

Z praktyki przedsiębiorstw

Marian Brzeziński, Tomasz Waśniewski

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Logistyki, Instytut Logistyki

Magdalena Kijek

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Instytut Logistyki

Modelowanie systemu organizacji przewozów w firmie transportowej

*Modelling of organizational system of deliveries
within transportation company*

Globalny transport samochodowy wykorzystywany w wielu gałęziach gospodarki zapewnia dostawy do klientów. Fragmentaryzacja działań firm transportowych komplikuje wykonywanie zadań i nie pozwala na optymalizację dostaw. Powoduje to wydłużenie czasu realizacji, podnosi koszty i nie pozwala reagować elastycznie na potrzeby klienta. Konsekwencją tego jest malejące zadowolenie klienta z logistycznej obsługi, co w efekcie prowadzi do utraty klientów, a co za tym idzie do spadku zysków. Przedsiębiorstwa transportowe powinny ukierunkować się na zmiany w podejściu procesowym, transport odgrywa bowiem znaczącą rolę w procesach logistycznych. W rezultacie jego optymalizacja zmierza do usprawnienia procesów bezpośrednio wpływających na wzrost wartości przedsiębiorstwa.

Słowa kluczowe:

transport, przeładunek kompletacyjny, metoda euklidesowa.

Global trucking used in various branch of industry enables deliveries to respective customers. Fragmentation of activities of transport companies makes complex providing some tasks and not allows for optimization of deliveries. It causes delays of realization of deliveries, rises costs and is not flexible towards customer needs. As a consequence, customer satisfaction from logistic service is going down and it leads to losing of customers and decreasing of profit. Transportation companies should aim in changing into processes approach, respecting the significant role of transportation in logistic processes. In result, optimization of transportation process aims in rationalization of global processes affecting the growth of the company.

Key words:

transport, cross docking, Euclidean method.

Wstęp

Podstawowym celem organizacji przewozów w firmach transportowych jest efektywne wykorzystanie środków transportu i minimalizacja kosztów eksploatacji. Przetrawanie i rozwój firm transportowych wiąże się z ich ciągłym dostosowaniem do potrzeb przewozowych klientów obserwowanych na rynku pod względem ilości przewożonych towarów, kosztów, czasu i jakości usług.

Firmy mogą zwiększyć swoje możliwości przewozowe poprzez zakup taboru albo efektywniejsze wykorzystanie posiadanych środków transportu.

Zakup pojazdów to duży wydatek finansowy, lecz to tylko wierzchołek góry lodowej, dopiero bowiem

koszty eksploatacji pojazdów stanowią o wyniku finansowym przedsiębiorstwa przewozowego.

Efektywniejsze wykorzystanie taboru wiąże się z zastosowaniem technologii informatycznych oraz poszukiwaniem nowych rozwiązań organizacyjnych. Są to bardzo ważne zagadnienia mające wymiar zarówno teoretyczny, ale przede wszystkim praktyczny.

W celu poprawy efektywności floty samochodowej można wykorzystać szereg narzędzi informatycznych, które umożliwiają bieżącą analizę kosztów zarówno wykonywanych przewozów, jak i ocenę zastosowanych rozwiązań organizacyjnych. Zapewniają one automatyczne optymalizowanie dróg przewozów, szczególnie wtedy, gdy nie są to trasy stałe, ale zależne od zlecenia klienta. W takich przypadkach samo-

chody bez ładunku mogą pokonywać długie odcinki w celu dojazdu do zleceniodawcy, co naraża przedsiębiorstwo na zbyt wysokie koszty działalności.

Możliwości usprawnienia przewozów stwarza rozwiązanie organizacyjne zwane przeładunkiem kompletacyjnym.

Problemem badawczym niniejszego opracowania jest odpowiedź na pytanie: czy zastosowanie przeładunku kompletacyjnego wpłynie na wzrost stopnia wykorzystania taboru samochodowego w przedsiębiorstwie.

Celem opracowania jest wykazanie, że zastosowanie przeładunku kompletacyjnego umożliwi zoptymalizowanie wykorzystania taboru oraz tras przewozu ładunków, a tym samym przyczyni się do obniżenia kosztów działalności firmy przewozowej.

W celu rozwiązania problemu zastosowano takie metody badawcze, jak: analiza i ocena literatury, modelowanie matematyczne oparte na metodach wyznaczania lokalizacji, analiza scenariuszowa.

Analiza obecnego systemu procesu transportowego — założenia

Na terenie Polski funkcjonuje 4 dostawców zlokalizowanych w Gdańsku, Zielonej Górze, Katowicach i Białej Podlaskiej. Zaopatrują oni swoich odbiorców w Warszawie, Szczecinie i Częstochowie.

Stawka przewozowa uzależniona jest głównie od wielkości przewożonego ładunku (im większy ładunek tym wyższa stawka przewozowa za km) i waha się ona od 2,50 do 4,50 zł. Do obliczeń wykorzystano uśrednioną stawkę w wysokości 3,50 zł/km.

Dostawca 1 z Gdańska dostarcza miesięcznie 190 t ładunku do trzech odbiorców. Do Warszawy oraz Częstochowy dostarcza 80 t miesięcznie ładunku, co daje na jedną dostawę 20 t. Natomiast do odbiorcy ze Szczecina 30 t, czyli na dostawę przypada 7,5 t (tab. 1).

