

Paweł Hanczar

Akademia Ekonomiczna we Wrocławiu

OPTIMALIZACJA TRAS DOSTARCZANIA PRASY W SIECI DYSTRYBUCJI BEZPOŚREDNIEJ

1. Wyznaczanie tras pojazdów

W celu podniesienia poziomu obsługi klienta oraz zmniejszenia kosztów transportu, wiele przedsiębiorstw zwiększa swoje zaangażowanie w tworzenie efektywnych strategii dystrybucji. W typowym systemie dystrybucyjnym pojazdy służą do dostarczania towarów, do odbioru i dostarczania przesyłek lub do transportu serwisantów do rozproszonych geograficznie odbiorców towarów i usług. W wielu zastosowaniach (np. w dystrybucji napoi, lekarstw, w dostarczaniu uczniów do szkół czy wywozie śmieci) głównym zadaniem jest wyznaczenie takiego zbioru tras, który przy pewnych dodatkowych warunkach minimalizuje łączne operacyjne koszty dystrybucji. Problem ten, związany z kryterium minimalizacji kosztów (często utożsamianych z łączną długością wszystkich tras), jest określany jako wyznaczanie tras pojazdów (*vehicle routing problem* – w skrócie VRP). Takie sformułowanie problemu daje wiele możliwości wykorzystywania teoretycznych metod rozwiązywania VRP w praktyce. Oprócz samochodowej dystrybucji towarów metody te umożliwiają optymalizację dystrybucji z wykorzystaniem innych środków transportu oraz optymalizację zwożenia towarów (np. zwożenia śmieci przez przedsiębiorstwa komunalne). Zastosowania praktyczne wymagają jednak uwzględnienia dodatkowych warunków wynikających ze specyfiki określonego przypadku, co znacznie utrudnia wykorzystanie tych metod.

W artykule przedstawiono wykorzystanie metod rozwiązywania VRP do planowania dystrybucji tygodnika reklamowego na obszarze Wrocławia.

2. Sieć dystrybucji tygodnika reklamowego

Opisywane wydawnictwo jest bezpłatnym tygodnikiem wychodzącym m.in. we Wrocławiu. W zależności od miasta stosowany jest różny sposób dystrybucji dziennika. We Wrocławiu – którego dotyczy prezentowana analiza – 99% nakładu gazety

jest dostarczanych przez kolporterów bezpośrednio do lokali mieszkalnych, określanych dalej jako odbiorcy.

Odbiorcy, którym jest dostarczany tygodnik, zostali wybrani na podstawie oceny lokali dokonanej na początku procesu tworzenia sieci dystrybucji z uwzględnieniem maksymalnego nakładu gazety, wynoszącego 55 000 egzemplarzy. W zależności od sposobu jej dostarczania odbiorcy zostali podzieleni na trzy grupy. Pierwsza grupa, określana mianem „dom”, to budynki wolno stojące, takie jak domki jednorodzinne, szeregowce i bliźniaki. Do grupy drugiej zaliczane są bloki i wieżowce z klatkami mieszkalnymi wyposażonymi w wieszak na gazetę (tzw. stand). Tym odbiorcom kolporter zostawia określoną liczbę gazet w wieszaku, z którego mieszkańcy klatki osobiście odbierają czasopismo. Ta grupa odbiorców jest określana mianem „blok”. Ostatnia grupa to bloki i wieżowce z klatkami bez wieszaka na gazetę, w których kolporter musi dostarczyć gazetę bezpośrednio pod drzwi lokalu. Ten sposób dostarczania jest nazywany „kłamką”.

Wybór sposobu dostarczania gazety odbiorcom mieszkającym w blokach, a więc wybór między „kłamką” a korzystniejszym dla kolportera „blokiem” nie leży w gestii samego wydawcy, ale wynika z ustaleń między wydawnictwem a zarządcą budynku.ady i zalety realizowanych sposobów dostarczania zaprezentowano w tab. 1.

Tabela 1. Sposoby dostarczania czasopisma – wady i zalety.

| Typ dostarczania | Wady | Zalety |
|------------------|---|--|
| Blok | wymagane wejście do klatki | jednorazowo wiele gazet |
| Klamka | wymagane odwiedzenie każdego lokalu konieczne wejście do klatki | |
| Domek | duże odległości pomiędzy odbiorcami dostawa dotyczy tylko 1 gazety | możliwość dostarczenia bez konieczności wchodzenia do klatki |

Źródło: opracowanie własne.

