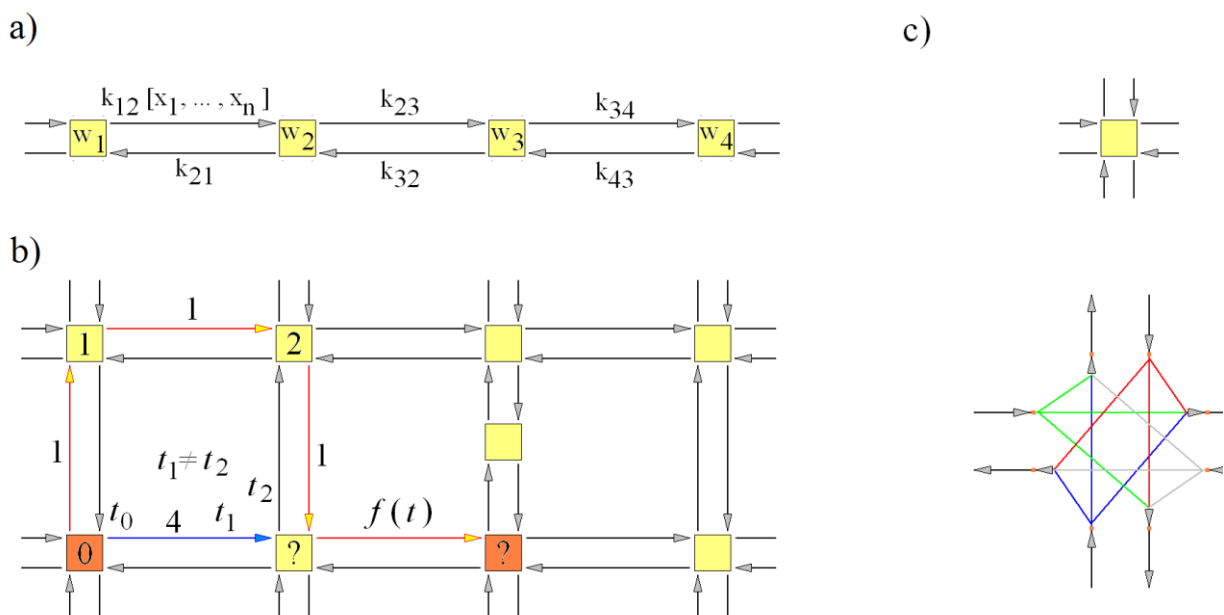
Poszczególne punkty do których dostarczane lub z których odbierane są paczki, nie są połączone bezpośrednimi drogami (łukami). Rzeczywisty układ dróg nie jest więc grafem pełnym. W takim przypadku należy najpierw znaleźć najkrótsze drogi łączące poszczególne punkty, co jest pierwszym krokiem rozwiązywania tego zagadnienia. To jak znaleźć najlepszą drogę pomiędzy dwoma punktami opisano w literaturze [1], dlatego tylko najważniejsze informacje zostaną poniżej przypomniane.

Należy zamodelować system dróg używając teorii grafów. Odcinek drogi można podzielić na krótsze odcinki, po to aby zamodelować różne warunki jazdy i punkty odbioru paczek w pobliskich budynkach (rys. 2a). Natomiast sieć dróg można zamodelować przyjmując, że odcinki dróg pomiędzy skrzyżowaniami to łuki, natomiast skrzyżowania to

Logistyka - nauka

węzły (rys. 2b). W kolejnym kroku można zamodelować skrzyżowania stosując zamiast pojedynczego węzła wiele węzłów i łuków, w rozpatrywanym przypadku zastosowano dwanaście łuków i osiem węzłów (rys. 2c). Takie modelowanie skrzyżowania pozwala na uwzględnienie różnego czasu przejazdu przez skrzyżowanie, w zależności od tego czy jedzie się prosto, skręca w prawo, lub lewo.

Dla tak zamodelowanego systemu dróg można znaleźć najkrótszą drogę, na przykład metodą Dijkstry, pod warunkiem że wagi są stałe; w przeciwnym wypadku należy zastosować algorytmy niestandardowe. Jeśli wagi są funkcjami czasu, wtedy można zastosować algorytmy genetyczne, heurystyczne, lub poszukiwać dróg objazdu (rys. 2b)[1]. Znalazienie objazdu dla zakorkowanego odcinka nie gwarantuje jednak znalezienia lepszej drogi, ponieważ wagi pozostałych łuków mogły ulec zmianie w trakcie zaoszczędzonego czasu. Jak widać zagadnienie to staje się osobnym problemem.



