Irena NOWOTYŃSKA¹

ZAGADNIENIE MINIMALIZACJI PUSTYCH PRZEBIEGÓW W FIRMIE KURIERSKIEJ

Branża transportowa stoi przed ogromnymi wyzwaniami. Rosnące ceny paliwa prowadzą nie tylko do wzrostu kosztów, ale także wzmagają konkurencję. Wiele towarów musi być możliwie najszybciej i w atrakcyjnej cenie przewiezionych między dwoma punktami. Puste przebiegi stanowią jeden z głównych problemów operacyjnych polskich firm produkcyjnych. W zagadnieniach tego rodzaju chodzi o minimalizację drogi pokonywanej przez środki transportu bez ładunku (tzw. pustych przebiegów). Środki te mają później posłużyć do rozwiezienia określonego towaru. Optymalny plan przejazdu pustych środków transportu to taki, w którym liczba wozokilometrów wykonanych na pusto będzie minimalna. Przemysłowe zagospodarowanie transportu pozwala znacznie obniżyć jego koszty. Wymaga to jednak zastosowania innowacyjnych rozwiązań. Przedsiębiorstwo produkcyjne, które dysponuje własnym taborem, może wykorzystywać puste przebiegi do realizacji zleceń innych firm. Wystarczy odpowiednio wcześniej udostępnić użytkownikom giełdy informację o takiej możliwości.

W artykule przedstawiono rozwiązanie zadania transportowego na przykładzie firmy kurierskiej posiadającej oddziały w kilkunastu miastach Polski. Założono, że transport odbywa się z wykorzystaniem samochodów o jednakowej ładowności oraz, że firma dysponuje własnym taborem. Zmiennymi decyzyjnymi w rozpatrywanym problemie są liczby pustych przebiegów pomiędzy oddziałami wykazującymi nadwyżkę pustych samochodów (dostawcy pustych samochodów) a oddziałami wykazującymi niedobór pustych samochodów (odbiorcy pustych samochodów). Do znalezienia rozwiązania optymalnego posłużono się modulem Solver. Efektem zastosowania takiego rozwiązania dla przedsiębiorstwa będzie ograniczenie kosztów działalności i spowodowanie większych zysków i poprawę konkurencyjności firmy.

Słowa kluczowe: zagadnienie transportowe, badania operacyjne, firma kurierska

1. WPROWADZENIE

Ważnymi elementami w procesie osiągania dużej efektywności w zakresie działalności przewozowej są optymalizacja tras przejazdowych, duży stopień wykorzystania ładowności środków transportu oraz ograniczenie do minimum sytuacji, w której środek transportu przemieszcza się bez ładunku. Taka sytuacja przejazdu bez załadunku występuje przy wykonywaniu zarówno przejazdów po towar, jak i przejazdów powrotnych po dostarczeniu ładunku na miejsce i nosi nazwę pustych przebiegów. Wykonywanie pustych przebiegów nie jest korzystne dla przedsiębiorstwa prowadzącego działalność przewozową, powoduje bowiem znaczne zwiększenie kosztów. Problem pustych przebiegów może dotyczyć każdej gałęzi transportu i najbardziej uciążliwy jest w transporcie samochodowym.

¹ Dr inż. Irena Nowotyńska, Zakład Informatyki w Zarządzaniu, Wydział Zarządzania, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651894, e-mail: i_nowot@prz.edu.pl.

