Marek Gubała
Wyższa Szkoła Logistyki w Poznaniu

Wykorzystanie arkusza kalkulacyjnego w optymalizacji procesów transportowych

W większości przedsiębiorstw zajmujących się optymalizowaniem działalności transportowej stosowane są różne techniki wspomagające podejmowanie decyzji. Wiele z narzędzi sparametryzowano w funkcjonujących w przedsiębiorstwach systemach informatycznych, jednak nadal pewne aspekty działalności transportowej nie znajdują miejsca, a przynajmniej nie są powszechne w zakresach funkcjonalnych systemów informatycznych. Taki stan rzeczy nie wynika z braku zaplecza metodycznego czy też konkretnych rozwiązań obliczeniowych. Jest on raczej wywołany kosztochłonnością implementacji tychże instrumentów do systemów informatycznych.

W artykule zaprezentowano jedną z metod z zakresu wspomagania planowania organizowania działań transportowych. Zanim jednak omówimy wybrane techniki analityczne, warto przypomnieć, że działalność transportowa obejmuje zespół czynności szerszy niż tylko przemieszczanie dóbr, uwzględnia ona bowiem także pewną grupę czynności manipulacyjnych. Wszystkie czynności towarzyszące procesom transportowym zachodzą w czasie, przestrzeni, obsługują strumienie o danych wielkościach i wartościach. Takie ujęcie sugeruje już obszary i wymiary, które należy uwzględnić w budowaniu modeli transportowych.

System transportowy cechuje duża złożoność. Przeważnie mamy do czynienia z więcej niż jednym dostawcą i więcej niż jednym odbiorcą, dodatkowo w systemie mogą wystąpić punkty przelotowe, które interpretować można jako punkty przeładunkowe. W analizach złożonych problemów, między innymi dotyczących optymalizacji sieci, warto wyjść od modelu graficznego. Sieć obrazujemy za pomocą grafu, możemy też przedstawić pewne relacje w układzie tabelarycznym za pomocą macierzy.

Rys. 1 obrazuje graf oraz towarzyszące mu pojęcia, dzięki którym można odpowiednio interpretować tę formę prezentacji przepływów.

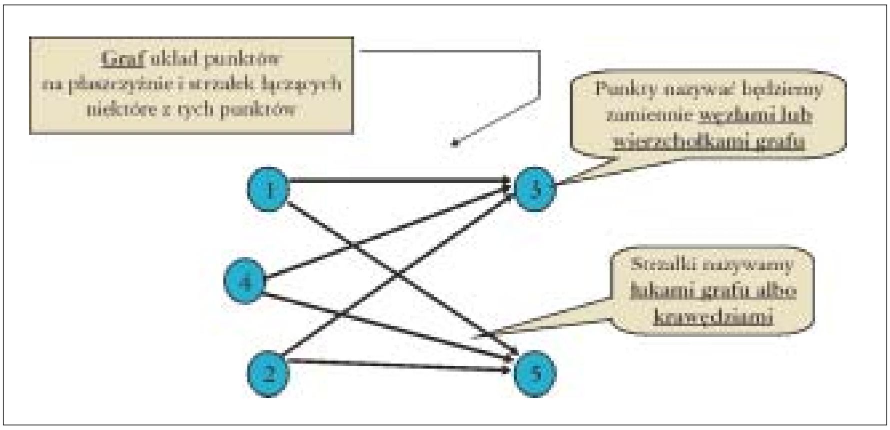
Jeżeli łukom lub węzłom grafu nadamy pewne cechy (np. przepustowość, koszty etc.) o odpowiednich wartościach, to tym samym utworzymy model sieci.

Aby szerzej omówić metodę, stwórzmy hipotetyczną sytuację.