W tabeli 2 przedstawiony jest miesięczny wolumen przewożony przez dostawcę 2 z Katowic. Dostarcza on łącznie 170 t pomiędzy trzech odbiorców. Do odbiorców z Warszawy oraz z Częstochowy dostarcza po 70 t ładunku, co daje na jedną dostawę 17,5 t. Natomiast do odbiorcy ze Szczecina wolumen ładunku to 30 t (7,5 t na dostawę).

Dostawca 3 z Zielonej Góry miesięcznie dostarcza 70 t ładunku pomiędzy trzech odbiorców. Do odbiorców zlokalizowanych w Warszawie oraz w Szczecinie dostarcza po 30 t (na jedną dostawę przypada 7,5 t). Natomiast do odbiorcy z Częstochowy dostarcza 10 t ładunku miesięcznie, co daje 2,5 t na dostawę (tab. 3).

Ostatnim, w rozpatrywanym artykule, jest dostawca 4 z Białej Podlaskiej. Jego łączny miesięczny wolumen przewożonego ładunku to 110 t. Do odbiorców z Warszawy oraz z Częstochowy dostarcza

Tabela 1
Wolumen przewożonego ładunku przez dostawcę 1 z Gdańska

	Wolumen przewożonego ładunku/miesiąc [t/miesiąc]	Wolumen ładunku przypadający na 1 dostawę [t]	Stawka przewozowa [zł/km]
Odbiorca 1: Warszawa	80	20,0	3,50
Odbiorca 2: Częstochowa	80	20,0	3,50
Odbiorca 3: Szczecin	30	7,5	3,50
Łączny wolumen przewożonego ładunku od dostawcy 1	190		

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2
Wolumen przewożonego ładunku przez dostawcę 2 z Katowic

	Wolumen przewożonego ładunku/miesiąc [t/miesiąc]	Wolumen ładunku przypadający na 1 dostawę [t]	Stawka przewozowa [zł/km]
Odbiorca 1: Warszawa	70	17,5	3,50
Odbiorca 2: Częstochowa	70	17,5	3,50
Odbiorca 3: Szczecin	30	7,5	3,50
Łączny wolumen przewożonego ładunku od dostawcy 2	170		

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3
Wolumen przewożonego ładunku przez dostawcę 3 z Zielonej Góry

	Wolumen przewożonego ładunku/miesiąc [t/miesiąc]	Wolumen ładunku przypadający na 1 dostawę [t]	Stawka przewozowa [zł/km]
Odbiorca 1: Warszawa	30	7,5	3,50
Odbiorca 2: Częstochowa	10	2,5	3,50
Odbiorca 3: Szczecin	30	7,5	3,50
Łączny wolumen przewożonego ładunku od dostawcy 3	70		

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4

Wolumen przewożonego ładunku przez dostawcę 4 z Białej Podlaskiej

	Wolumen przewożonego ładunku/miesiąc [t/miesiąc]	Wolumen ładunku przypadający na 1 dostawę [t]	Stawka przewozowa [zł/km]
Odbiorca 1: Warszawa	20	5,0	3,50
Odbiorca 2: Częstochowa	20	5,0	3,50
Odbiorca 3: Szczecin	70	17,5	3,50
Łączny wolumen przewożonego ładunku od dostawcy 4	110		

Źródło: opracowanie własne.

po 20 t ładunku, co daje na jedną dostawę 5 t. Do Szczecina natomiast dostarcza 70 t ładunku, czyli podczas jednego transportu przewozi 17,5 t ładunku (tab. 4).

Aby wykorzystać obecnie stosowane metody wyznaczające lokalizacje, tj. metodę współrzędnych prostokątnych oraz metodę euklidesową (przedstawioną w zadaniu), niezbędne jest wyznaczenie współrzędnych geograficznych. Każdy punkt na mapie ma współrzędne geograficzne, które są wyrażone w formacie DMS (ang. *Degree–Minute–Second*; stopnie–minuty–sekundy). Taki zapis długości i szerokości geograficznej w formacie DMS utrudnia obliczenia. Należy format DMS zamienić na bardziej czytelny format wykorzystywany przez programy, czyli na format DD (ang. *Decimal Degrees*; stopnie dziesiętne).

Zamianę z formatu DMS na format DD można zrobić za pomocą arkusza kalkulacyjnego, wprowadzając następujące zależności:

$$\text{Degree}/_1 + \text{Minute}/_{60} + \text{Sekunde}/_{3600} = DD \quad (1)$$

$$\text{Stopnie}/_1 + \text{minuty}/_{60} + \text{Sekundy}/_{3600} = DD \quad (2)$$

Czyli znając współrzędne w formacie DMS, możemy przedstawić je w formacie DD w następujący sposób:

53°50'37" – DMS

$$53/_1 + 50/_60 + 37/_3600 = DD$$

$$53 + 0,8333 + 0,010277 = 53,843577$$

53,8436 – DD

W ten sposób otrzymujemy współrzędne w postaci dziesiętnej gotowe do wprowadzenia do programu. Po dokonaniu obliczeń otrzymaliśmy następujące współrzędne miast w formacie DD (tab. 5).