Zgodnie z założeniem gazeta powinna być dostępna dla odbiorcy najpóźniej w piątek we wczesnych godzinach rannych. Wyjątkowo dopuszcza się, aby dystrybucja była kończona w piątek do południa. To powoduje, że cały proces dystrybucji gazety jest realizowany w czwartki. W tym celu w godzinach od 8.00 do 12.00 kolporterzy zgłaszają się po odbiór gazet do magazynu centralnego, znajdującego się we Wrocławiu przy ulicy Dubois w wyznaczonej wcześniej kolejności. Gazety są tam dostarczane z drukarni w czwartek we wczesnych godzinach rannych.

W obecnej sytuacji podstawowym założeniem przyjętym przez kierownictwo wydawnictwa podczas planowania dystrybucji jest minimalizowanie zmian w przydziale odbiorców określonych kolporterów, gdyż – zdaniem wydawnictwa – przy tak

dużej liczbie odbiorców tylko dobra znajomość położenia odbiorców umożliwia kolporterom efektywną obsługę. Jediną sytuacją, w której dopuszcza się zmianę przyporządkowania odbiorców do tras, jest zwolnienie kolportera. Wtedy wybranym pracownikom proponuje się zmianę części bądź wszystkich obsługiwanych odbiorców, a nowo przyjęty kolporter obsługuje pozostałych.

W celu ułatwienia przydziału odbiorców do kolporterów wszyscy odbiorcy zostali podzieleni przez redakcję mniej więcej na 50 grup. Podstawą podziału były głównie granice dzielnic miasta oraz intuicyjne przekonanie, że w optymalnym sposobie dystrybucji odbiorcy z jednej dzielnicy powinni być obsługiwani przez tego samego kolportera. W tab. 2 przedstawiono listę grup odbiorców (stan na początek września 2004 roku) wraz z łącznym zapotrzebowaniem na gazety.

Tabela 2. Przydział grup odbiorców do tras (stan na koniec września 2004 roku)

| Trasa | Zapotrzebowanie [szt.] | Obsługiwane grupy odbiorców |
|---------|------------------------|-----------------------------|
| 1 | 1 360 | 15, 24 |
| 2 | 1 890 | 17, 19 |
| 3 | 2 140 | 16, 51 |
| 4 | 6 295 | 41, 42, 57, 25 |
| 5 | 2 288 | 40 |
| 6 | 687 | 29 |
| 7 | 313 | 3, 4 |
| 8 | 1 631 | 59, 38, 58 |
| 9 | 2 692 | 37, 47 |
| 10 | 1 863 | 12, 45 |
| 11 | 2 056 | 10, 43, 49 |
| 12 | 1 614 | 9 |
| 13 | 2 272 | 35 |
| 14 | 4 609 | 20, 53, 28, 2, 1 |
| 15 | 3 116 | 44 |
| Łącznie | 34 826 | |

Źródło: opracowanie własne.

Jako pierwszy czynnik powodujący powstawanie problemów podczas zarządzania siecią w opisywanym wydawnictwie należy wymienić przyjęcie pewnego, częściowo

subiektywnego sposobu grupowania odbiorców. Przekonanie, że w optymalnym sposobie dystrybucji odbiorcy z jednej dzielnicy powinni być obsługiwani przez tego samego kolportera jest poprawne tylko wtedy, gdy:

- zapotrzebowanie w uzyskanych grupach odbiorców jest małe w stosunku do ładowności środka transportu (duże zapotrzebowania grupy odbiorców w stosunku do ładowności środka transportu uniemożliwia jego pełne wykorzystanie [Altinkemer 1991]);
- odbiorcy w dzielnicach, według których dokonano grupowania, tworzą regularne skupienia (grupowanie odbiorców z dzielnic sąsiadujących ze sobą według podziału administracyjnego uniemożliwia w procesie optymalizacji uzyskanie optymalnych rozwiązań).