Według opublikowanego raportu Głównego Urzędu Statystycznego „Transport – wyniki działalności w 2009 r.” wśród polskich firm transportowych „puste przebiegi” stanowią ogółem 23% przebiegów pojazdów w transporcie samochodowym. W transporcie krajowym wskaźniki te są dużo wyższe i wynoszą 35%, a dla transportu międzynarodowego 13%. Oznacza to, że przeciętnie na 100 przejazdów zarobkowych w polskim transporcie drogowym 23 wykonywanych jest całkowicie bezużytecznie. Oprócz oczywistych korzyści, jakie płyną ze sprawnie i szybko działającego transportu, niesie on ze sobą także wiele negatywnych skutków. Transport drogowy jest źródłem pyłów, niemetanowych lotnych związków organicznych, tlenków azotu oraz węgla. Transport drogowy jest równocześnie kluczowym dostarczycielem gazów cieplarnianych w szczególności dwutlenku węgla (CO₂), co niezaprzeczalnie przyczynia się do niekorzystnych zmian klimatycznych. Co więcej, na obszarze Unii Europejskiej transport jest drugim pod względem wielkości (zaraz po sektorze energetycznym) sektorem emitującym gazy cieplarniane, wyprzedzając tym samym przemysł².

Puste przebiegi stanowią jeden z głównych problemów operacyjnych polskich firm produkcyjnych. Sposobem na ich minimalizację są między innymi platformy frachtowe, takie jak Giełda Transportowa, która notuje bardzo dynamiczny wzrost użytkowników z sektora produkcyjnego. Platforma taka pozwala znaleźć partnerów biznesowych, dzięki którym mogą oni skutecznie ograniczać liczbę pustych przebiegów swojego taboru. Przemysłane zagospodarowanie transportu pozwala znacznie obniżyć jego koszty. Wymaga to jednak zastosowania innowacyjnych rozwiązań. W tym zakresie korzystniej zagospodarowany jest transport międzynarodowy, gdzie przewozy bez ładunków stanowią 14%. W transporcie krajowym zredukowano 2% pustych przebiegów, natomiast w międzynarodowym nie odnotowano zmian. Na podstawie statystyk stwierdzono, że znaczna część firm wciąż nie ma pomysłu, w jaki sposób poradzić sobie z zaistniałym problemem. Przedsiębiorstwo produkcyjne, które dysponuje własnym taboru, może wykorzystywać puste przebiegi do realizacji zleceń innych firm. Wystarczy odpowiednio wcześniej udostępnić użytkownikom giełdy informację o takiej możliwości. Z kolei przedsiębiorstwa korzystające z usług firm transportowych mogą z łatwością znaleźć oferty spełniające ich wymagania³.

2. MODEL MATEMATYCZNY

Problem minimalizacji pustych przebiegów w transporcie dotyczy ustalenia optymalnego planu przejazdów pustych środków transportu (od dostawców do odbiorców) w sieci transportowej. Optymalny plan przejazdu pustych środków transportu to taki, w którym liczba wozokilometrów wykonanych na pusto będzie minimalna i będą spełnione następujące ograniczenia:

- podaż pustych środków transportu będzie wykorzystywana w sieci,
- a popyt na nie będzie zaspokojony.

Jeśli przyjąć, że:

² <http://wiadomosci.onet.pl/waszymzdaniem/514181> (dostęp: 30.03.2013).

³ http://dlafirmy.info.pl/4501_optimalizacja_procesu_logistycznego_w_przedsiębiorstwach_produkcyjnych.htm (dostęp: 30.03.2013).

i, j oznaczają numer punktu transportowego $i, j = 1, \dots, n$,
to zmienną decyzyjną będzie lista pustych środków transportu x_{ij} , jaka powinna zostać przemieszczona od i -tego punktu transportowego (dostawcy pustych środków transportu) do j -tego punktu transportowego (odbiorcy pustych środków transportu).