Tabela 5

Współrzędne miast przedstawione w formacie DD

Lp.	Dostawcy	Współrzędne	
		E	N
1	Gdańsk	18,648828	54,352084
2	Katowice	19,018866	50,264396
3	Zielona Góra	15,507313	51,935940
4	Biała Podlaska	23,144632	52,038492
Odbiorcy		E	N
1	Szczecin	14,549779	53,431537
2	Warszawa	21,008322	52,231887
3	Częstochowa	19,129638	50,811273

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 1 przedstawiono obecnie stosowany model systemu transportowego w przedsiębiorstwach. Dostawcy, dostarczając raz w tygodniu towary do trzech odbiorców, wysyłają po 3 pojazdy ciężarowe na kierunku Warszawa, Szczecin, Częstochowa. W systemie tym wykorzystywanych jest do transportu zatem 12 pojazdów. Przykładowo dostawca z Gdańska przewozi wolumen 47,5 tony raz w tygodniu i pokonuje drogę 1231 km.

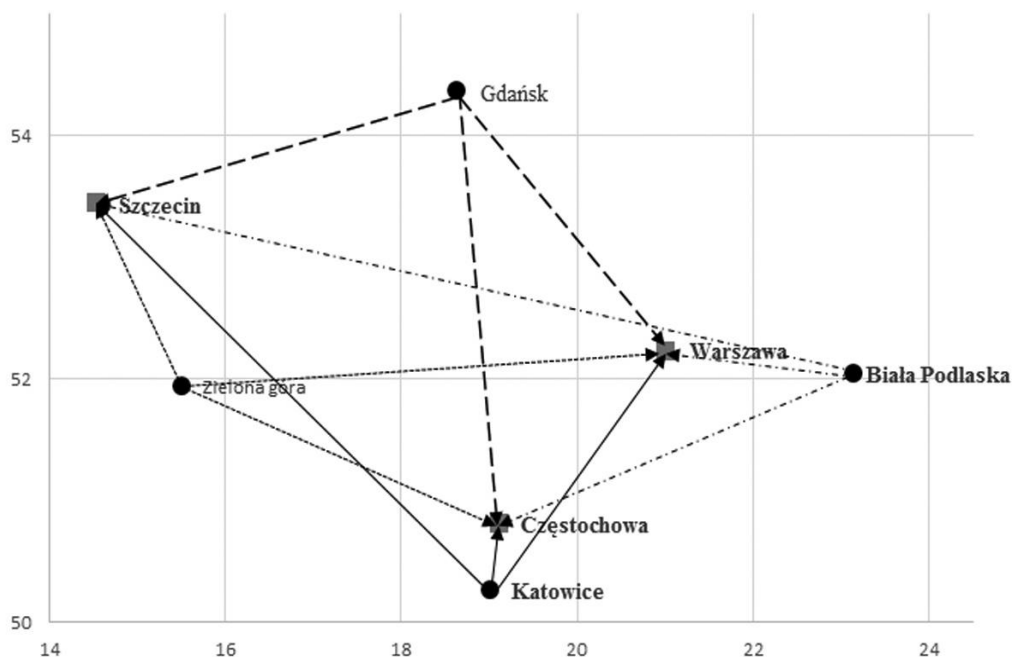
Raz w tygodniu 12 pojazdów dostawców wyjeżdża w trasę z towarami o wolumenie 135 ton pokonując razem odległość 4488,8 km. Miesięczny wolumen to 540 ton oraz 17 995,2 km przejechanych przez wszystkie ciężarówki. Mnożąc wolumen i liczbę kilometrów przez 12 miesięcy, otrzymujemy wolumen 6480 ton oraz 215 462,4 km.

W nawiązaniu do wyżej wymienionego przykładu dostawca z Gdańska na przewiezienie ładunku do odbiorców zlokalizowanych w różnych częściach kraju wykorzystuje 3 środki transportowe. Gdzie średni czas transportu dostawy (przy założeniu, że pojazd porusza się z średnią prędkością 60 km/h) to 6 h 50'. Łączny koszt dostawy wynosi 4308,50 zł na odległość 1231 km (tab. 6).

W tabeli 7 przedstawiono dane dotyczące dostawcy 2. Kontrahent z Katowic, dostarczając towar do swoich klientów, pokonuje łącznie 939,8 km, wykorzystując do tego celu 3 środki transportowe (niezależnie od wielkości przewożonego ładunku). Ponosi on tym samym koszt transportu jednej dostawy w wysokości 3289,30 zł. Średni czas transportu ładunku do kontrahenta wynosi 5 h 13'.

Rysunek 1

Obecnie stosowany model transportowy pomiędzy dostawcami a odbiorcami



Źródło: opracowanie własne.