Rys. 2. Sposoby modelowania odcinka drogi a), sieci dróg b) oraz skrzyżowania c) [badania własne]

Po znalezieniu dróg o najmniejszej wadze, można rozpocząć rozwiązywanie zagadnienia komiwojażera. Jeśli wagi dróg są stałe, wtedy można zastosować metody które są znane, na przykład metodę Little'a (1962r.) opartą na macierzy sąsiedztwa [2]. Natomiast w przypadku gdy wagi są funkcją czasu należy zastosować metody niestandardowe, takie jak algorytmy genetyczne czy heurystyczne. Nie ma więc gwarancji znalezienia rozwiązania optymalnego, w praktyce wystarczy jednak znalezienie rozwiązania bliskiego optymalnemu.

Logistyka - nauka

Podstawową trudnością tego zagadnienia jest znaczna liczba możliwych rozwiązań którą określa poniższy wzór:

$$m=n! \quad (1)$$

gdzie n to liczba paczek do dostarczenia, natomiast m to liczba możliwych rozwiązań. Dla $n=100$ $m \approx 9,3326 \cdot 10^{157}$.

Można teraz opisać w skrócie prace kuriera. Kurierzy otrzymują paczki w godzinach od 5.30 do 7.00, następnie skanują ich kody (kreskowe, mozaikowe, RDIF), co powoduje wprowadzenie danych do czytnika kodów (podręcznego komputera, który ma odbiornik GPS i bezprzewodowy internet). W ten sposób kurierzy tworzą listę doręczeń. Jeden kurier otrzymuje około stu paczek. Potem kurierzy wyjeżdżają aby rozwieźć paczki. Oczekiwany czas dostarczenia paczki determinuje kolejność odwiedzanych odbiorców. Paczki priorytetowe mogą być dostarczane na przykład do godziny 9:00, 10:00 czy 12:00. Oznacza to, że algorytm optymalizacyjny musi uwzględniać okna czasowe. Najprostszym rozwiązaniem jest rozwożenie najpierw paczek o najwyższym priorytecie, a potem tych o niższym. Paczki priorytetowe powinny mieć kolorowe listy przewozowe zgodne z ideą poka-yoke. Ponadto ryzyko opóźnienia powinno być sygnalizowane przez podręczny komputer. Rozwiązanie bardziej złożone, to rozwożenie paczek zwykłych wcześniej, o ile przyniesie to oszczędność i nie spowoduje niedostarczenia paczek priorytetowych na czas. Zbliżanie się kuriera do odbiorcy może być sygnalizowane przez automatycznie generowaną wiadomością tekstową SMS, co pozwala na skrócenie czasu rozwożenia przesyłek, ponieważ zmniejsza się czas poszukiwania klienta. Takie rozwiązanie jest oferowane przez Instytut Logistyki i Magazynowania. Jak widać pojawia się w tym przypadku czynnik losowy, którym jest obecność odbiorcy przesyłki. W przypadku nieobecności klienta optymalizacja trasy powinna zostać wykonana jeszcze raz. Algorytm optymalizacyjny musi więc być efektywny.

Kolejne zagadnienie to odbiór paczek od klientów. Można spotkać różne rozwiązania w tym względzie. Jednym z nich jest zbieranie paczek, po tym jak wszystkie paczki odebrane z magazynu zostały już dostarczone i kurier ma pusty przedział ładunkowy. Rozwiązanie to pozwala na uniknięcie stacji w której paczka przez nieuwagę nie została dostarczona. Inne rozwiązanie to jednoczesne rozwożenie i zbieranie paczek. W tym przypadku podręczny komputer powinien ułatwiać rozwożenie paczek i przedstawiać listę paczek niedoręczonych. Ostatnim rozwiązaniem jest rozwożenie i zbieranie paczek przez różnych kurierów, co

Logistyka - nauka

pozwała na skrócenie czasu obsługi danej strefy doręczeń i uniknięcie pomyłek. Kurierzy kończą pracę około 19:00.

