

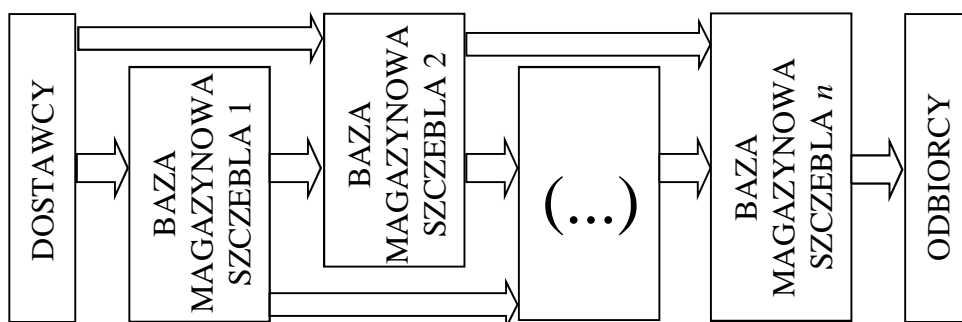
Roland Jachimowski¹, Tomasz Ambroziak²
Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej

Klasteryzacja punktów obsługi i wyznaczanie tras pojazdów w dwuszczeblowym systemie dystrybucji

WPROWADZENIE

Właściwa organizacja systemu dystrybucji przedsiębiorstwa jest w dobie szybko rozwijającej się konkurencji rynkowej jednym z kluczowych sposobów osiągnięcia sukcesu na rynku. Dotyczy to zarówno dystrybucji towarów jak i usług. Jednym ze sposobów, jakim mogą się posłużyć przedsiębiorstwa w celu ulepszenia systemu dystrybucji jest poprawa jakości i skrócenie czasu realizacji procesów tworzących ostatecznie łączną wartość dla klienta.

W zależności od charakteru działalności przedsiębiorstwa, jego system dystrybucji może być mniej lub bardziej złożony. Jeżeli przewóz pomiędzy nadawcą a odbiorcą odbywa się bez jakichkolwiek pośredników to mamy do czynienia z systemem dystrybucji bezpośredniej. Gdy na drodze przepływu towarów pojawiają się pośrednicy w postaci baz magazynowych bądź terminali przeładunkowych, to system taki nazywany jest systemem wieloszczeblowym. Liczba szczebli w takim systemie determinowana jest przez liczbę pośredników kolejno po sobie występujących [11]. Tym samym, jeżeli w strukturze systemu wyróżnić można dwóch pośredników występujących kolejno po sobie, to taki system nazywany jest systemem dwuszczeblowym. W bazach magazynowych część towarów jest czasowo składowana celem zapewnienia szybkiego zaspokojenia nagłych potrzeb odbiorców. W terminalach przeładunkowych z kolei ładunki są sortowane i konsolidowane zaraz po ich zwiezieniu do terminala a skompletowane wysyłki transportowane są bezpośrednio do odbiorców bądź też kolejnych pośredników. Tym samym wykorzystanie baz magazynowych bądź terminali przeładunkowych sprzyja zwiększeniu terminowości dostaw oraz zmniejszeniu kosztów transportu wynikających z pokonywanych przez pojazdy odległości oraz faktu, że na różnych szczeblach dystrybucji wykorzystywane mogą być pojazdy o różnej ładowności, w zależności od zapotrzebowania klientów. Pojazdy o największej ładowności wykorzystywane są najczęściej do realizacji przewozów liniowych pomiędzy obiektami pośredniczącymi w procesie dystrybucji. Niestety możliwość szybkiego reagowania na zapotrzebowanie odbiorców okupione jest w tym przypadku dodatkowym kosztem związanym z utrzymaniem tych obiektów oraz kosztem przejścia przez nie towarów. Cechą charakterystyczną wieloszczeblowych systemów dystrybucji jest możliwość zaopatrzenia danej bazy magazynowej przez bazę magazynową dowolnego wyższego szczebla dystrybucji. Ideę wieloszczeblowego systemu dystrybucji schematycznie przedstawiono na rys 1.



Rys. 1. – Ogólna struktura wieloszczeblowego systemu dystrybucji

Źródło: opracowanie własne.

¹rjach@it.pw.edu.pl

²tam@it.pw.edu.pl

Skonstruowanie systemu dystrybucji, dzięki któremu przedsiębiorstwo zwiększy swoją konkurencyjność oraz poziom obsługi klienta stanowi dopiero połowę sukcesu. Równie ważna, co struktura systemu jest właściwa organizacja przepływu towarów w tym systemie. Zagadnienie organizacji przepływu towarów w systemie dystrybucji nosi miano problemu układania tras pojazdów. Problem ten jest zagadnieniem NP-trudnym [13]. Przegląd zupełny całej przestrzeni rozwiązań nawet dla niewielkich przypadków nie jest możliwy w akceptowalnym czasie, ponieważ czas obliczeń rośnie wykładniczo względem liczby danych (w tym przypadku względem liczby odwiedzanych punktów, miast).