Tabela 6

Zestawienie danych dla dostawcy 1 z Gdańska

	Odległość [km]	Stawka przewozowa [zł/km]	Koszty przewozu [zł]	Wolumen ładunku przypadający na 1 dostawę [t]	Stawka za przewiezienie 1 tony [zł/t]	Czas	Wolumen przewożonego ładunku/miesiąc [t]
Warszawa	418	3,50	1 463,00	20,0	73,15	6 h 58'	80
Częstochowa	450	3,50	1 575,00	20,0	78,75	7 h 30'	80
Szczecin	363	3,50	1 270,50	7,5	169,40	6 h 3'	30
		Suma	4 308,50				190

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 7

Zestawienie danych dla dostawcy 2 z Katowic

	Odległość [km]	Stawka przewozowa [zł/km]	Koszty przewozu [zł]	Wolumen ładunku przypadający na 1 dostawę [t]	Stawka za przewiezienie 1 tony [zł/t]	Czas	Wolumen przewożonego ładunku/miesiąc [t]
Warszawa	289	3,50	1 011,50	17,5	57,80	4 h 50'	70
Częstochowa	73,8	3,50	258,30	17,5	14,76	1 h 14'	70
Szczecin	577	3,50	2 019,50	7,5	269,27	9 h 37'	30
		Suma	3 289,30				170

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 8

Zestawienie danych dla dostawcy 3 z Zielonej Góry

	Odległość [km]	Stawka przewozowa [zł/km]	Koszty przewozu [zł]	Wolumen ładunku przypadający na 1 dostawę [t]	Stawka za przewiezienie 1 tony [zł/t]	Czas	Wolumen przewożonego ładunku/miesiąc [t]
Warszawa	457	3,50	1 599,50	7,5	213,27	7 h 37'	30
Częstochowa	352	3,50	1 232,00	2,5	492,80	5 h 52'	10
Szczecin	224	3,50	784,00	7,5	104,53	3 h 44'	30
		Suma	3 615,50				70

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 9

Zestawienie danych dla dostawcy 4 z Białej Podlaskiej

	Odległość [km]	Stawka przewozowa [zł/km]	Koszty przewozu [zł]	Wolumen ładunku przypadający na 1 dostawę [t]	Stawka za przewiezienie 1 tony [zł/t]	Czas	Wolumen przewożonego ładunku/miesiąc [t]
Warszawa	163	3,50	570,50	5,0	114,10	2 h 43'	20
Częstochowa	388	3,50	1 358,00	5,0	271,60	6 h 28'	20
Szczecin	734	3,50	2 569,00	17,5	146,80	12 h 14'	70
		Suma	4 497,50				110

Źródło: opracowanie własne.

Dostawca z Zielonej Góry pokonuje w ciągu jednej dostawy 1033 km. Aby przewieźć ładunek do swoich dostawców (niezależnie od wolumenu ładunku), wykorzystuje 3 pojazdy, co znacznie podwyższa koszty transportu — za przewiezienie 1 tony ładunku. Pomimo iż koszt 1 dostawy towaru do kontrahentów wynosi 3615,50 zł pojazdy w pełni nie są wykorzystywane. Średni czas dostawy wynosi 5 h 44' (tab. 8).

Dostawca z Białej Podlaskiej pokonuje podczas jednej dostawy 1285 km, wykorzystując 3 pojazdy. Łączne koszty transportu do trzech odbiorców kształtują się na poziomie 4497,50 zł. Natomiast średni czas dostawy wynosi 7 h 8' (tab. 9).

Łączne koszty transportu obecnego systemu transportowego, wykorzystującego 12 pojazdów ciężarowych w tygodniu wynoszą 15 710,80 zł, co daje miesięcznie 62 843,20 zł.

Ten rodzaj dostarczania towarów jest dość kosztowny i wymaga od dostawcy utrzymania pełnego taboru pojazdów ciężarowych będących w gotowości.

Firmy transportowe w Polsce posiadają najnowocześniejszy tabor w Europie. Niestety, tak eksploatowany tabor w pewnym momencie przestanie być konkurencyjny na rynku europejskim i krajowym. Wprowadzenie nowego spojrzenia na usługę

Tabela 10

Łączne koszty transportu dla obecnego systemu transportowego

Miasto	Koszty transportu [zł]
Gdańsk	4 308,50
Katowice	3 289,30
Zielona Góra	3 615,50
Biała Podlaska	4 497,50
Łączne koszty transportu	15 710,80

Źródło: opracowanie własne.

transportową pod kątem dostaw towarów umożliwiłoby bycie konkurencyjnym i lepsze wykorzystanie posiadanego taboru.

Metoda przeładunku kompletacyjnego pozwoli na zweryfikowanie dotychczasowego podejścia do przewozu towarów, pełne wykorzystanie taboru i wyeliminowanie nadmiarowych przewozów, które podnoszą koszt towaru przy niezauważalnym wydłużeniu czasu dostaw.

Wyznaczenie punktu przeładunku kompletacyjnego z wykorzystaniem metody euklidesowej

Do wyznaczenia punktu przeładunku kompletacyjnego zostanie wykorzystana metoda euklidesowa. W metodzie tej odległość pomiędzy dwoma punktami jest pierwiastkiem kwadratowym z sumy wartości kwadratu różnic współrzędnych. Aby dokonać obliczeń tą metodą, niezbędne jest wyznaczenie stawki za przewiezienie 1 tony ładunku. Stawkę tę określono wykorzystując wzór na średnią ważoną:

$$c_{\text{śr}} = \frac{\sum w \cdot c}{\sum w} \quad (3)$$

gdzie:

- $c_{\text{śr}}$ — średnia ważona stawki przewozowej za 1 tonę,
- w — wolumen przewożonego ładunku dla poszczególnych kontrahentów,
- c — stawka przewozowa za przewiezienie 1 tony.