Jak widać program optymalizujący trasę kuriera musi uwzględniać sposób działania firmy kurierskiej. Ponadto powinien być efektywny i powinien być zainstalowany na komputerze podręcznym lub innym komputerze dostępnym dla kuriera. Dobrze jeśli program uwzględnia doświadczenie kuriera i zmiany drogi wprowadzone przez niego.

W obrębie danego magazynu (oddziału lokalnego) pracuje wielu kurierów. Zagadnienie to z dobrym przybliżeniem opisuje problem wielu komiwojazerów (mTSP - multipletravelingsalesman problem) [3]. Zagadnienie to w porównaniu do poprzedniego jest bardziej złożone, ponieważ dochodzi:

- podział paczek pomiędzy kurierów,
- podział obszaru wokół magazynu na rejony doręczeń,
- przyporządkowane kurierom rejonów doręczeń i
- wybór liczby kurierów.

Firmy kurierskie powinny rozwiązywać problem wielu komiwojazerów, dlatego że jest on bliski zagadnieniu dystrybucji i zbierania przesyłek z danego obszaru. Problem ten rozwiązuje się stosując algorytmy genetyczne i heurystyczne.

Podjęcie firm kurierskich do tego zagadnienia jest różne. Niektóre firmy działalność kurierów poddały outsourcingowi, płacą im za dostarczenie pojedynczej przesyłki lub odwiedzenie lokalizacji i nie interesują się optymalizacją tras. Jeśli płacą za dostarczenie pojedynczej przesyłki, wtedy kilku kurierów w ciągu jednego dnia może dostarczać kolejne paczki temu samemu odbiorcy. Natomiast nieliczne firmy widzą w optymalizacji tras możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej [4]. Ponadto podział na strefy doręczeń bazuje czasem na podziale administracyjnym, który nie musi być najlepszym rozwiązaniem (rys. 3)[5]. Można zadać pytanie, czy warto tym tematem się zajmować? Usługa oferowana przez InPost, polegająca na dostarczaniu paczek z wykorzystaniem paczkomatów kosztuje od 8,99 PLN za paczkę o wymiarach 8 x 38 x 64 cm i masie do 25kg [6]. Natomiast najtańsza usługa kurierska dla takiej paczki, oferowana przez Fed Ex kosztuje 15,07 PLN [7]. Jak widać procentowy udział kosztu osobistego odebrania i dostarczenia przesyłki przez kuriera jest znaczący w całkowitym koszcie przesłania.

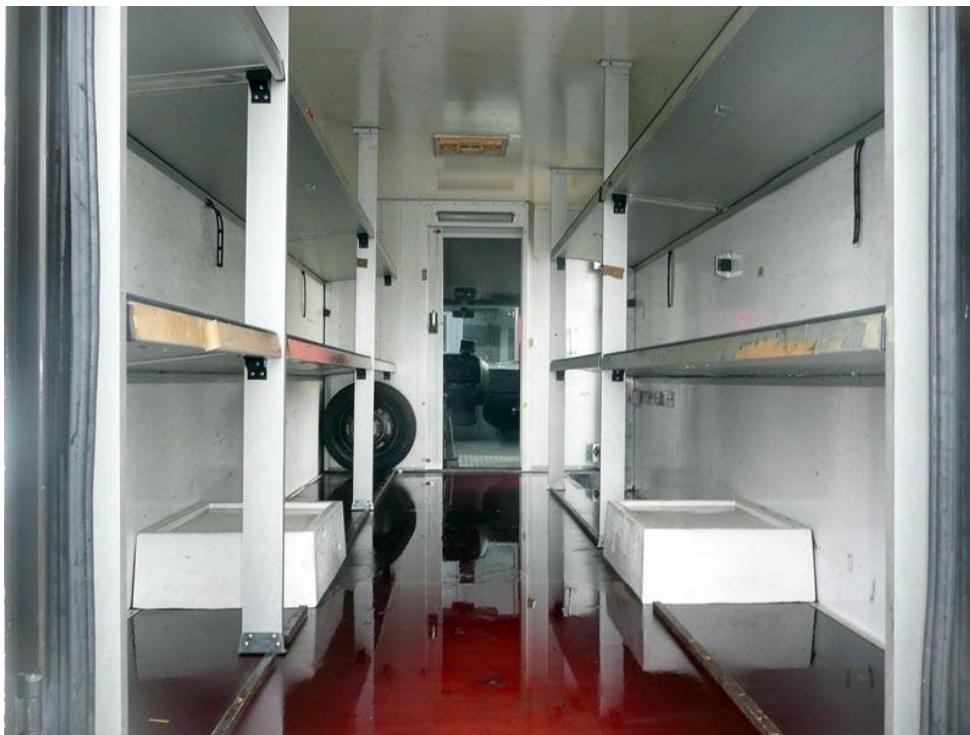
Kolejnym zagadnieniem często niedocenianym przez część firm kurierskich jest uporządkowanie przestrzeni ładunkowej samochodów dostawczych (5S). Montaż składanych