Długi czas obliczeń ukierunkowuje naukowców na poszukiwanie algorytmów przybliżonych (heurystycznych), zdolnych do znajdowania rozwiązań bliskich optymalności. Jednym ze sposobów osiągnięcia tego celu jest dekompozycja problemu na mniejsze podproblemy i tym samym redukcja jego złożoności. Do najpopularniejszych metod dekompozycji problemu wyznaczania tras pojazdów zalicza się metody:

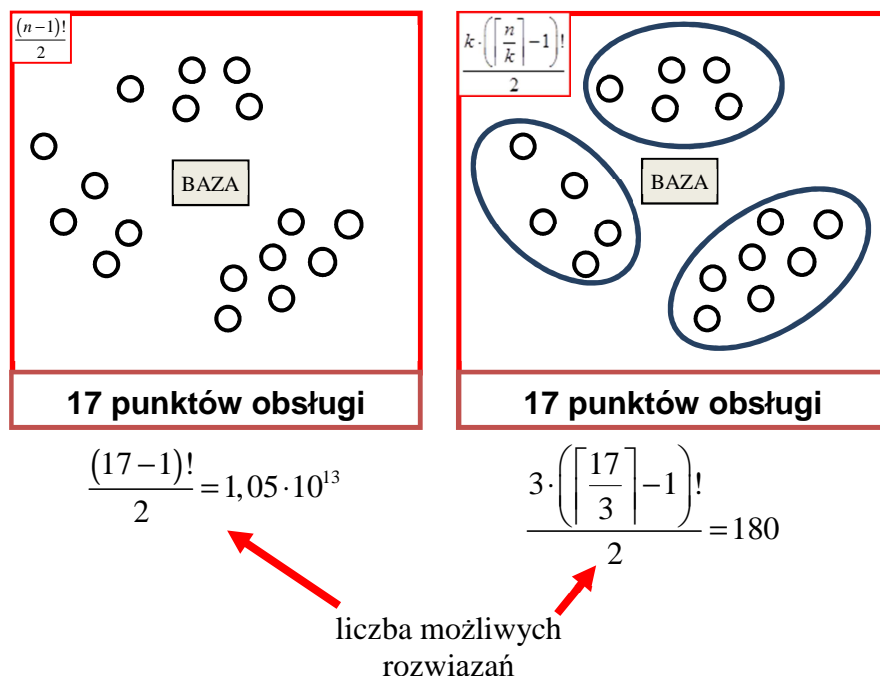
- najpierw klastery, potem trasa (ang. cluster first/route second) [3], [7], [8], [5], [12],
- najpierw trasa, potem klastery (ang. route first/cluster second).

Pojęcie „klastery” w tym przypadku odnosi się do podzbiorów wydzielonych ze zbioru obsługiwanych punktów. Każdy podzbiór obsługiwany jest przez pojedynczy pojazd. Tym samym przestrzeń rozwiązań maleje wraz ze wzrostem liczby klastrów.

Metoda najpierw klastery/potem trasa polega na podziale zbioru punktów obsługi na mniejsze podzbiory (klastry). Następnie w każdym klastrze rozwiązywane jest zagadnienie wyznaczania tras pojazdów.

W przypadku metody najpierw trasa/potem klastery pierwszym etapem tworzona jest jedna trasa dla wszystkich punktów obsługi, nieuwzględniająca żadnych ograniczeń. W drugim etapie trasa ta jest dzielona na krótsze trasy, przy uwzględnieniu nakładanych ograniczeń (brak jest ograniczeń dotyczących liczby pojazdów), dzięki czemu każda nowopowstała trasa dla pojazdu jest trasą dopuszczalną

Ideę klasteryzacji punktów obsługi schematycznie przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. – Idea klasteryzacji punktów obsługi

Źródło: opracowanie własne.

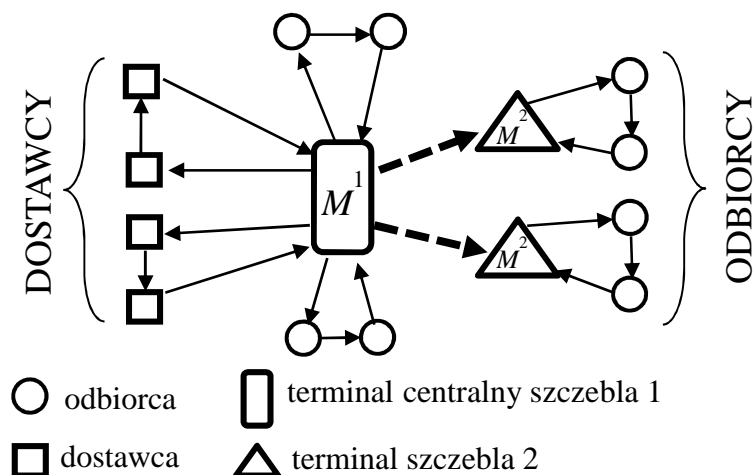
W literaturze istnieje wiele metod rozwiązywania problemu wyznaczania tras pojazdów. Z uwagi na złożoność tego problemu jedynie metody przybliżone gwarantują uzyskanie rozwiązania bliskiego optimum dla nawet dużych przypadków. Dotychczas zaproponowane metody heurystyczne rozwiązywania problemu trasowania pojazdów można sklasyfikować następująco:

- heurystyki konstrukcyjne,
- heurystyki lokalnej optymalizacji,
- metaheurystyki (algorytmy genetyczne, mrówkowe, symulowane wyżarzanie, sieci neuronowe).