Korzystając z powyższego wzoru, otrzymujemy:

- dostawca 1 — Gdańsk:

$$c_{\text{śr}_1} = \frac{80 \cdot 73,15 + 80 \cdot 78,75 + 30 \cdot 169,40}{80 + 80 + 30} = 90,71 \text{ [zł]}$$

- dostawca 2 — Katowice:

$$c_{\text{śr}_2} = \frac{70 \cdot 57,80 + 70 \cdot 14,76 + 30 \cdot 269,27}{70 + 70 + 30} = 77,40 \text{ [zł]}$$

- dostawca 3 — Zielona Góra:

$$c_{\text{śr}_3} = \frac{30 \cdot 213,27 + 10 \cdot 492,80 + 30 \cdot 104,53}{30 + 10 + 30} = 206,60 \text{ [zł]}$$

- dostawca 4 — Biała Podlaska:

$$c_{\text{śr}_4} = \frac{20 \cdot 114,10 + 20 \cdot 271,60 + 70 \cdot 146,80}{20 + 20 + 70} = 163,55 \text{ [zł]}$$

- odbiorca 1 — Szczecin:

$$c_{\text{śr}_5} = \frac{30 \cdot 169,40 + 30 \cdot 269,27 + 30 \cdot 104,53 + 70 \cdot 146,80}{30 + 30 + 30 + 70} = 166,08 \text{ [zł]}$$

- odbiorca 2 — Warszawa:

$$c_{\text{śr}_6} = \frac{80 \cdot 73,15 + 70 \cdot 57,80 + 30 \cdot 213,27 + 20 \cdot 114,10}{80 + 70 + 30 + 20} = 92,89 \text{ [zł]}$$

- odbiorca 4 — Częstochowa:

$$c_{\text{śr}_7} = \frac{80 \cdot 78,75 + 70 \cdot 14,76 + 10 \cdot 492,80 + 20 \cdot 271,60}{80 + 70 + 10 + 20} = 98,30 \text{ [zł]}$$

Zestawienie danych potrzebne do wyznaczenia lokalizacji punktu przedstawia tabela 11.

Znając średnią stawkę, jaką kontrahenci ponoszą za przewiezienie 1 tony ładunku, możemy przejść do dalszych obliczeń. A mianowicie wylicze-

nia miesięcznych kosztów przewozu ładunku, a następnie kolejno pomnożenie ich przez współrzędne kontrahentów (tab. 12).

Tabela 11

Dane dla wyznaczenia środka ciężkości

	x_E	y_N	Wolumen przewożonego ładunku/miesiąc [t/miesiąc]	Stawka za przewiezienie 1 tony — średnia ważona [zł]
Gdańsk	18,648828	54,352084	190	90,71
Katowice	19,018866	50,264396	110	77,40
Zielona Góra	15,507313	51,935940	170	206,60
Biała Podlaska	23,144632	52,038492	70	163,55
Szczecin	14,549779	53,431537	200	166,08
Warszawa	21,008322	52,231887	180	92,89
Częstochowa	19,129638	50,811273	160	98,30

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 12

Wstępne obliczenia niezbędne do wyznaczenia środka ciężkości

	Koszty przewozu ładunku K_p	Koszty przewozu * współrzędna E $K_p \cdot x_E$	Koszty przewozu * współrzędna N $K_p \cdot y_N$
Gdańsk	17 234,00	321 393,90	936 703,82
Katowice	13 157,20	250 235,02	661 338,71
Zielona Góra	14 462,00	224 266,76	751 097,56
Biała Podlaska	17 990,00	416 371,93	936 172,47
Szczecin	26 572,00	386 616,73	1 419 782,80
Warszawa	18 578,00	390 292,61	970 364,00
Częstochowa	17 693,20	338 464,51	899 014,02
Suma	125 686,40	2 327 641,46	6 574 473,38

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie pierwotnie wyliczonych danych wyznaczamy tzw. punkt ciężkości (współrzędne) za pomocą następujących wzorów (Krawczyk, 2001):

$$x_1 = \frac{\sum K_p \cdot x_E}{\sum K_p} = \frac{2\,327\,641,46}{125\,686,40} = 18,5194377 \quad (4)$$

$$y_1 = \frac{\sum K_p \cdot y_N}{\sum K_p} = \frac{6\,574\,473,38}{125\,686,40} = 52,3085503 \quad (5)$$

Tabela 13

Odległości euklidesowe dla punktu ciężkości $x_1 = 18,5194377$ i $y_1 = 52,3085503$

	x_E	y_N	$(x_E - x_1)^2$	$(y_N - y_1)^2$	Odległość euklidesowa d_{j1}
Gdańsk	18,648828	54,352084	0,01674	4,17603	2,04763
Katowice	19,018866	50,264396	0,24943	4,17857	2,10428
Zielona Góra	15,507313	51,935940	9,07290	0,13884	3,03508
Biała Podlaska	23,144632	52,038492	21,39242	0,07293	4,63307
Szczecin	14,549779	53,431537	15,75819	1,26110	4,12544
Warszawa	21,008322	52,231887	6,19454	0,00588	2,49006
Częstochowa	19,129638	50,811273	0,37234	2,24184	1,61684

Źródło: opracowanie własne.

Znając współrzędne punktu ciężkości, obliczamy odległość euklidesową z następującego wzoru (Krawczyk, 2001):

$$d_{ji} = \sqrt{(x_E - x_j)^2 + (y_N - y_j)^2} \quad (6)$$

gdzie:

d_{ji} — odległość euklidesowa pomiędzy współrzędnymi kontrahentów a wyznaczonym punktem ciężkości,

x_E, y_N — współrzędne dostawcy/odbiorcy,

x_j, y_j — współrzędne punktu ciężkości.