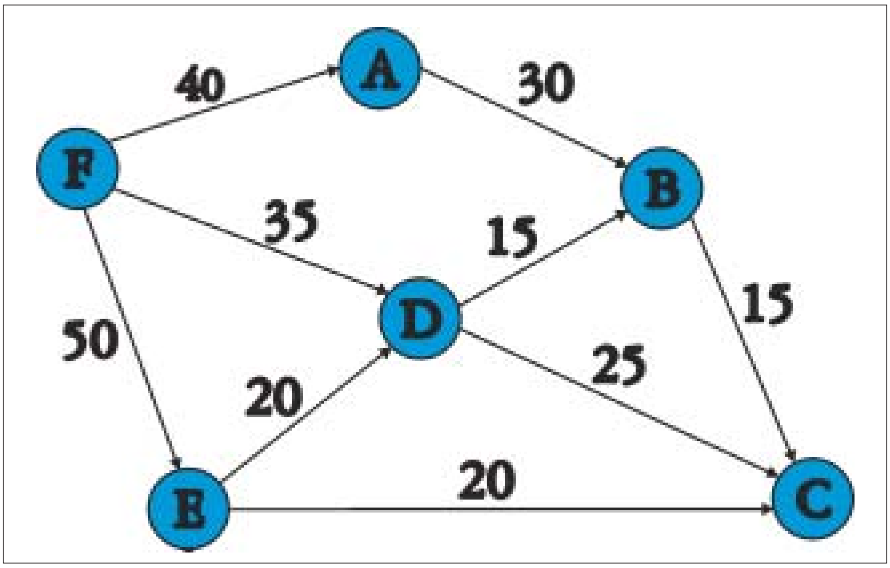
Właściciel trzech hurtowni h1; h2; h3 tworzących stronę popytową H ma możliwość zaopatrywania się w dobro x u pięciu różnych producentów: P1; P2; P3; P4; P5, tworzących stronę podażową. Właściciel postanowił, że hurtownie powinny mieć możliwość dotowarowania stanów odpowiednio:

- hurtowni h1 do 38 całopojazdowych dostaw
- hurtowni h2 do 27 całopojazdowych dostaw
- hurtowni h3 do 25 całopojazdowych dostaw.

Jego celem było takie zbudowanie portfela dostaw dobra x dla hurtowni, by łączny czas procesów przewozo-



Rys. 1. Graf oraz jego komponenty



Rys. 2. Graficzna postać sieci

wych TD był minimalny. Bazując na informacjach dostępnych wywiadowi gospodarczemu, szybko ustalił czasy (roboczogodziny, motogodziny) realizacji przewozu jednej dostawy całopojazdowej od poszczególnych producentów odpowiednich (p=1,2,3,4,5) do odpowiednich hurtowni h (h=6,7,8) oznaczone później td_{ph}. Dane dotyczące czasów td_{ph} zagregowane zostały w postaci macierzy.

- producent p2 może dostarczyć 20 wysyłek całopojazdowych
- producent p3 oferuje stale wolumen odpowiadający 18 wysyłkom całopojazdowym danego dobra
- kolejny producent p4 dysponuje równowartością 15 całopojazdowych wysyłek
- ostatni z rozpatrywanych producentów p5 posiada towar odpowiadający 12 całopojazdowym wysyłkom.

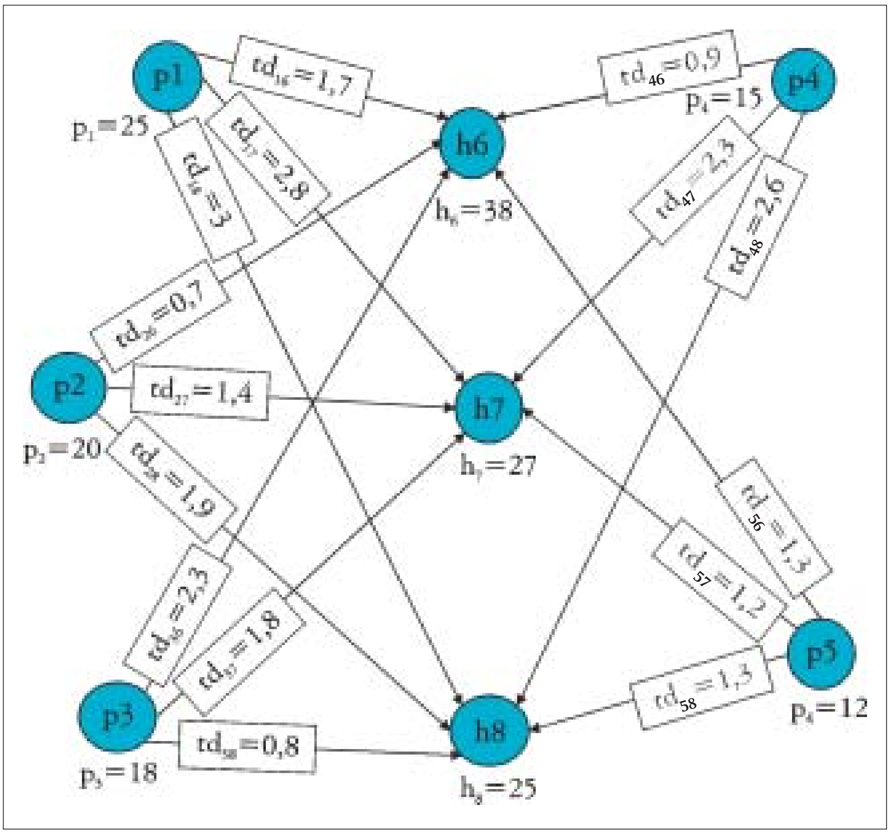
Tab.1. Macierz czasów przewozów jednostki obliczeniowej (całopojazdowej wysyłki/dostawy) do omawianego przykładu