Heurystyki konstrukcyjne przypisują klientów do pojazdów i ustalają kolejność ich obsługi. Jedną z najlepiej znanych heurystyk konstrukcyjnych jest algorytm *savings* zaproponowany przez G. Clarke'a i J. Wright'a w pracy [6]. Heurystyki lokalnej optymalizacji polegają na zastępowaniu aktualnie rozpatrywanego rozwiązania nowym, o lepszym z punktu widzenia kryterium optymalizacji układem tras. Ta wymiana polegać może na wymianie punktów w danej trasie, wymianie ciągów punktów pomiędzy trasami poprzez skrzyżowanie krawędzi dwóch tras, przeniesienie dowolnego punktu z jednej trasy do drugiej [14]. Ostatni typ algorytmów heurystycznych stanowią metaheurystyki, czyli heurystyki stosowane „piętrowo”. Są one tzw. heurystykami nadrzędnymi, sterującymi w procesie iteracyjnego przeszukiwania heurystykami niższego rzędu. Wśród najpopularniejszych metod meta-heurystycznych wykorzystywanych do rozwiązywania problemu trasowania pojazdów wyróżnia się algorytmy genetyczne, tabu-search, symulowanego wyżarzania, mrówkowe oraz sztuczne sieci neuronowe. Szczegółowego ich przeglądu dokonano w pracy [4].

1. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU WYZNACZANIA TRAS POJAZDÓW W TRÓJSZCZEBLOWYM SYSTEMIE DYSTRYBUCJI

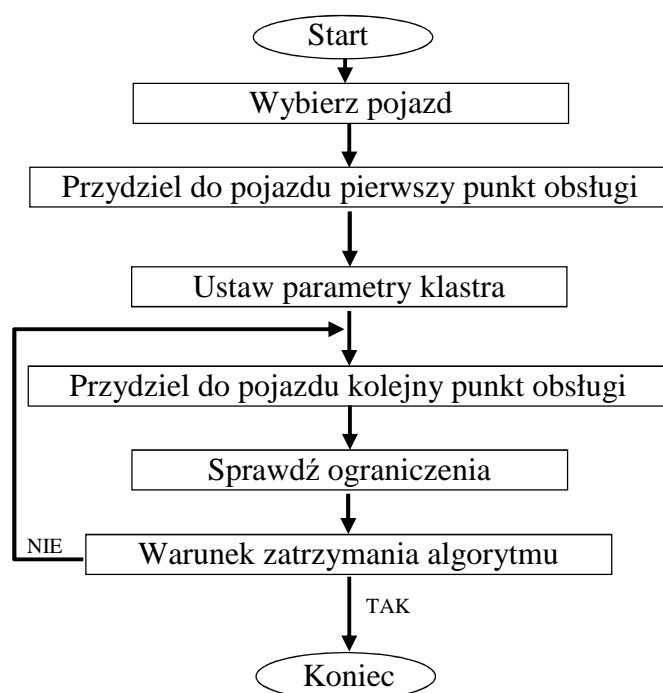
Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie metody ustalania optymalnych planów przewozu w dwuszczeblowym systemie dystrybucji. Na system dystrybucji składają się dostawcy towarów, centralny terminal przeładunkowy (stanowiący pierwszy szczebel dystrybucji), terminale przeładunkowe drugiego oraz finalni odbiorcy towarów. Cechą charakterystyczną rozpatrywanego systemu jest fakt, iż odbiorcy mogą być zaopatrywani przez terminale wszystkich szczebli dystrybucji, przy czym terminale szczebla niższego zaopatrywane są przez terminale szczebla wyższego. Odbiorcy przypdzielani są do terminali na podstawie odległości. Zwózka od dostawców i rozwózka do odbiorców wykonywana jest pojazdami będącymi na wyposażeniu terminali przeładunkowych. Znane jest zapotrzebowanie odbiorców oraz podaż dostawców towarów. Dodatkowo odbiorcy towarów opatrzeni są przedziałami czasu (oknami czasowymi [2]) w jakich spodziewają się otrzymać towar. Tym samym na każdym szczeblu dystrybucji rozwiązywany jest problem trasowania pojazdów z ograniczeniami na ładowność pojazdów i okna czasowe odbiorców. Transport pomiędzy terminalami realizowany jest przez zewnętrznego operatora logistycznego. Schematycznie przykładowy przepływ towarów w rozpatrywanym systemie dystrybucji przedstawiono na rys 3.



Rys. 3. – Przykładowy przepływ towarów w rozpatrywanym systemie dystrybucji

Źródło: opracowanie własne.