Dane, które są przyjęte jako znane, to:

d_{ij} – odległość od i -tego do j -tego punktu transportowego,

c_{ij} – wielkość przewozu od i -tego do j -tego punktu transportowego wyrażona liczbą pełnych środków transportu,

e_i – wielkość wywozu ładunku z i -tego punktu transportowego wyrażona liczbą pełnych środków transportu, a więc:

$$e_i = \sum_{j=1}^n c_{ji} \quad (i = 1, \dots, n) \quad (1)$$

i_i – wielkość przywozu ładunku do i -tego punktu transportowego wyrażona liczbą pełnych środków transportu, a więc:

$$i_i = \sum_{j=1}^n c_{ji} \quad (i = 1, \dots, n) \quad (2)$$

przy czym dla całej sieci transportowej (ale niekoniecznie dla poszczególnych punktów transportowych) liczba środków transportu obsługujących wywóz ładunku musi się równać liczbie środków transportu wykorzystywanych do realizacji przywozu ładunku (zagadnienie zamknięte), a więc spełnione musi być równanie:

$$\sum_{i=1}^m e_i = \sum_{i=1}^m i_i \quad (3)$$

Punkty transportowe, dla których $e_i < i_i$, są dostawcami pustych środków transportu, a ich podaż wynosi:

$$a_i = i_i - e_i \quad (4)$$

Punkty transportowe, dla których $e_i > i_i$, są odbiorcami pustych środków transportu, a ich zapotrzebowanie na nie wynosi:

$$b_j = e_j - i_j \quad (5)$$

Punkty transportowe, dla których $e_i = i_i$, pomija się w analizie, gdyż nie występuje w nich problem pustych przebiegów⁴.

Zadanie polega na znalezieniu takich przemieszczeń pustych środków transportu x_{ij} , że:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \Rightarrow \min \quad (6)$$

przy spełnieniu następujących warunków:

- zapotrzebowanie na puste środki transportu każdego punktu transportowego zostanie zaspokojone:

⁴ Z. Jędrzejczyk, K. Kukuła, J. Skrzypek, A. Walkosz, *Badania operacyjne w przykładach i zadaniach*, wyd. 5, PWN, Warszawa 2005; M. Szymczak, *Decyzje logistyczne z Excelem*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2011.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = b_j \quad (j=1, \dots, n) \quad (7)$$

- puste środki transportu będące w dyspozycji każdego punktu transportowego zostaną wykorzystane⁵:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (8)$$

3. ROZWIĄZANIE PROBLEMU

Rozpatrywana firma kurierska ma oddziały w 12 miastach w Polsce. Każdy oddział pełni funkcję bazy transportowej i centrum konsolidacji i dekonsolidacji przesyłek, które do tych punktów są zwożone przez kurierów z obsługiwanego (przez dany oddział) rejonu, a także są przez nich z tych punktów rozwożone przez kurierów z obsługiwanego regionu. Transport odbywa się z wykorzystaniem samochodów o jednakowej ładowności. Firma dysponuje własnym taborom. Korzyścią dla przedsiębiorstwa będzie ograniczenie kosztów działalności, co powinno się przyczynić do większych zysków i poprawy konkurencyjności firmy.

Firma ma oddziały w następujących miastach:

1. Rzeszów
2. Kraków
3. Warszawa
4. Kielce
5. Szczecin
6. Wrocław
7. Poznań
8. Gdańsk
9. Lublin
10. Olsztyn
11. Krosno
12. Toruń

W pierwszej kolejności określa się odległości pomiędzy poszczególnymi oddziałami firmy w kilometrach. Następnie podaje się przewozy przesyłek pomiędzy oddziałami wyrażone liczbą pełnych środków transportu w miesiącu (rys. 1).

⁵ M. Szymczak, *op. cit.*

Rys. 1. Przewozy przesyłek oraz wartości przywozu i wywozu dla każdego oddziału

ij	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	wywóz e_i
1	0	10	7	3	14	12	13	10	11	9	8	12	110
2	4	0	4	10	6	8	12	11	18	12	10	16	113
3	12	4	0	5	4	9	10	16	10	14	11	10	108
4	16	12	13	0	3	7	7	15	5	16	12	11	121
5	20	18	18	23	0	3	6	12	12	12	11	8	148
6	24	13	20	16	8	0	2	8	6	10	9	4	126
7	14	23	11	13	9	24	0	14	4	9	8	6	142
8	10	12	9	12	10	10	13	0	3	5	4	5	101
9	12	9	23	11	6	9	15	8	0	4	2	4	112
10	23	10	6	5	23	17	19	5	22	0	3	6	149
11	22	19	12	6	11	18	12	12	24	12	0	4	163
12	12	13	11	7	4	14	14	16	10	23	24	0	160
przywóz i_j	170	145	137	115	103	137	130	135	134	136	113	98	