Hurtownia h / Producent wywiadowi	6	7	8
1	1,7	2,8	3
2	0,7	1,4	1,9
3	2,3	1,8	0,8
4	0,9	2,3	2,6
5	1,3	1,2	1,3

Dodatkowo, dane są wielkości dostępne u poszczególnych producentów, które wynoszą odpowiednio:

- producent p1 oferuje wielkość, którą może obsłużyć 25 całopojazdowych wysyłek

Oznaczenie $td_{36}=2,3$ komunikuje nam, że czas przewozu jednostki obliczeniowej (jaką jest wielkość dobra wypełniająca ładowność jednego samochodu) od producenta 3 do hurtowni 6 wynosi 2,3 h.



Rys. 3. Graficzna prezentacja omawianego problemu transportowego

Łatwo zauważyć, że suma zapotrzebowań zgłaszanych przez hurtownie 6,7,8 jest równa potencjałowi wytwórczemu wszystkich producentów 1,2,3,4,5, czyli:

$$\sum p_n = \sum h_n \Rightarrow P = H \text{ zbilansowane}$$

Dopuszcza się sytuację, w której sumy nie równoważą się, wówczas mamy zadanie niezbilansowane z nadwyżką popytu lub, co zdarza się częściej, z nadwyżką podaży.

$$\sum p_n - \sum h_n > 0 \text{ nie zbilansowane}$$

z nadwyżką podaży

$$\sum h_n - \sum p_n > 0 \text{ nie zbilansowane}$$

z nadwyżką popytu.

Definiowanie celu i ograniczeń modelu

Przed zbudowaniem modelu należy ustalić cel i wszelkie ograniczenia dotyczące działania modelu.

a) Celem modelu jest taki rozdział wielkości między producentami i hurtowniami, by zaspakajały one zapotrzebowanie poszczególnych hurtowni, minimalizując całkowity czas przewozów TD. W związku z tym, że całkowity czas uzależniony jest od czasów przypisanych do poszczególnych łuków (tras) oraz liczby całopojazdowych przewozów realizowanych na danym łuku (trasie), cel ten zapisujemy następująco:

$$p_{16} \cdot td_{16} + p_{17} \cdot td_{17} + p_{18} \cdot td_{18} + p_{26} \cdot td_{26} + p_{27} \cdot td_{27} + p_{28} \cdot td_{28} + \ldots + p_{57} \cdot td_{57} + p_{58} \cdot td_{58} \Rightarrow \min$$

lub w wersji syntetycznej:

$$\sum_{i=1}^{5}\sum_{j=1}^{3} td_{ij}p_{ij} \Rightarrow \text{mir}$$

b) W związku z tym, że czasy przewozów na poszczególnej trasie są przypisane na stałe, do wyznaczonego celu możemy jedynie dążyć przez podstawianie liczb dostaw całopojazdowych. Z tej obserwacji wynika pierwsza konkluzja: na poszczególnych trasach może wystąpić lub nie wystąpić pewna liczba przewozów. Liczba ta będzie równa lub większa zero, zapiszemy to:

$$p_{ij} \geq 0$$

Jednocześnie pod wielkość przewozów całopojazdowych podstawiane są liczby całkowite.