Logistyka - nauka

pólek pozwala na skrócenie czasu zawiązanego z poszukiwaniem paczek, oraz zmniejszenie liczby reklamacji wynikających z uszkodzenia przesyłek (rys. 4).



Rys. 3. Przykładowy podział miasta na strefy [5]



Rys. 4. Przykład organizacji przestrzeni ładunkowej samochodu kuriera [8]

2. Sposób organizacji transportu przesyłek pomiędzy lokalnymi oddziałami

Infrastruktura i sposób działania firmy kurierskiej powinny być dostosowane do liczby przewożonych przesyłek. Mniejsze firmy wykorzystują zazwyczaj od jedenastu do trzydziestu magazynów i jedną sortownię centralną. Magazyny są zlokalizowane zwykle w miastach wojewódzkich lub ich okolicy, natomiast centralna sortownia zlokalizowana jest zazwyczaj w okolicy Łodzi. Sortownie pracują w nocy od 21:00 do 5:00, obsługując nocne połączenia z magazynami lokalnymi (wahadła).

Wszystkie paczki przywiezione przez kurierów do magazynu lokalnego mogą zostać przesłane do sortowni centralnej, niezależnie od lokalizacji odbiorcy. Takie podejście upraszcza procedury i redukuje infrastrukturę magazynu lokalnego. Inne podejście to sortowanie paczek w magazynie lokalnym. Pozwala to na zmniejszenie pracy transportowej, ponieważ część paczek ma odbiorców w rejonie tego samego magazynu lub rejonach sąsiednich magazynów. Kolejną zaletą tego rozwiązania jest to, że paczki trafiają do centralnej sortowni wcześniej posortowane. Następną modyfikacją jest dostarczenie paczki z pominięciem magazynu lokalnego, jeśli odbiorca i nadawca mają siedziby w rejonie obsługiwanym przez tego samego kuriera.

Lokalizację sortowni centralnej można wyznaczyć minimalizując pracę transportową wyrażoną w tkm. Liczba osób mieszkających na terenie danego województwa jest znana, znane są także odległości pomiędzy miastami wojewódzkimi. Można założyć, że liczby wysyłanych i odbieranych paczek dla danego województwa są proporcjonalne do liczby ludności oraz że lokalizacja odbiorcy nie zależy od lokalizacji nadawcy. Zagadnienie to rozwiązuje się mnożąc macierz odległości przez macierz masy paczek transportowanych na danej relacji (magazyn - sortownia centralna - magazyn). W rozważanym przypadku liczbę osób mieszkających w danym województwie pomnożono przez 0,001t, w ten sposób uzyskując masę paczek transportowanych do i z danego miasta wojewódzkiego (magazynu). Obliczenia wykonano w arkuszu kalkulacyjnym dla wybranych miast (rys. 5). Jak wynika z obliczeń najkorzystniejszą lokalizacją jest Łódź, ponieważ dla tej lokalizacji uzyskano najmniejszą pracę transportową. Ponadto lokalizacja ta spośród analizowanych miast posiada najmniejszą odległość do najbardziej oddalonego miasta – Szczecina (450km). Obliczenia przeprowadzone dla większej liczby miast także wskazują na Łódź jako najlepszą lokalizację sortowni. Ponadto Łódź leży na skrzyżowaniu autostrad A1, A2 i drogi ekspresowej (rys. 6).