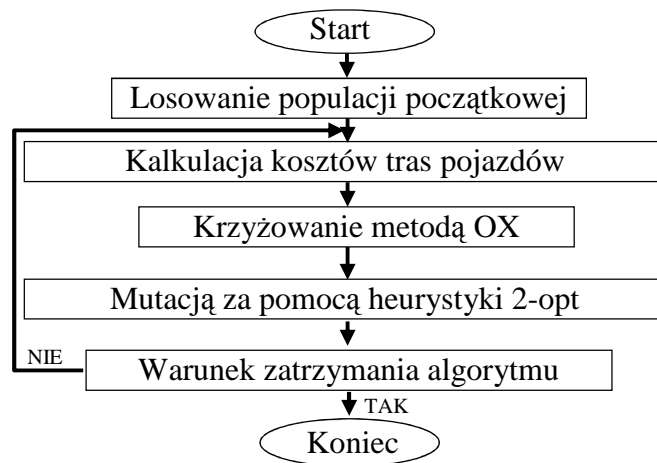
Aby rozwiązać problem trasowania pojazdów na każdym szczeblu dystrybucji posłużono się heurystyką cluster first/route second. Zarówno dostawcy jak i odbiorcy poddawani są klasteryzacji w celu wyznaczenia takich zbiorów odbiorców/dostawców, w których każda trasa niezależnie od kolejności obsługi dostawców/odbiorców jest trasą dopuszczalną przy kryterium ładowności pojazdów i terminowości dostaw, przy czym każdy klastery obsługiwany jest przez pojedynczy pojazd. Algorytm klasteryzacji jest rozwinięciem o aspekt okien czasowych podejścia zaproponowanego w pracy [1]. Procedura klasteryzacji rozpoczyna się od wyboru pojazdu i przyporządkowaniu do niego pierwszego punktu obsługi z posortowanej wg okien czasowych listy punktów obsługi przydzielonych do danej bazy magazynowej. Następnie kolejno sprawdzane są ograniczenia na nieprzekroczenie ładowności pojazdu, nieprzekroczenie czasu pracy kierowcy oraz ograniczenia na terminowość obsługi wynikającą z okien czasowych. Kolejne punkty obsługi przydzielane są do klastra do momentu, aż żaden z nich nie spełnia ograniczeń. Następnie klastery jest zamykany i wybierany jest kolejny pojazd do obsługi kolejnego klastra. Procedura ta powtarza się do momentu, aż wszystkie punkty obsługi zostaną przydzielone do klastrów. Schematycznie procedurę klasteryzacji przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. – Uproszczony schemat blokowy algorytmu klasteryzacji punktów obsługi

Źródło: opracowanie własne.

Optymalizacja tras w klastrach dokonywana jest z wykorzystaniem algorytmu genetycznego. Przy budowie algorytmu posłużono się ścieżkową reprezentacją osobników (tras pojazdów). Krzyżowania osobników zrealizowano metodą OX a ich mutacje dokonano wykorzystując heurystykę lokalnej optymalizacji 2-opt. Szczegółowy opis ścieżkowej reprezentacji tras pojazdów oraz metodę krzyżowania OX znaleźć można w pracy [10]. Schematycznie zaproponowany algorytm przedstawiono na rys.5.



Rys. 5. – Uproszczony schemat blokowy zaproponowanego genetycznego algorytmu wyznaczania tras pojazdów w klastrach

Źródło: opracowanie własne.

2. MATEMATYCZNE SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Matematyczny zapis zadania jest rozwinięciem sformułowania jednobazowego zadania wyznaczania tras pojazdów przedstawionego w pracy [9]. Dane do zadania zawierają charakterystyki elementów punktowych oraz liniowych rozpatrywanego systemu dystrybucji. Funkcja kryterium minimalizuje całkowity koszt realizacji dostaw w całym systemie dystrybucji, przy czym na wielkość tego kosztu wpływa długości pokonywanych przez pojazdy tras oraz łączny czas pracy kierowców. Ograniczenia nakładane na wartości zmiennych decyzyjnych zadania zapewniają, realizację planu dostaw.

Dane niezbędne do rozwiązania rozpatrywanego problemu będące jednocześnie elementami składowymi funkcji kryterium to:

$D = \{d: d=1, \dots, d, \dots, d', \dots, D\}$ – zbiór numerów dostawców,

$O = \{o: o=1, \dots, o, \dots, o', \dots, O\}$ – zbiór numerów odbiorców,

$ST = \{st: st=1, \dots, st, \dots, ST\}$ – zbiór numerów pojazdów,

$M = \{m: m=1, \dots, m, \dots, m', \dots, M\}$ – zbiór numerów terminali,

$N = \{n: n=1, \dots, n, \dots, N\}$ – zbiór numerów szczebli dystrybucji,

$SD = [sd_{d,d'}]$ – macierz odległości pomiędzy poszczególnymi dostawcami,

$SMD = [smd_{m,d}]$ – wektor odległości pomiędzy terminalem centralnym a dostawcami,

$TD = [td_{d,d'}]$ – macierz czasów przejazdu pomiędzy poszczególnymi dostawcami,

$TMD = [tmd_{m,d}]$ – wektor czasów przejazdu pomiędzy terminalem centralnym a dostawcami,

$SO = [so_{o,o'}]$ – macierz odległości pomiędzy poszczególnymi odbiorcami,

$SMO = [smo_{m,o}]$ – wektor odległości pomiędzy m -tym terminalem a odbiorcami,

$TO = [to_{o,o'}]$ – macierz czasów przejazdu pomiędzy poszczególnymi odbiorcami,

$TMO = [tmo_{m,o}]$ – wektor odległości pomiędzy m -tym terminalem a odbiorcami,

k^{st} – koszt jednostkowy użytkowania pojazdu st -ego pojazdu na jednostkę pokonanej przez niego

kt^{st} – koszt jednostkowy czasu pracy kierowcy st -ego pojazdu wyrażany na godzinę pracy,

qd_d – wielkość podaży d -tego dostawcy towarów,

qo_o^n – wielkość zapotrzebowania o -tego odbiorcy towarów na n -tym szczeblu dystrybucji, było

τ – czas załadunku\rozładunku jednostki towaru,

$d_{m,m'}$ – długość drogi pomiędzy m -tym terminalem n -tego szczebla a m' -tym terminalem szczebla $n+1$,

$t_{m,m'}$ – czas przejazdu pomiędzy m -tym terminalem n -tego szczebla a m' -tym terminalem szczebla $n+1$.