c) Suma wielkości przypisanym łukom wychodzących od danego producenta w przypadku zadania zbilansowanego jest równa jego produkcji:

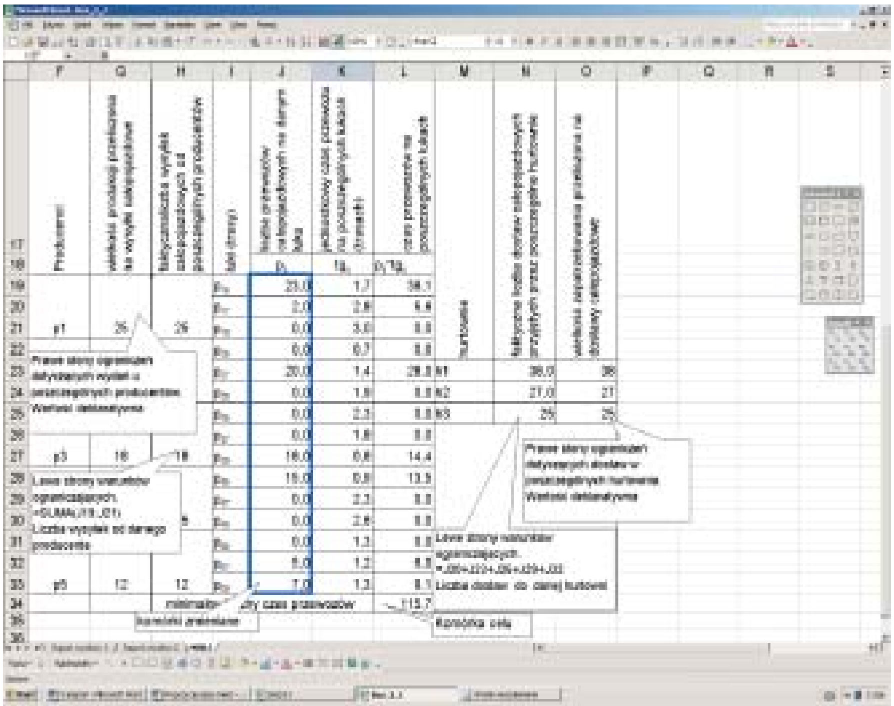
$$p_{16} + p_{17} + p_{18} = 25$$
$$p_{26} + p_{27} + p_{28} = 20$$
$$p_{36} + p_{37} + p_{38} = 18$$
$$p_{46} + p_{47} + p_{48} = 15$$
$$p_{56} + p_{57} + p_{58} = 12$$

d) Suma wielkości przypisanym łukom wchodzących do danej hurtowni w przypadku zbilansowanym jest równa jej zapotrzebowaniu:

$$p_{16} + p_{26} + p_{36} + p_{46} + p_{56} = 38$$
$$p_{17} + p_{27} + p_{37} + p_{47} + p_{57} = 27$$
$$p_{18} + p_{28} + p_{38} + p_{48} + p_{58} = 25$$

Implementacja modelu w arkuszu kalkulacyjnym

W dalszych obliczeniach bazować będziemy na postaci tabelarycznej, wprowadzonej z odpowiednimi formułami do arkusza kalkulacyjnego.



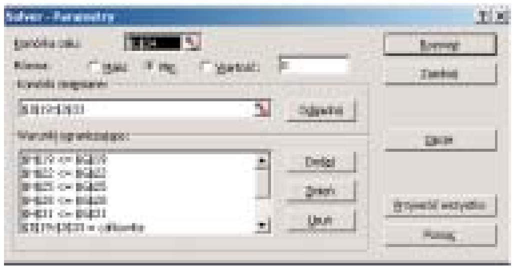
Rys. 4. Charakterystyka pól w arkuszu kalkulacyjnym

Osiągnięcie założonego celu przy określonym zbiorze ograniczeń możliwe jest dzięki narzędziu Solver*, stworzonemu przez Microsoft. Instrument pozwala dojść do celu przez odpowiednie podstawianie wartości w komórkach zmienianych, z uwzględnieniem wszelkich ograniczeń. W omawianym przypadku zapisy na formatce Solvera prezentowane są na kolejnych rysunkach. W podstawowej formatce mamy trzy istotne pola:

– komórka celu z zadaniem: max – maksymalizuj, min – minimalizuj, równa się
– pole do wstawienia adresów komórek zmienianych
– pole, gdzie definiowane są ograniczenia.