Logistyka - nauka

Połączenia pomiędzy sortownią centralną a magazynami mogą być bezpośrednie. Inne rozwiązanie to połączenia przelotowe, które umożliwiają małym firmom zmniejszenie liczby używanych samochodów. W tym przypadku samochód jest częściowo załadowywany i rozładowywany po drodze do i z magazynu docelowego. Samochód taki może także odebrać lub pozostawić przyczepę na terenie danego magazynu. Takie podejście pozwala na skrócenie czasu dostawy, redukcje pracy transportowej i pominięcie sortowni centralnej w części przypadków.

Macierz odległości pomiędzy miastami w km															Macierz mas przesyłanych paczek do i z magazynu w t			Macierz pracy transportowej w tkm																			
	Białystok	Bydgoszcz	Gdańsk	Gorzów	Katowice	Kielce	Kraków	Lublin	Łódź	Olsztyn	Opole	Poznań	Rzeszów	Szczecin	Warszawa	Wrocław	Białystok	Bydgoszcz	Gdańsk	Gorzów Wielki	Katowice	Kielce	Kraków	Lublin	Łódź	Olsztyn	Opole	Poznań	Rzeszów	Szczecin	Warszawa	Wrocław					
Białystok	0	400	395	608	490	365	445	295	215	235	505	485	430	660	190	535	1200,982	2098,37	14917888																		
Bydgoszcz	400	0	170	210	405	345	477	420	205	200	340	130	525	260	255	275	2098,37	0	11225916																		
Gdańsk	395	170	0	315	530	505	610	515	340	160	515	330	685	365	341	485	2283,5	15471114																			
Gorzów Wielki	608	210	315	0	465	465	585	580	345	410	355	135	645	105	440	270	1023,158	14816448																			
Katowice	490	405	530	465	0	210	70	330	205	480	110	360	240	570	300	195	4626,357	10563153																			
Kielce	365	345	505	465	210	0	135	180	135	395	230	330	180	569	175	300	1278,116	10058212																			
Kraków	445	477	610	585	70	135	0	255	275	537	185	440	170	690	315	270	3346,796	11764859																			
Lublin	295	420	515	580	330	180	255	0	250	385	405	445	175	680	170	415	2171,857	12409151																			
Łódź	215	205	340	345	205	135	275	250	0	275	200	210	320	450	135	225	2533,681	8556140																			
Olsztyn	235	200	160	410	480	395	537	385	275	0	282	206	634	290	500	197	1452,596	13606735																			
Opole	505	340	515	355	110	230	185	405	200	282	0	255	350	455	315	85	1013,95	10400066																			
Poznań	485	130	330	135	360	330	440	445	210	206	255	0	510	240	305	170	3455,477	10970159																			
Rzeszów	430	525	685	645	240	180	170	175	320	634	350	510	0	750	310	435	2128,687	14179818																			
Szczecin	660	260	365	105	570	569	690	680	450	290	455	240	750	0	515	370	1727,737	17679363																			
Warszawa	190	255	341	440	300	175	315	170	135	500	315	305	310	515	0	345	5285,604	10022149																			
Wrocław	535	275	485	270	195	300	270	415	225	197	85	170	435	370	345	0	2916,577	10610639																			

Rys. 5. Obliczenia pracy transportowej dla różnych lokalizacji sortowni [badania własne]



Rys. 6. Główne drogi na terenie Polski [9]

Ciekawym rozwiązaniem jest używanie pojemników na kółkach, o wymiarach palety Euro, które służą do transportu paczek (rys. 7). Chronią one paczki przed uszkodzeniem, a ponadto umożliwiają łatwy rozładunek samochodu bez użycia wózka widłowego, co jest ważne dla małych firm.



Rys. 7. Pojemniki do transportu przesyłek [10]