W tabeli 13 przedstawiono obliczone odległości euklidesowe od kontrahentów do wyznaczonego punktu ciężkości.

Znając odległości euklidesowe od planowanego punktu przeładunku kompletacyjnego (wyznaczonego na podstawie punktu ciężkości) niezbędne jest przedstawienie ich w postaci kilometrowej, wykorzystując zależność:

$$1 = 111196,672 \text{ m} = 111,196672 \text{ km}$$

Odległość pomiędzy Gdańskiem a punktem (x_1, y_1) jest zatem równa:

$$2,20698 \cdot 111,196672 = 227,69 \text{ km}$$

W tabeli 14 przedstawiono zestawienie wyliczonych kilometrów na podstawie wyżej wymienionej zależności. Do wyznaczenia kosztów transportu, wykorzystując punkt przeładunku kompletacyjnego, zastosowano zależność na podstawie przewożonego ładunku z tabeli 1. Łączne koszty transportu jednej dostawy wynoszą 7804,17 zł.

Tabela 14

Zestawienie odległości euklidesowych w km oraz kosztów transportu 1 dostawy wg punktu x_1, y_1

	Odległość euklidesowa [km]	Stawka przewozowa [zł/km]	Koszty transportu 1 dostawy [zł]
Gdańsk	227,69	3,50	796,91
Katowice	233,99	3,50	818,96
Zielona Góra	337,49	3,50	1 181,22
Biała Podlaska	515,18	3,50	1 803,14
Szczecin	458,74	3,50	1 605,57
Warszawa	276,89	3,50	969,10
Częstochowa	179,79	3,50	629,26
Suma			7 804,17

Źródło: opracowanie własne.

Optimalizacja punktu przeładunku kompletacyjnego

Aby przeprowadzić optymalizację wyznaczonego punktu należy dokonać skorygowania wyników. Polega to na podzieleniu wartości z tabeli 13 przez odległości euklidesowe d_{j1} poszczególnych miast. Zestawienie skorygowanych wartości przedstawia tabela 15.

Następnie, wykorzystując następujące wzory, wyznaczamy skorygowane współrzędne punktu kompletacyjnego (Krawczyk 2001):

$$x_2 = \frac{\sum \frac{K_p \cdot x_E}{d_{j1}}}{\sum \frac{K_p}{d_{j1}}} = \frac{899\,429,11}{48\,161,96} = 18,67509196 \quad (7)$$

$$y_2 = \frac{\sum \frac{K_p \cdot y_N}{d_{j1}}}{\sum \frac{K_p}{d_{j1}}} = \frac{2\,511\,153,13}{48\,161,96} = 52,13975775 \quad (8)$$

Znając skorygowane współrzędne nowego punktu kompletacyjnego, wyznaczamy odległości euklidesowe (tab. 16).

Tabela 15

Obliczenia wyników potrzebnych do korekty współrzędnych — punkt (x_2, y_2)

	$\frac{K_p}{d_{j1}}$	$\frac{K_p \cdot x_E}{d_{j1}}$	$\frac{K_p \cdot y_N}{d_{j1}}$
Gdańsk	8 416,58	156 959,29	457 458,47
Katowice	6 252,59	118 917,16	314 282,62
Zielona Góra	4 764,94	73 891,45	247 471,77
Biała Podlaska	3 882,95	89 869,52	202 063,02
Szczecin	6 441,00	93 715,18	344 152,71
Warszawa	7 460,85	156 739,95	389 694,29
Częstochowa	10 943,05	209 336,56	556 030,25
Suma	48 161,96	899 429,11	2 511 153,13

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie wyliczonych odległości euklidesowych dokonano obliczeń. Możemy zaobserwować, iż łączny koszt dostawy (przejechania od dostawcy do wyznaczonego punktu oraz od punktu do odbiorcy) po optymalizacji zmniejszył się o 88,09 (1,13%) w stosunku do wyznaczonego wcześniej punktu ciężkości (x_1, y_1) — tabela 17.

Tabela 16

Odległości euklidesowe dla skorygowanego punktu kompletacyjnego x_2, y_2

	x_E	y_N	$(x_E - x_2)^2$	$(y_N - y_2)^2$	Odległość euklidesowa d_{j2}
Gdańsk	18,648828	54,352084	0,00068980	4,894387	2,212482
Katowice	19,018866	50,264396	0,11818059	3,516982	1,906610
Zielona Góra	15,507313	51,935940	10,03482353	0,041542	3,174329
Biała Podlaska	23,144632	52,038492	19,97678819	0,010255	4,470687
Szczecin	14,549779	53,431537	17,01820700	1,668694	4,322835
Warszawa	21,008322	52,231887	5,44396243	0,008488	2,335048
Częstochowa	19,129638	50,811273	0,20661210	1,764872	1,404095

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 17

Koszty transportu dla skorygowanego punktu kompletacyjnego x_2, y_2

	Odległość euklidesowa [km]	Stawka przewozowa [zł/km]	Koszty transportu i dostawy [zł]
Gdańsk	246,02	3,50	861,07
Katowice	212,01	3,50	742,03
Zielona Góra	352,97	3,50	1 235,41
Biała Podlaska	497,13	3,50	1 739,94
Szczecin	480,68	3,50	1 682,40
Warszawa	259,65	3,50	908,77
Częstochowa	156,13	3,50	546,46
Suma			7 716,08