Źródło: opracowanie własne

Wielkości na poszczególnych trasach różnią się w związku z wielkością danego ośrodka i obsługiwanego przez dany oddział regionu oraz pod względem poziomu ich rozwoju gospodarczego. Następnie oblicza się wartości podaży i popytu na puste środki transportu w każdym oddziale (rys. 2).

Rys. 2. Popyt i podaż każdego oddziału w zakresie pustych środków transportu

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
i_i	170	145	137	115	103	137	130	135	134	136	113	98
e_i	110	113	108	121	148	126	142	101	112	149	163	160
$i_i - e_i$	60	32	29	-6	-45	11	-12	34	22	-13	-50	-62

Źródło: opracowanie własne

Punkty transportowe, dla których $i_i - e_i > 0$, są dostawcami pustych środków transportu, te, dla których $i_i - e_i < 0$, są odbiorcami, natomiast punkty transportowe, dla których $i_i - e_i = 0$, pomija się w analizie, gdyż nie występuje w nich problem pustych przebiegów. Zgodnie z otrzymanymi wynikami sześć oddziałów to dostawcy pustych środków transportu:

- Rzeszów z nadwyżką 60 samochodów,
- Kraków z nadwyżką 32 samochodów,
- Warszawa z nadwyżką 29 samochodów,
- Wrocław z nadwyżką 11 samochodów,
- Gdańsk z nadwyżką 34 samochodów,
- Lublin z nadwyżką 22 samochodów.

Podobnie jest w wypadku oddziałów będących odbiorcami pustych środków transportu (sześć oddziałów):

- Kielce z niedoborem 6 samochodów,
- Szczecin z niedoborem 45 samochodów,
- Poznań z niedoborem 12 samochodów,
- Olsztyn z niedoborem 13 samochodów,
- Krosno z niedoborem 50 samochodów,
- Toruń z niedoborem 62 samochodów.

Następnie wylicza się wartości podaży i popytu w odniesieniu do pustych środków transportu. Określa się także formuły warunków ograniczających. Dostawców oznaczono

literą „d” wraz z odpowiednim numerem wynikającym z danych wejściowych (identyfikacja punktu transportowego), natomiast odbiorców oznaczono literą „b”.

Zmiennymi decyzyjnymi w rozpatrywanym problemie są liczby pustych przebiegów pomiędzy oddziałami wykazującymi nadwyżkę pustych samochodów (dostawcy pustych samochodów) a oddziałami wykazującymi niedobór pustych samochodów (odbiorcy pustych samochodów).

Do znalezienia optymalnego rozwiązania posłużono się modulem Solver. Ostateczne wyniki obliczeń pokazano na rysunku 3.

Rys. 3. Tabele transportowe z rozwiązaniem optymalnym (fragment tabeli)

Dostawca	Odbiorca	Odległość	Przewóz
d1	b4	145	28
d1	b5	692	3
d1	b7	480	18
d1	b12	442	11
d2	b10	452	6
d3	b4	168	6
d3	b5	494	0
d3	b7	303	1
d3	b10	191	43
d3	b11	314	12
Całkowity przebieg pustych środków transportu			35642

Źródło: opracowanie własne

Zgodnie z otrzymanymi wynikami optymalny miesięczny plan pustych przebiegów jest następujący:

- 28 pustych przebiegów z Rzeszowa do Kielc,
- 3 puste przebiegi z Rzeszowa do Szczecina,
- 18 pustych przebiegów z Rzeszowa do Poznania,
- 11 pustych przebiegów z Rzeszowa do Torunia,
- 6 pustych przebiegów z Krakowa do Olsztyna,
- 6 pustych przebiegów z Warszawy do Kielc,
- 1 pusty przebieg z Warszawy do Poznania,
- 43 puste przebiegi z Warszawy do Olsztyna,
- 12 puste przebiegi z Warszawy do Krosna.