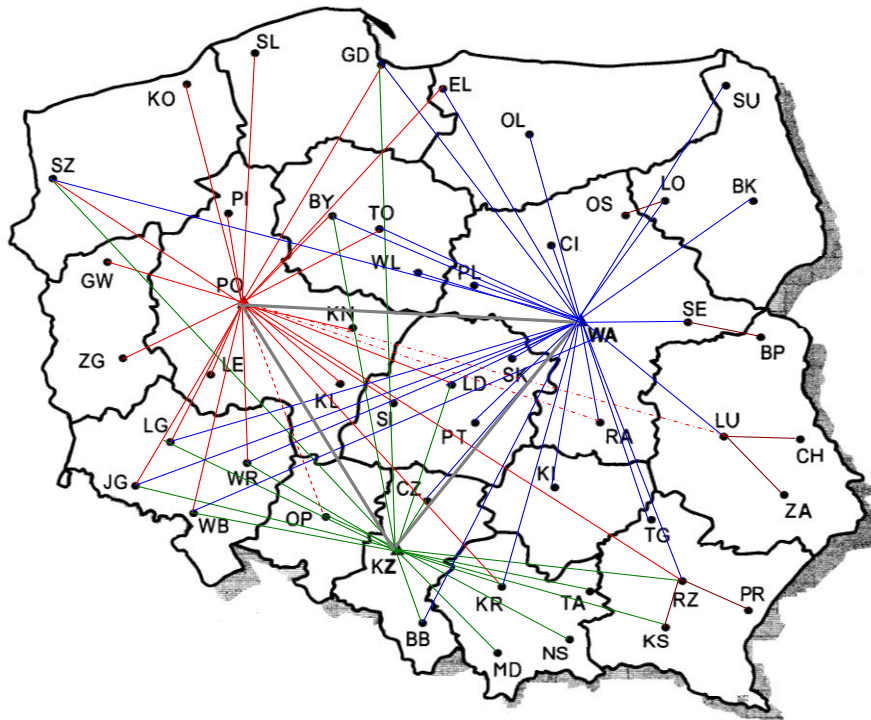
Większe firmy posiadają około pięćdziesięciu oddziałów (magazynów) i kilka sortowni. Takie rozwiązanie pozwala na zmniejszenie pracy transportowej. Mniejszą pracę transportową wykonują kurierzy, ponieważ mają krótszą drogę do pokonania do najdalej oddalonego klienta. Połączenia wahadłowe także są krótsze, ponieważ najbliższa sortownia jest w miarę blisko. W ten sposób funkcjonuje na przykład DHL (rys. 8). Rozwiązanie to wymaga jednak większych nakładów inwestycyjnych, co wpływa na cenę usługi.

Największe firmy posiadają zamiast magazynów sortownie. Ponadto decydują się na utrzymywanie połączeń - każdy z każdym jak w grafie pełnym. W ten sposób skracają czas dostawy, oraz redukują operacje załadunku i rozładunku.

Wyboru lokalizacji wielu sortowni dokonuje się modelując i minimalizując pracę transportową. Więcej jest jednak zmiennych aniżeli poprzednio. Zmiennymi są:

- liczna sortowni,
- lokalizacja sortowni,
- połączenia wahadłowe sortowni z magazynami i innymi sortowniami.

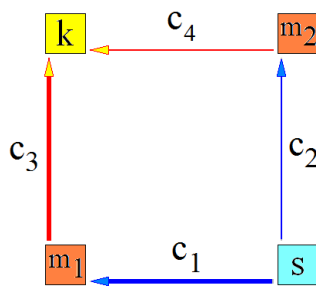
Problem ten można zoptymalizować stosując algorytmy genetyczne i metodę Monte Carlo.



Rys. 8. Połączenia pomiędzy oddziałami firmy DHL [11]