Ponadto podział odbiorców na grupy o dużej liczebności powoduje, że kolporter w ramach jednej trasy sam podejmuje decyzje o kolejności odwiedzania. Powoduje to:

- długi czas uczenia się trasy przez kolporterów;
- brak możliwości kontroli dostarczania gazet;
- trudności w zmianie planu dystrybucji, np. w razie obniżenia nakładu.

Nierównomierny przydział odbiorców do kolporterów powoduje także powstawanie licznych problemów personalnych, których obecnie wydawnictwo na ogół nie uwzględnia. W opisywanym przypadku ma to szczególnie duże znaczenie, gdyż podstawą do rozliczenia wydawnictwa z kolporterami jest liczba gazet dostarczonych sposobem blok, klamka oraz liczba gazet dostarczonych sposobem domek. Nieuwzględnianie podczas wyznaczania wynagrodzenia lokalizacji odbiorców, a zatem i długości tras powoduje, że kolporterzy chętniej pracują, na trasach łatwiejszych pod względem obsługi. Skutkiem tego była konieczność zlecenia przez wydawnictwo dystrybucji do wszystkich odbiorców typu domek firmie zewnętrznej, pomimo że przez długi czas dystrybucją do tych odbiorców zajmowali się kolporterzy.

Drugim czynnikiem istotnie wpływającym na możliwość planowania dystrybucji jest wykorzystanie jako wskaźnika charakteryzującego trasę tylko łącznego zapotrzebowania na gazety. Uwzględnienie dodatkowo położenia odbiorców umożliwiłoby wyznaczenie długości tras i pozwoliło na opracowanie bardziej sprawiedliwego niż obecnie sposobu wyznaczania wynagrodzenia. Dodatkowo przekazywanie kolporterom szczegółowego sposobu dystrybucji pozwoli na większą kontrolę nad kolporterami oraz zapewni krótki czas „przystosowywania” się kolportera do trasy.

Głównym celem badań jest stworzenie modelu przedstawionej sieci dystrybucji uwzględniającego rzeczywiste położenie odbiorców. Następnie model ten zostanie użyty w procesie optymalizacji dystrybucji oraz umożliwi większą kontrolę nad realizacją dystrybucji.

3. Planowanie tras dostarczania tygodnika

Punktem wyjścia do określania sposobu dystrybucji była mapa Wrocławia. Następnie została ona przetworzona, przez skanowanie, do postaci pliku graficznego

o wymiarach 7200×5247 punktów. W dalszej części prac mapa ta w postaci elektronicznej była układem odniesienia do wyznaczania położenia odbiorców. W przygotowanym układzie została określona lokalizacja każdego odbiorcy na mapie. Następnie położenie każdego odbiorcy określono za pomocą współrzędnych punktu odpowiadającego jego lokalizacji na mapie. Długość jednej jednostki w używanym układzie współrzędnych odpowiada odległości 3,34 metra.

Dalej przedstawione analizy będą dotyczyć tylko odbiorców obsługiwanych bezpośrednio przez redakcję (tj. około 5000 punktów dostarczania).

Tabela 3. Przydział kolporterów do grup odbiorców (stan na koniec września 2004 roku)

| Grupa odbiorców | Osiedle | Błąd [%] |
|-----------------|----------|----------|
| 9 | Kozanów | 1,5 |
| 19 | Różanka | 0,9 |
| 20 | Tarnogaj | 1,6 |
| 35 | Gaj | 2,6 |
| 40 | Ołbin | 1,2 |
| 41 | Gądów | 2,8 |

Źródło: opracowanie własne.

w którym do wyznaczenia odległości użyto odległości euklidesowej. W tab. 3, prezentującej różnice długości między rozwiązaniami wyrażone w procentach, widać, że wielkość błędnie nie przekracza 3%.

Po wstępnej analizie położenia odbiorców należy zauważyć, że odbiorcy w przeważającej większości są rozmieszczeni wzdłuż ulic. Powoduje to, że w modelu zamiast odwzorowywania rzeczywistej sieci dróg możliwe jest wykorzystanie odległości euklidesowej do wyznaczania odległości między odbiorcami. W celu oszacowania wielkości błędu, jaki do modelu wprowadzi to podejście, wyznaczono w odniesieniu do 5 wybranych grup odbiorców rozwiązanie TSP optymalne dla rzeczywistej sieci połączeń oraz optymalne rozwiązanie TSP,