Pozostałe dane do zadania, pojawiające się jedynie w ograniczeniach to:

Q^{st} – ładowność st -tego pojazdu,

T^{st} – dopuszczalny czas pracy kierowcy st -ego pojazdu w ciągu dnia,

tk_m – czas kompletacji ładunku w m -tym terminalu przeładunkowym,

(A_m, B_m) – przedział czasu pracy m -tego terminala przeładunkowego,

(a_o, b_o) – okno czasowe o -tego odbiorcy towarów,

Dla tak sformułowanych danych należy wyznaczyć takie wartości binarnych macierzy zmiennych decyzyjnych X, XMD, Y, YMO oraz Z , postaci:

$X = [x_{d,d'}^{st}]$, gdzie $x_{d,d'}^{st} = 1$ jeżeli odcinek (d, d') wchodzi do trasy st -go pojazdu,

$XMD = [xmd_{m,d}^{st}]$, gdzie $x_{d,d'}^{st} = 1$ jeżeli odcinek (m, d) wchodzi do trasy st -go pojazdu,

$Y = [y_{o,o'}^{st,n}]$, gdzie $y_{o,o'}^{st,n} = 1$ jeżeli odcinek (o, o') wchodzi do trasy st -go pojazdu na n -tym szczeblu dystrybucji,

$YMO = [y_{m,o}^{st,n}]$, gdzie $y_{m,o}^{st,n} = 1$ jeżeli odcinek (m, o) wchodzi do trasy st -go pojazdu na n -tym szczeblu dystrybucji,

$Z = [z_{m,m'}^{st}]$, gdzie $z_{m,m'}^{st} = 1$ jeżeli st -pojazd przejeżdża pomiędzy m -tym terminalem szczebla n a m' -tym terminalem szczebla $n+1$

oraz zmiennej pomocniczej pojawiającej się w ograniczeniach zadania postaci:

T_o^n – moment przyjazdu do o -tego odbiorcy na n -tym szczeblu dystrybucji

dla których funkcja kryterium postaci:

$$F(X, Y, Z) = \left[\sum_{st \in ST} \left(\sum_{d \in D} k^{st} \left(\sum_{d' \in D} x_{d,d'}^{st} \cdot sd_{d,d'} + \sum_{m(n,i) \in M^n} (xmd_{m(n,i),d}^{st} \cdot smd_{m(n,i),d}^{st}) \right) \right) \right. \\ \left. + \sum_{st \in ST} \left(\sum_{d \in D} kt^{st} \left(\sum_{d' \in D} x_{d,d'}^{st} \cdot td_{d,d'} + \sum_{m(n,i) \in M^n} (xmd_{m(n,i),d}^{st} \cdot tmd_{m(n,i),d}^{st}) \right) \right) \right] + \\ \left(\sum_{d \in D} (qd_d \cdot \tau) \cdot \sum_{d' \in D} x_{d,d'}^{st} \right) \\ \sum_{n \in N} \left[\sum_{m \in M^n} \sum_{m' \in M^{n+1}} \sum_{st \in ST} z_{m,m'}^{st} \cdot d_{m,m'} \cdot k^{st} + \sum_{m \in M^n} \sum_{m' \in M^{n+1}} \sum_{st \in ST} z_{m,m'}^{st} \cdot t_{m,m'} \cdot kt^{st} \right] + \\ \left[\sum_{n \in N} \left[\sum_{st \in ST} \left(\sum_{o \in O} k^{st} \left(\sum_{o' \in O} y_{o,o'}^{st,n} \cdot so_{o,o'} + \sum_{m \in M^n} (ymo_{m,o}^{st,n} \cdot smo_{m,o}^{st}) \right) \right) \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_{st \in ST} \left(\sum_{o \in O} kt^{st} \left(\sum_{o' \in O} y_{o,o'}^{st,n} \cdot to_{o,o'} + \sum_{m \in M^n} (ymo_{m,o}^{st,n} \cdot tmo_{m,o}^{st}) \right) \right) + \left(\sum_{o \in O} (qo_o \cdot \tau) \cdot \sum_{o' \in O} y_{o,o'}^{st,n} \right) \right] \right] \longrightarrow \min$$

przyjmować będzie wartość minimalną.