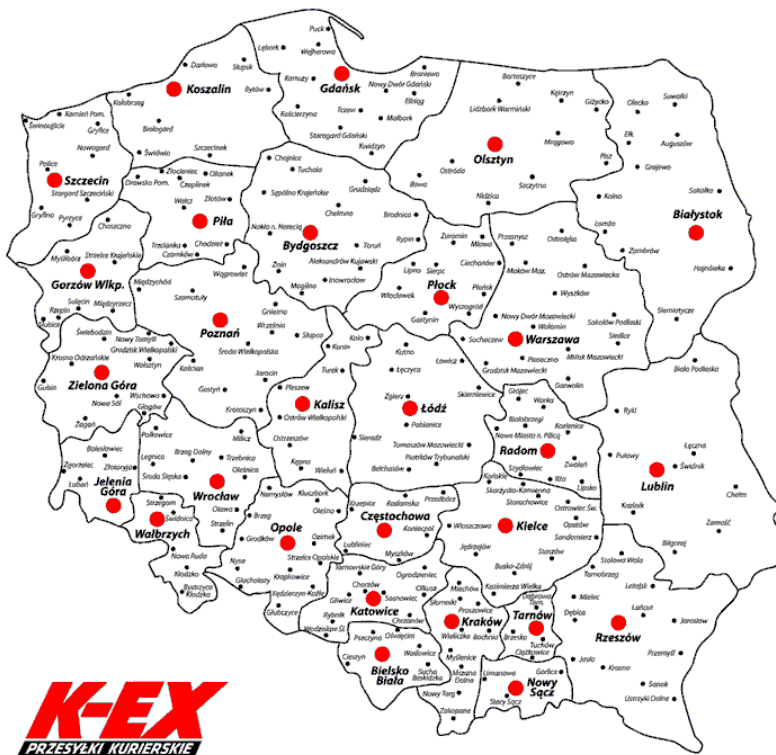
Ostatnim zagadnieniem, które zostanie tutaj opisane, jest przydzielenie odbiorców do danego oddziału. Podział administracyjny kraju może być pewną sugestią w tym względzie, ale nie musi być najlepszym rozwiązaniem. Kryterium przydzielenia danej miejscowości do oddziału może być praca transportowa, czas dojazdu lub koszt transportu. Należy zaznaczyć, że cena za kilometr ładowny dla samochodu o ładowności 25t wynosi 3,6 PLN/km (0,144 PLN/tkm), natomiast dla samochodu o ładowności 1,6t 1,2 PLN/km (0,75 PLN/tkm), co należy uwzględnić w obliczeniach. Problem wyboru magazynu i drogi dostawy, w tym przypadku można zredukować do porównania kosztów dostarczenia paczki do danej miejscowości (rys. 9). Algorytm Bellmana-Forda jest jedną z metod rozwiązania tego problemu. Inne rozwiązanie to symulacja pracy wielu komiwojazerów dla różnych granic oddziałów, co jest trudnym zagadnieniem. Przykładową mapę granic oddziałów przedstawiono poniżej (rys. 10).

$$c_1 + c_3 < c_2 + c_4$$



- s - sortownia centralna
- m₁ - magazyn lokalny
- m₂ - magazyn lokalny
- k - klient
- c - koszt ransportu na danej trasie

Rys. 9. Problem wyboru drogi dostawy [badania własne]



Rys. 10. Przykładowe granice oddziałów firmy kurierskiej [12]

Podsumowanie

W pracy tej przedstawiono sposób działania i organizacji firm kurierskich oraz opisano w jaki sposób odbywa się przepływ przesyłek. Przepływ przesyłek można modyfikować w celu zmniejszenia pracy transportowej oraz obniżenia kosztów. Część firm kurierskich dostrzega, że optymalizacja przepływu przesyłek może stanowić przewagę

konkurencyjną, inne firmy natomiast lekceważą to zagadnienie. Ponadto wymieniono lub zaprezentowano metody optymalizacji, które służą do zmniejszenia pracy transportowej i obniżenia kosztów.

Minimisation of courier company freight transportation quantity

Summary: This article presents organization of courier companies and consignments flows. The consignments flows can be optimized in order to reduce freight transportation quantity and operating costs. Some courier companies realized, that optimization of consignments flows is a competitive edge, whereas others courier companies neglect this issue. Moreover optimization methods, which are used in operational research, were presented or mentioned.

Literatura

- [1] R. Kostek, M. Łukasiewicz, T. Kałaczyński, *Optymalizacja tras transportu drogowego w celu minimalizacji emisji CO²*, 2013 6 905-913
- [2] D.B. Shmoys, J.K. Lenstra, A.H.G. RinnooyKan, E.L. Lawler, *The Traveling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization* Wiley & Sons, 1985
- [3] T. Bektas, *The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. OMEGA: The International Journal of Management Science* 2006 34 209-219
- [4] <http://www.pcworld.pl/news/133903/Program.ktory.chroni.przed.skrecaniem.w.lewo.html>
- [5] <http://www.arrows.com.pl/page/open.php?pageID=5&pageTID=43&c=1>
- [6] <http://paczkomaty.pl/pl/cenniki-i-regulaminy>
- [7] <http://www.kurierem.pl/porownanie-cen-paczek>
- [8] <http://www.carvel.pl/cfm/samochod.php>
- [9] <http://truckmapa.wagaciezka.com/>
- [10] <http://www.kaiserkraft.pl/urzadzenia-transportowe-i-wozki/c/62858-KK/>
- [11] <http://www.dhl.com.pl/>
- [12] <http://k-ex.pl/kontakt>