4. Podział odbiorców według ulic

W dalszej części prac odbiorcy zostali pogrupowani według ulic na 362 grupy. Podczas grupowania odbiorców przyjęto dodatkowe założenie, że w jednej grupie nie mogą znaleźć się odbiorcy oddaleni od siebie, licząc wzdłuż ulicy, więcej niż 1500 metrów. Spowodowało to, że dla długich ulic utworzonych zostało więcej grup niż jedna. Położenie grup odbiorców określono jako położenie punktu ciężkości tego zbioru. Do rozwiązania tego zadania został użyty przybliżony algorytm Warka i Holta rozwiązywania VRP [Wark, Holt 1994]. W wyniku procedury optymalizacji uzyskano 15 tras (ich zapotrzebowanie zaprezentowano w tab. 4).

Tabela 4. Zapotrzebowanie w rozwiązaniu suboptymalnym

| Trasa | Zapotrzebowanie [szt.] |
|---------|------------------------|
| 1 | 2 494 |
| 2 | 2 483 |
| 3 | 2 494 |
| 4 | 2 499 |
| 5 | 2 486 |
| 6 | 2 485 |
| 7 | 2 450 |
| 8 | 2 499 |
| 9 | 1 508 |
| 10 | 2 365 |
| 11 | 2 463 |
| 12 | 1 123 |
| 13 | 2 495 |
| 14 | 2 496 |
| 15 | 2 486 |
| Łącznie | 34 826 |

Źródło: opracowanie własne.

5. Analiza rozwiązań

W celu porównania rozwiązania redakcji z rozwiązaniem uzyskanym dzięki dokonanej optymalizacji wyznaczono szczegółowy sposób dystrybucji z uwzględnieniem rzeczywistego położenia odbiorców. W tym celu dla wszystkich odbiorców należących do grup odbiorców obsługiwanych w jednej trasie powiększonych o położenie magazynu zdefiniowano zadanie komiwojażera i wyznaczono jego rozwiązanie [Lin, Kernighan 1973].

Specyfika problemu wymaga uwzględnienia tego, że sposób dostarczania gazety typu kłamka jest bardziej czasochłonny niż sposób blok. Kolporter musi podejść do każdych drzwi i zostawić tam gazetę. Na klatce schodów najczęściej są na jednym piętrze co najmniej dwa mieszkania. Po analizie rzeczywistego przypadku klatki schodowej w bloku, w której na każdym piętrze znajdowały się 3 mieszkania, przyjęto, że obsłużenie każdego mieszkania wymaga od kolportera pokonania dodatkowych 10 metrów.

Ponadto należy uwzględnić to, że kolporterzy poruszają się zarówno pieszo, jak i samochodem. Odcinki pokonywane pojazdem kolporter przebywa około 10 razy szybciej (przyjęto, że średnia prędkość kolportera posługującego się pojazdem to 40 km/h, a pieszo – 4 km/h).

W celu urealnienia uzyskanych wyników w procesie rozwiązywania zadania komiwożacza użyto nie odległości, lecz wskaźnika określanego dalej jako miara trudności trasy. Wartość tej miary wyznaczano przez modyfikację długości rozwiązania w następujący sposób:

- Dla każdego odbiorcy obsługiwanego sposobem kłamka długość rozwiązania jest powiększana o liczbę gazet dostarczanych do tego odbiorcy pomnożoną przez 10.
- Długość odcinków dłuższych niż 500 metrów jest uwzględniana w rozwiązaniu jako 10% długości rzeczywistej.

Miarę trudności trasy rozwiązania interpretować można jako długość trasy, jaką musi pokonać kolporter pieszo, aby dostarczyć wszystkie gazety na danej trasie. Jej wartości w rozwiązaniu stosowanym przez redakcję oraz w rozwiązaniu suboptymalnym przedstawiono odpowiednio w tab. 5 i 6.