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 18

Obliczenia wyników potrzebnych do korekty współrzędnych — punkt (x_3, y_3)

	$\frac{K_p}{d_{j2}}$	$\frac{K_p \cdot x_E}{d_{j2}}$	$\frac{K_p \cdot y_N}{d_{j2}}$
Gdańsk	7 789,44	145 263,95	423 372,37
Katowice	6 900,83	131 246,04	346 866,25
Zielona Góra	4 555,92	70 650,13	236 616,16
Biała Podlaska	4 023,99	93 133,77	209 402,37
Szczecin	6 146,89	89 435,92	328 437,90
Warszawa	7 956,15	167 145,42	415 564,86
Częstochowa	12 601,14	241 055,21	640 279,88
Suma	49 974,37	937 930,44	2 600 539,80

Źródło: opracowanie własne.

Optymalizacji punktu przeładunku kompletacyjnego możemy dokonywać aż do uzyskania pożądanego efektu. W tym celu zaprezentowano, iż kolejne skorygowanie współrzędnych obniży łączne koszty transportu.

Po drugim skorygowaniu wielkości przedstawionych w tabeli 18 (uwzględniające odległości euklidesowe d_j), możemy wyznaczyć nowe współrzędne punktu. Można zaobserwować, iż o ile współrzędna x rośnie o 0,09313673, to w przypadku współrzędnej y po skorygowaniu maleje ona o 0,10228928.

$$x_3 = \frac{\sum \frac{K_p \cdot x_E}{d_j^2}}{\sum \frac{K_p}{d_j^2}} = \frac{937\,930,44}{49\,974,37} = 18,76822869 \quad (9)$$

$$y_3 = \frac{\sum \frac{K_p \cdot y_N}{d_j^2}}{\sum \frac{K_p}{d_j^2}} = \frac{2\,600\,539,89}{49\,974,37} = 52,03746847 \quad (10)$$

W tabeli 19 wyliczono nowe odległości euklidesowe dla punktu (x_3, y_3) , gdzie średnia odległość pomiędzy punktem przeładunku kompletacyjnego wynosi $2,81^\circ$ (313 km).

Tabela 19

Odległości euklidesowe dla skorygowanego punktu kompletacyjnego x_3, y_3

	x_E	y_N	$(x_E - x_3)^2$	$(y_N - y_3)^2$	Odległość euklidesowa d_j^3
Gdańsk	118,648828	54,352084	0,01425652	5,357445	2,317693
Katowice	19,018866	50,264396	0,06281906	3,143786	1,790700
Zielona Góra	15,507313	51,935940	10,63357111	0,010308	3,262496
Biała Podlaska	23,144632	52,038492	19,15290597	1,05E-06	4,376403
Szczecin	14,549779	53,431537	17,79531776	1,943427	4,442831
Warszawa	21,008322	52,231887	5,01801805	0,037799	2,248514
Częstochowa	19,129638	50,811273	0,13061669	1,503555	1,278347

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 20

Koszty transportu dla skorygowanego punktu kompletacyjnego x_2, y_2

	Odległość euklidesowa [km]	Stawka przewozowa [zł/km]	Koszty transportu 1 dostawy [zł]
Gdańsk	257,72	3,50	902,02
Katowice	199,12	3,50	696,92
Zielona Góra	362,78	3,50	1 269,73
Biała Podlaska	486,64	3,50	1 703,25
Szczecin	494,03	3,50	1 729,10
Warszawa	250,03	3,50	875,10
Częstochowa	142,15	3,50	497,52
Suma			7 673,62

Źródło: opracowanie własne.

Optymalizacja współrzędnych, aż do uzyskania pożądanego efektu, pozwoli na takie wyznaczenie trasy, aby uwzględniając wolumen przewożonego ładunku, minimalizować odległość, jaką muszą pokonać kontrahenci, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów (pomiędzy punktem x_1, y_1 , punktem x_2, y_2 różnica ta wynosi ok. 131 zł — 1,67%) — tabela 20.

Wnioski

W dobie zastosowania rozbudowanej sieci transportowej, która jest oparta na przewozach samochodowych, nie jest brana pod uwagę kosztowność tych przedsięwzięć. Transport drogowy wielokrotnie przewozi minimalną ilość towarów na duże odległości co podwyższa koszty usług transportowych. Wprowadzenie punktu kompletacyjnego nie tylko wpłynie na aspekty ekonomiczne przedsiębiorstwa, ale także pozwoli na optymalizację tras dostaw i wykorzystanie środków transportu w prawie 100%. Obniży także natężenie ruchu przez samochody ciężarowe, co ma istotny wpływ na zanie-

czyszczenie środowiska oraz na zużycie infrastruktury drogowej.

W tabeli 21 przedstawiono zestawienie kosztów dla wyznaczonych punktów. Obecny system transportowy wykorzystuje 12 pojazdów przy łącznym koszcie transportu równym 15 710,80 zł. W proponowanym systemie do przewozu 135 t ładunku potrzebnych będzie jedynie 7 pojazdów. Po kilkakrotnym skorygowaniu wyników zaobserwowano, iż koszt dostawy zmalał o 758,19 (w stosunku do obecnego systemu transportowego).