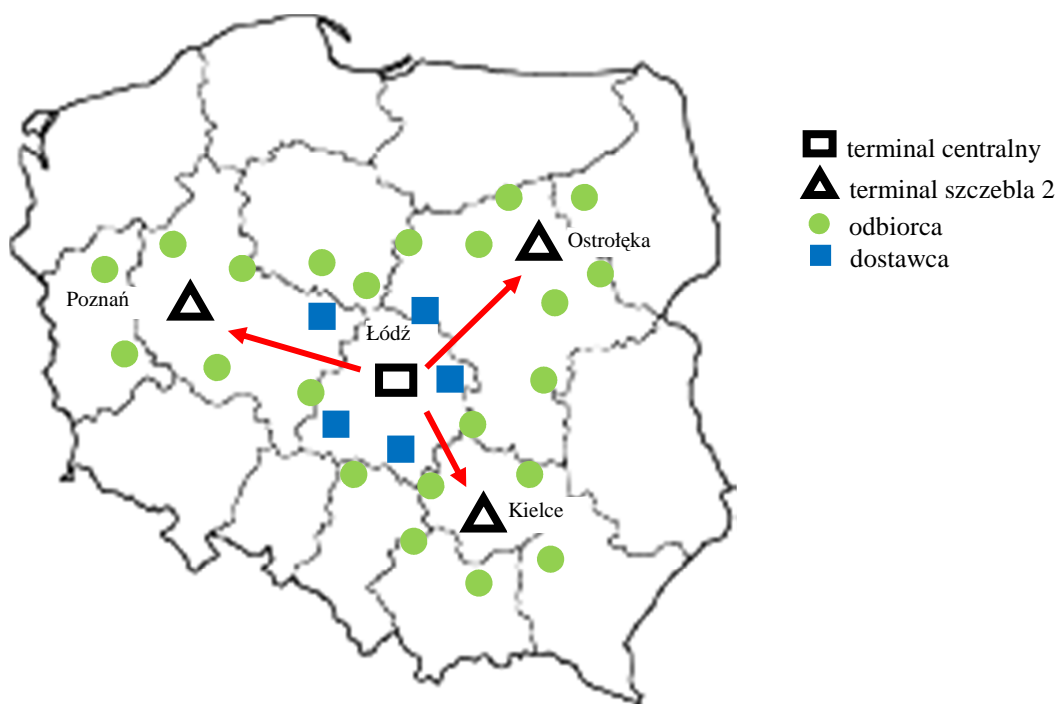
Z uwagi na ograniczoną długość referatu zamiast analitycznego zapisu ograniczeń nakładanych na wartości zmiennych decyzyjnych przedstawiono jedynie słowną ich treść:

- każdy d -ty oraz d' -ty dostawca może być obsługiwany tylko raz,
- każdy o -ty oraz o' -ty odbiorca może być obsługiwany tylko raz,
- pojazd wjeżdżający do punktu obsługi musi z niego wyjechać,
- ładowność pojazdów nie może zostać przekroczona,
- czas trwania trasy wraz z czasem przeznaczonym na obsługę punktu nie może przekraczać czasu pracy kierowcy w ciągu dnia,
- zwózka od dostawców musi się zakończyć na tyle wcześnie, aby możliwa była kompletacja i rozwózka,

- rozwózka do odbiorców musi się zakończyć w oknie czasowym terminala, do którego zostali przydzieleni,
- pojazd może rozpocząć rozładunek tylko w oknie czasowym odbiorcy,
- czas trwania trasy pojazdu pomiędzy terminalami dwóch kolejnych szczebli dystrybucji nie może przekraczać czasu pracy kierowcy w ciągu dnia,
- towar musi być dostarczony do terminala szczebla $n+1$ w oknie czasowym tego terminala i na tyle wcześniej aby możliwa była kompletacja i rozwózka towarów do odbiorców tego terminala.

3. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Aby móc poszukiwać minimum funkcji kryterium niezbędnym było opracowanie autorskiej aplikacji komputerowej. Optymalizacja kolejności obsługi finalnych odbiorców realizowana jest za pomocą opisanych wcześniej algorytmów (algorytmu klasteryzacji i algorytmu genetycznego). W celu weryfikacji zaproponowanego podejścia, analizie poddano dwuszczeblowy system dystrybucji składający się z 80 odbiorców, 30 dostawców, centralnego terminala przeładunkowego pierwszego szczebla oraz trzech terminali przeładunkowych szczebla drugiego. Rozpatrywany system dystrybucji zlokalizowany jest na terytorium Polski. Terminale przeładunkowe zlokalizowane są w Łodzi, Poznaniu, Kielcach i Ostrołęce. Schematycznie rozmieszczenie elementów punktowych rozpatrywanego systemu dystrybucji przedstawiono na rys. 6.