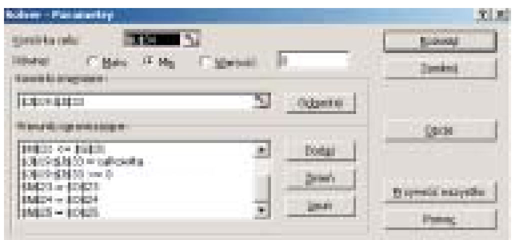
Tab. 2. Wstępna postać rozwiązania

Producenci	wielkość produkcji przeliczona na wysyłki całopojazdowe	faktyczna liczba wysyłek całopojazdowych od poszczególnych producentów	łuki (trasy)	liczba przewozów całopojazdowych na danym łuku p_{ij}	jednostkowy czas przewozu na poszczególnych łukach (trasach) tg_{ij}	czas przewozów na poszczególnych łukach $p_{ij}*tg_{ij}$	hurtownie	faktyczna liczba dostaw całopojazdowych przyjętych przez poszczególne hurtownie	wielkość zapotrzebowania przeliczona na dostawy całopojazdowe
			p_{16}	0,0	1,7	0,0			
			p_{17}	0,0	2,8	0,0			
p1	25	25	p_{18}	25,0	3,0	75,0			
			p_{26}	0,0	0,7	0,0			
			p_{27}	20,0	1,4	28,0	h1	38	38
p2	20	20	p_{28}	0,0	1,9	0,0	h2	27	27
			p_{36}	18,0	2,3	41,4	h3	25	25
			p_{37}	0,0	1,8	0,0			
p3	18	18	p_{38}	0,0	0,8	0,0			
			p_{46}	8,0	0,9	7,2			
			p_{47}	7,0	2,3	16,1			
p4	15	15	p_{48}	0,0	2,6	0,0			
			p_{56}	12,0	1,3	15,6			
			p_{57}	0,0	1,2	0,0			
p5	12	12	p_{58}	0,0	1,3	0,0			
		minimalny łączny czas przewozów				183,3			



Rys. 5a. Solver – podstawowa formatka

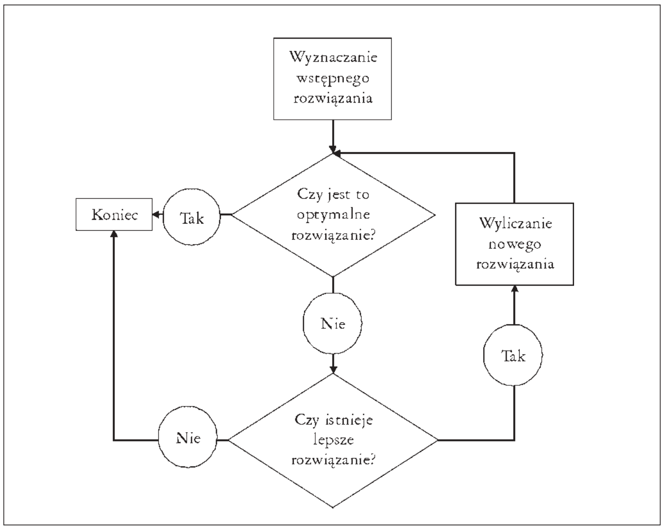
W związku z dopuszczeniem możliwości nie zbilansowania przepływów w wyniku nadwyżki podaży nad popytem w warunkach ograniczających definiowanych w Solverze, dopuszczono sytuację, w której od poszczególnych producentów może wychodzić mniejsza liczba wysyłek od zdeklarowanych. Stąd zapisy wykorzystują znak mniejsze bądź równe.