Rysunek 2 przedstawia potencjalną lokalizację punktu kompletacyjnego wyznaczonego metodą euklidesową. Możemy zaobserwować, iż o ile przyrost zmian pomiędzy punktem 1 i 2 jest stosunkowo duży, to w procesie dalszej optymalizacji dane te będą nieznacznie się różniły. Wykorzystując znane metody oceny, można zbudować taką bazę punktów, która pozwoli na wybór optymalnego punktu, gdzie oprócz aspektów ekonomicznych będziemy mogli uwzględnić: dostępność do infrastruktury, czas dojazdu itp.

Tabela 21

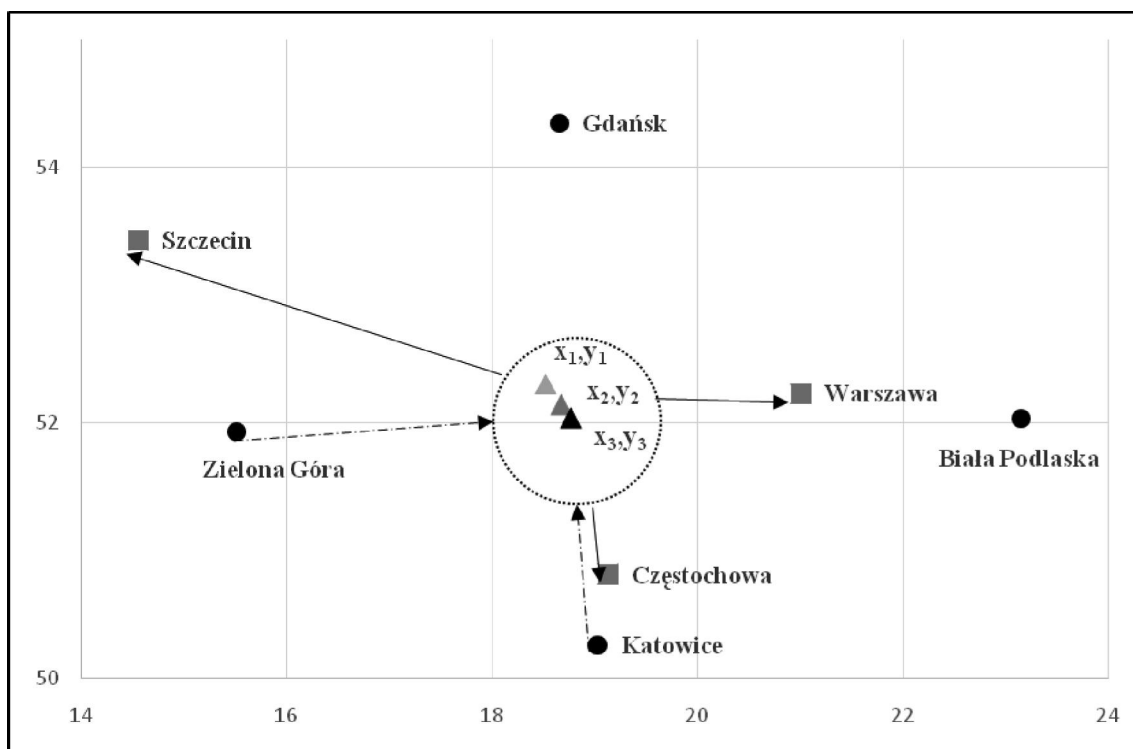
Łączne koszty transportu dla wyznaczonych punktów kompletacyjnych

		Wolumen ładunku przypadający na 1 dostawę	Ilość pojazdów potrzebnych do przewiezienia ładunków	Koszty transportu uwzględniające ilość potrzebnych pojazdów — pkt x_1, y_1	Koszty transportu uwzględniające ilość potrzebnych pojazdów — pkt x_2, y_2	Koszty transportu uwzględniające ilość potrzebnych pojazdów — pkt x_3, y_3
Dostawcy	Gdańsk	47,5	2	1 593,82	1 722,14	1 804,04
	Katowice	42,5	2	1 637,92	1 484,06	1 393,84
	Zielona Góra	17,5	1	1 181,22	1 235,41	1 269,73
	Biała Podlaska	27,5	2	3 606,28	3 479,88	3 406,49
	Razem	135	7	8 019,24	7 921,50	7 874,09
Odbiorcy	Szczecin	40	2	3 211,15	3 364,79	3 458,20
	Warszawa	50	3	2 907,31	2 726,32	2 625,29
	Częstochowa	45	2	1 258,51	1 092,92	995,04
	Razem	135	7	7 376,98	7 184,03	7 078,52
Łączne koszty				15 396,22	15 105,53	14 952,61

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 2

Model systemu opartego na przeładunku kompletacyjnym



Źródło: opracowanie własne.

Literatura

Bendkowski, J., Kramarz, M., Kramarz, W. (2010). *Metody i techniki ilościowe w logistyce stosowanej — wybrane zagadnienia*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.

Krawczyk, S. (2001). *Metody ilościowe w logistyce (przedsiębiorstwa)*. Warszawa: Wydawnictwo C. H. Beck.

Krawczyk, S., *Logistyka — Teoria i praktyka*. Warszawa: Difin.