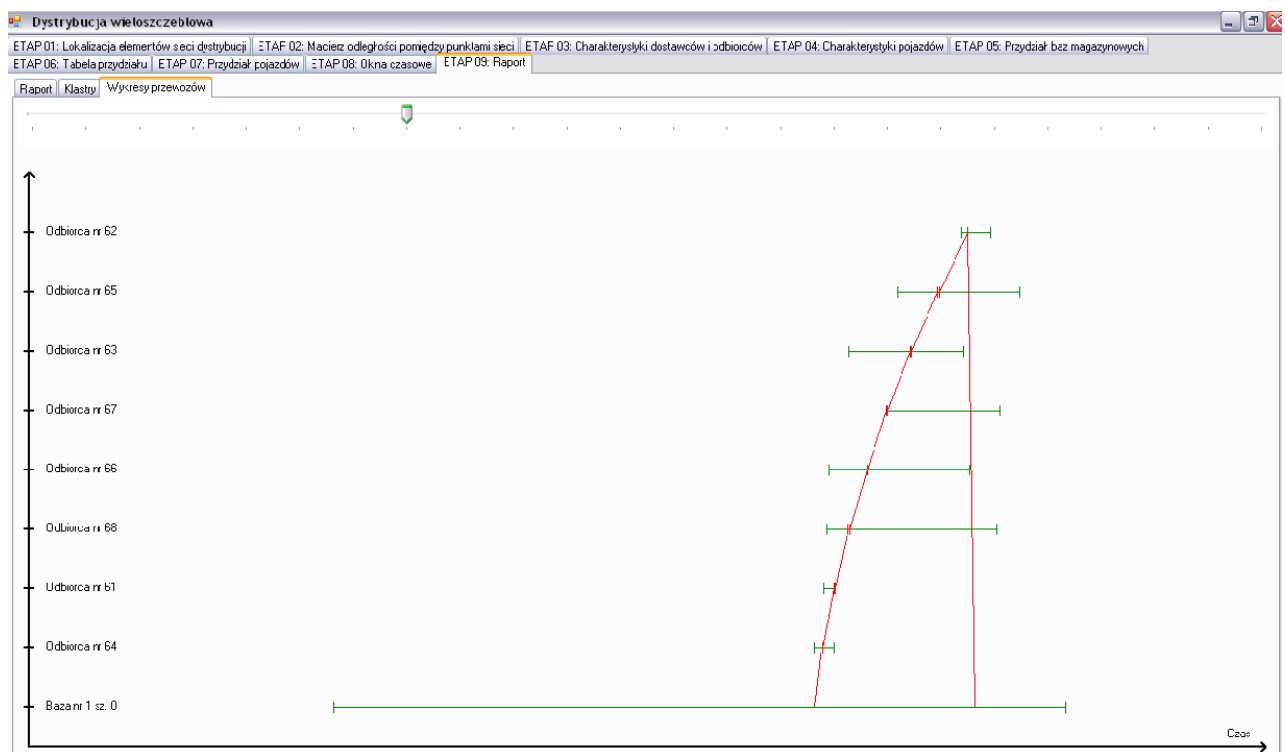
Rys. 6. – Rozmieszczenie elementów punktowych analizowanego systemu dystrybucji

Źródło: opracowanie własne.

Dodatkowo, w celu przedstawienia wyników optymalizacji niezbędnym było przyjęcie kilku następujących założeń:

- odbiorcy scharakteryzowani oknami czasowymi różnej długości (w godz. 13 – 19) oraz różnym zapotrzebowaniem (1-2 jednostki ładunkowe paletowe),
- obsługa dostawców i odbiorców realizowane przez pojazdy 34 i 17 paletowe,
- terminale przeładunkowe otwarte w godz. 6 – 20,
- czas kompletacji 1 jłp – 30s, czas załadunku/rozładunku jednej palety – 1 min.

Plany przewozów uzyskane w wyniku optymalizacji przedstawiono w tabeli 1. Dodatkowo na rys. 7 przedstawiono graficzny plan przewozu uzyskany dla pojazdu obsługującego odbiorców o numerach 64, 61, 68, 66, 67, 65, 62.



Rys. 7. – Graficzna prezentacja planu przewozu uzyskanego dla pojazdu obsługującego odbiorców

Źródło: opracowanie własne.

Tabela. 1. Plan przewozów uzyskany w wyniku optymalizacji

Typ pojazdu												Długość trasy [km]	Koszt trasy [PLN]	Moment powrotu do terminala	Wypełnienie pojazdu
	Numer dostawcy (I)	29	28	30	25	21	19	15	12						
1	Numer dostawcy (I)	29	28	30	25	21	19	15	12			34,33	19,42	08:20	97
1	(I)	5	8	7	6	9	14	10				33,83	18,94	08:16	85
1	(I)	17	11	16	13	1	3	2	4	27		48,09	29,79	09:42	100
1	(I)	24	18	26	23	20	22					33,83	17,04	07:57	76,4
Czas kompletacji – 61 min															
2	Numer odbiorcy (II)	72	70	73	71	69						30,38	48,51	17:17	53
2	(II)	78										18	33,40	15:23	11,76
2	(II)	64	61	68	66	67	63	65	62			45,58	58,87	18:15	47
2	(II)	80	79	75	77	76	74					45,82	57,25		70
1	Transport między terminalem centralnym i pierwszym terminalem szczebla 2 - 41 palet; kompletacja - 21min											28,60	4,52		
1	Transport między terminalem centralnym i drugim terminalem szczebla 2 - 11 palet; kompletacja - 11min											49,93	7,88		
1	Transport między terminalem centralnym i trzecim terminalem szczebla 2 - 29 palet; kompletacja - 15min											51,66	8,16		
2	Numer odbiorcy (II)	21										33,11	22,33	13:32	11,76
2	(II)	54	50	52	49	53	59	51	57	55	56	84,45	76,43	19:59	94
2	(II)	46										22,80	21,54	13:55	5,88
2	(II)	24										30,53	24,76	14:04	5,88
2	(II)	58	42	44	41	45	47	43	60	48		69,54	70,86	19:48	76,47
2	(II)	22	25	26	23							42,05	41,42	16:16	47
2	(II)	37	39	40	36	38						59,00	52,60	17:25	35,29
2	(II)	35	29	34	32	30	28	33	27	31		72,52	65,76	18:56	88,24
2	(II)	16	18	15	20	19	14	17				45,68	51,80	18:03	70,59
2	(II)	2	11	1	6	4	7	3	5			74,55	64,47	18:43	58,82
2	(II)	8										42,05	30,31	14:39	5,88
2	(II)	13	12	9	10							57,84	58,05	18:29	35,29
Całkowity koszt dystrybucji zależny od długości tras i czasu pracy kierowców												884,1			