Rys. 5b. Solver – podstawowa formatka

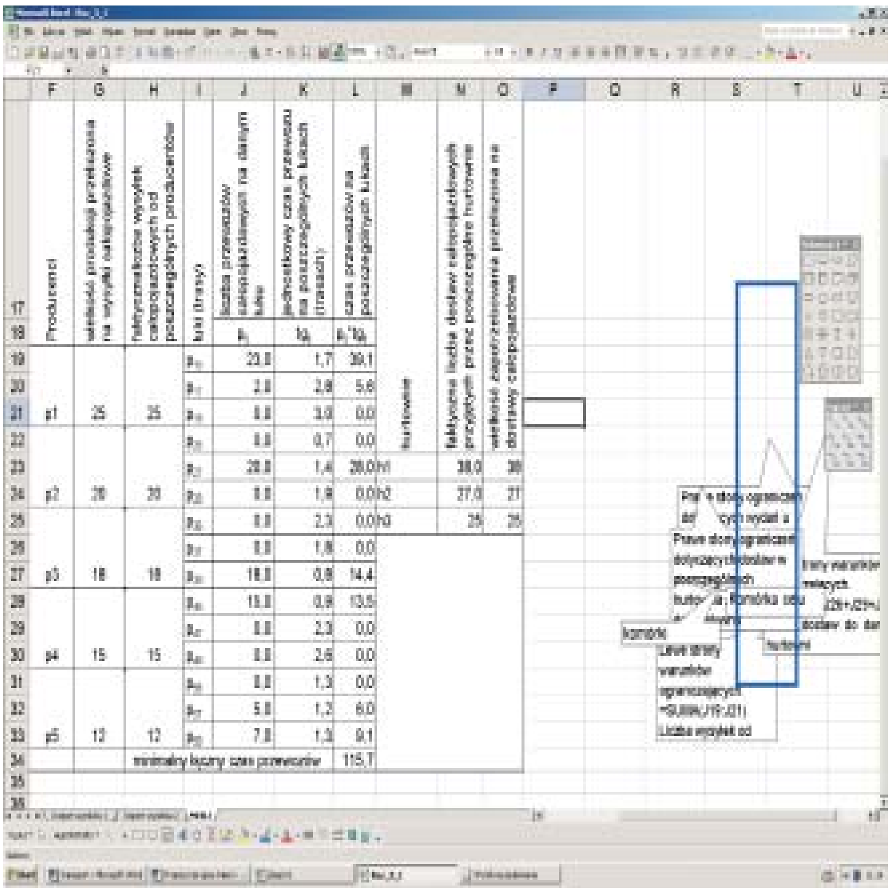
* Nazwa Solver zastrzeżona przez Microsoft

Rys. 6. Formatka z opcjami



Rys. 7. Algorytm poprawiania wstępnego rozwiązania

Tab. 3. Rozwiązanie



Oprócz formatki podstawowej, analizujący może wykorzystać formatkę z opcjami. W tej formatce do wyliczenia zadania należy w polu tolerancja wpisać wartość 0% zaznaczyć pola:
– model liniowy
– przyjmij nieujemne
– styczna
– w przód
– Newtona.

Tym samym postulujemy liniowość zadania optymalizacyjnego, nieujemność zmiennych decyzyjnych i poziom tolerancji 0%. W ten sposób sygnalizujemy, że za liczbę całkowitą nie uznamy liczby w przybliżeniu całkowitej.

Czy będziemy próbowali obliczać problem „ręcznie", czy z wykorzystaniem narzędzia Solver, opierać się będziemy na podobnej metodzie określanej metodą Simpleks.

Simpleks jest uniwersalną metodą rozwiązywania zadań programowania liniowego. Z natury jest nieco bardziej rozbudowaną metodą iteracyjnego poprawiania wstępnego rozwiązania, co można zaprezentować prostym algorytmem.

Wynik

Prezentując wynik w układzie macierzowym, gdzie jednostką obliczeniową są całopojazdowe wysyłki/dostawy, otrzymamy następującą strukturę przepływów.

Taka struktura przepływów ma charakter czasochłonności w pełni zbilansowanej, czasochłonność wykazuje minimalną czasochłonność obliczoną na 115,7 godzin (roboczych, motogodzin), co było celem zadania.

Tab.4. Struktura przepływów

Hurtownia h / Producent p	6	7	8	Razem
1	23	2	0	25
2	0	20	0	20
3	0	0	18	18
4	15	0	0	15
5	0	5	7	12
Razem	38	27	25	