Tabela 5. Miara trudności tras w rozwiązaniu redakcji

| Trasa | Miara trudności trasy | Zapotrzebowanie [szt.] |
|---------|-----------------------|------------------------|
| 1 | 12 376 | 1 360 |
| 2 | 10 675 | 1 890 |
| 3 | 15 442 | 2 140 |
| 4 | 24 354 | 6 295 |
| 5 | 13 407 | 2 288 |
| 6 | 4 388 | 687 |
| 7 | 6 837 | 313 |
| 8 | 9 410 | 1 631 |
| 9 | 14 753 | 2 692 |
| 10 | 11 586 | 1 863 |
| 11 | 10 907 | 2 056 |
| 12 | 10 014 | 1 614 |
| 13 | 13 781 | 2 272 |
| 14 | 24 499 | 4 609 |
| 15 | 11 237 | 3 116 |
| Łącznie | 193 666 | 34 826 |

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 6. Miara trudności tras w rozwiązaniu suboptymalnym

| Trasa | Miara trudności trasy | Zapotrzebowanie [szt.] |
|---------|-----------------------|------------------------|
| 1 | 9 928 | 2 494 |
| 2 | 17 525 | 2 483 |
| 3 | 12 741 | 2 494 |
| 4 | 4 741 | 2 499 |
| 5 | 8 313 | 2 486 |
| 6 | 17 456 | 2 485 |
| 7 | 9 187 | 2 450 |
| 8 | 10 915 | 2 499 |
| 9 | 18 108 | 1 508 |
| 10 | 9 650 | 2 365 |
| 11 | 14 465 | 2 463 |
| 12 | 14 991 | 1 123 |
| 13 | 11 573 | 2 495 |
| 14 | 9 052 | 2 496 |
| 15 | 10 818 | 2 486 |
| Łącznie | 179 463 | 34 826 |

Źródło: opracowanie własne.

Z porównania uzyskanych wyników widać, że dzięki zastosowaniu optymalizacji uzyskano nieznaczną poprawę łącznej miary trudności trasy (około 13 km). Ta stosunkowo mała wartość, wynosząca zaledwie 7% miary trudności, jest spowodowana tym, że w rozwiązaniu redakcji, w przypadku wielu tras, naruszone jest ograniczenie maksymalnej liczby dostarczanych gazet. W rozwiązaniu optymalnym obciążenie kolportera w większości tras wynosi prawie 2500 sztuk gazet.

Z pewnością będzie to miało duże znaczenie, gdy redakcja będzie chciała usunąć szarą strefę występującą w ramach jej sieci dystrybucji. Obecnie redakcja nie interweniuje, gdy ktoś pomaga kolporterowi, co często ma wpływ na terminowość realizacji dostaw.

Zaprezentowane rozwiązanie, a szczególnie miara trudności trasy, może być wykorzystywane do rozliczeń z kolporterami. Obecny sposób rozliczeń, w którym podstawą jest liczba dostarczonych gazet, powoduje, że trasy trudne nie są chętnie obsługiwane przez kolporterów. Potwierdzeniem tego zjawiska są kłopoty, które redakcja miała z dostarczaniem tygodnika sposobem domek. Dodatkowo znajomość szczegółowej trasy pozwala redakcji na kontrolowanie kolporterów, obecnie przeprowadzane tylko na jednej, tzw. testowej trasie.

Zastosowanie optymalizacji w opisanym przypadku pozwoliło przede wszystkim na uzyskanie rozwiązania, które spełnia wszystkie warunki zadania. Rozwiązanie redakcji charakteryzujące się nieznacznie większą miarą trudności trasy w przypadku 4 tras nie spełnia warunku uzyskania maksymalnej liczby dostarczanych gazet.

Literatura

- [1] Altinkemer K., Gavish B., *Parallel Savings Based Heuristic for the Delivery Problem*, „Operations Research” 1991 nr 39, s. 456-469.
- [2] Lenstra J., Kan A., *Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problems*, „Networks” 1981 nr 11, s. 221-227.
- [3] Lin S., Kernighan B.W., *An Effective Heuristic Algorithm for Traveling-Salesman Problem*, „Operations Research” 1973 nr 21, s. 498-516.
- [4] Wark P., Holt J., *A Repeated Matching Heuristic for the Vehicle Routing Problem*. „Journal of Operational Research Society” 1994 nr 45, s. 1156-1167.

ROUTES OPTIMALIZATION FOR DIRECT DISTRIBUTION NETWORKS

Summary

The article presents application of vehicle routing models for optimizing direct distribution networks. Wrocław advertisement paper distribution network was used as the research base. In the first part of the article the current solution was presented. The second part contains the presentation of new routing set. The conclusion contains the comparison of presented solutions.