Źródło: opracowanie własne.

4. WNIOSKI

Pomimo dużej liczby dostawców i odbiorców plany przewozów dla wszystkich pojazdów uzyskane zostały zaledwie w ciągu kilku sekund. Jak wynika z wykresu przewozu uzyskanego dla jednego z pojazdów, obsługa wszystkich odbiorców realizowana została w ich oknach czasowych. Pozwala to tym samym sądzić, iż wyniki optymalizacji uzyskane dzięki zastosowaniu algorytmu klasteryzacji oraz algorytmu genetycznego są akceptowalne.

Dalsze prace w tym zakresie obejmować będą porównywanie wydajności zaproponowanych algorytmów z innymi algorytmami opisywanymi w literaturze przedmiotu.

Streszczenie

Celem artykułu było zaprezentowanie metody wyznaczania tras pojazdów w dwuszczeblowym systemie dystrybucji ze szczególnym uwzględnieniem terminowości dostaw. Szczególnej uwadze poświęcono konieczność wykorzystania heurystycznych metod w celu rozwiązywania problemu wyznaczania tras pojazdów. Sformułowano zadanie optymalizacyjne wyznaczania terminowych przewozów w dwuszczeblowym systemie dystrybucji. Zadanie rozwiązane zostało z wykorzystaniem algorytmów klasteryzacji i genetycznego. Trasy pojazdów wyznaczone zostały dzięki wykorzystaniu autorskiej aplikacji komputerowej.

Słowa kluczowe: klasteryzacja, trasowanie pojazdów, dwuszczeblowy system dystrybucji.

Clustering and vehicle routing in 2-level distribution system

Abstract

The aim of the article was to present a method of routing optimization in the 2-level distribution system with special emphasis on terminable deliveries. Much attention is paid to the necessity of the heuristics methods usage for solving the vehicle routing problem. The vehicle routing in 2-level distribution system with customers' time windows optimization task was formulated. This task was solved through the clustering procedure and genetic algorithm for vehicle routing. Vehicles' routes were obtained with the usage of authors' computer application.

Key words: clustering, vehicle routing, 2-level distribution system.

LITERATURA

- [1] Ambroziak T., Jachimowski R.: Algorytm klasteryzacji w zastosowaniu do problemu trasowania pojazdów. *Logistyka* 2/2012.
- [2] Ambroziak T., Jachimowski R.: Aspekt czasu dostaw w optymalizacji hierarchicznego systemu dystrybucji. *Logistyka* 4/2009.
- [3] Bramel J., Simchi-Levi D.: A location based heuristic for general routing problems. *Operations Research*, 43:649-660, 1995.
- [4] Brandão, J.: Metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows. S. Voss, S. Martello, I. H. Osman, C. Roucairol, eds. *Metaheuristics—Advances and Trends in Local Search Paradigms for Optimization*. Kluwer Academic Publishers, Boston 1999.
- [5] Christofides N., Mingozzi A., Toth P.: The vehicle routing problem. In *Combinatorial Optimization*, Wiley UK 1979.
- [6] Clarke G., Wright J.: Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research* 12, 568-581, 1964.
- [7] Fisher, M., Jaikumar R.: A generalized assignment heuristic for vehicle routing. *Networks* 11:109-124, 1981.
- [8] Gillett, B., Miller L.: A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem. *Operations Research* 22:340-349, 1974.
- [9] Jachimowski R., Pyza D., Zak J.: Routes planning problem with heterogeneous suppliers demand. *Proceedings of 21st International Conference on Systems Engineering, IEEE Computer Society, 16-18 August 2011, Las Vegas, Nevada USA*.

- [10] Michalewicz Z.: Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999.
- [11] Pohl H.: Systemy logistyczne. Poznań 1998.
- [12] Ryan D., Hjorring C., Glover F.: Extensions of the petal method for vehicle routing. Journal of Operational Research Society, 44:289-296, 1993.
- [13] Savelsbergh, M.W.P. Local search in routing problems with time windows, Ann. Oper. Res. 4:285-305, 1985.
- [14] Sysło M., Narsingh D., Kowalik J.: Algorytmy optymalizacji dyskretnej z programami w języku Pascal. PWN, Warszawa 1993.

Acknowledgment

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2012 jako projekt badawczy". Projekt N N509 601839 pt. Metodyka kształtowania sieci transportowo-logistycznej w wybranych obszarach