Gwarantuje on minimalną liczbę wozokilometrów pustych przebiegów wynoszącą 35 642.

4. PODSUMOWANIE

Problem pustych przebiegów może dotyczyć przedsiębiorstwa, które dysponuje własnym taborem danej gałęzi transportu i realizuje przewozy towarowe na swoje potrzeby w systemie logistycznym. Podobnie zagadnienie można odnieść do działalności przedsiębiorstwa transportowego, które mając swój park środków transportu, realizuje przewozy

ładunków na rzecz innych przedsiębiorstw, które są klientami. Problem ten może także dotyczyć transportu wewnętrznego, a więc minimalizacji pustych przebiegów w mikro-systemie logistycznym zakładu produkcyjnego, w transporcie między stanowiskami obróbkowymi⁶. Problem minimalizacji pustych przebiegów w transporcie dotyczy więc ustalenia optymalnego planu przejazdów pustych środków transportu w sieci transportowej.

Problem pustych przebiegów dotyczy zwłaszcza podmiotów wykonujących przewozy na własne potrzeby we własnym zakresie, a także mniejszych przewoźników wykonujących przewozy na zlecenie. W przypadku posiadania niewielkiej floty transportowej i braku chęci współdziałania z innymi podmiotami wykonującymi przewozy mniejsze są możliwości ograniczenia pustych przebiegów niż w przypadku dużych przewoźników dysponujących rozbudowaną flotą, mających wiele załadowców i współdziałających na rynku z innymi.

LITERATURA

- [1] <http://wiadomosci.onet.pl/waszymzdaniem/514181> (dostęp: 30.03.2013).
- [2] http://dlafirmy.info.pl/4501_optimalizacja_procesu_logistycznego_w_przedsiębiorstwach_produkcyjnych.htm (dostęp: 30.03.2013).
- [3] Jędrzejczyk Z., Kukuła K., Skrzypek J., Walkosz A., *Badania operacyjne w przykładach i zadaniach*, wyd. 5., PWN, Warszawa 2005.
- [4] Szymczak M., *Decyzje logistyczne z Excelem*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2011.

ISSUE MINIMIZATION OF EMPTY RUNS IN EXPRESS DELIVERY COMPANY

The transport sector is facing enormous challenges. Rising fuel prices not only lead to higher costs, but also enhance competition. Many of the goods must be as soon as possible and at an attractive price moved between two points. Empty waveforms are one of the major operational problems Polish manufacturing companies. In issues of this kind it comes to minimizing the roads traveled by vehicles without load (ie empty runs). These measures are then used for distribution of specific goods. The optimal plan for empty transport passing is one in which the number of vehicle-kilometers performed on empty will be minimal. Thought out management can significantly reduce transport costs. However, this requires innovative solutions. Production company, which has its own fleet, empty mileage may use to execute orders from other companies. Just in time stock exchange information available to users of this possibility.

This paper presents the solution of the transport on the example of the courier company having offices in several Polish cities. It was assumed that the transport is done using vehicles of the same capacity, and that the company has its own fleet. Decision variables in the problem under consideration is the number of empty runs between departments showing a surplus of empty cars (supplier of empty cars) and branches showing a shortage of empty cars (recipient of empty cars). To find the optimal solution was used Solver module. The result of the application of such a solution for the enterprise will reduce operating costs and bring about higher profits and improve the competitiveness of the company.

Keywords: transportation problem, operations research

DOI: 10.7862/rz.2014.mmr.7

Tekst złożono w redakcji: grudzień 2013

Przyjęto do druku: marzec 2014

⁶ *Ibidem*.