

**Waldemar Woźniak , Roman Stryjski**

Wydział Mechaniczny Uniwersytetu Zielonogórskiego

**Janusz Mielniczuk**

Wydział Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej

**Tomasz Wojnarowski**

Converse Sp. z o.o. Zielona Góra

## **ANALIZA WYBRANYCH METOD OPTYMALIZACYJNYCH W TRANSPORCIE DROGOWYM**

Rękopis dostarczono: kwiecień 2018

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono praktyczne rozwiązania problemu przydziału zleceń transportowych do dostępnych środków transportowych w transporcie drogowym. W tym celu dokonano analizy porównawczej wybranej metody optymalizacyjnej stosowanej w branży TSL z rozwiązaniem własnym. Zaproponowany algorytm do efektywnego przydziału wybranych zleceń transportowych opracowano na podstawie metod heurystycznych. Zaproponowano wykorzystanie algorytmu jako narzędzia wspomagającego pracę spedytorów do pozyskiwania opłacalnych zleceń transportowych z elektronicznych giełd transportowych.

**Słowa kluczowe:** zagadnienie przydziału, metoda heurystyczna, algorytm, złożoność czasowa

### **1. WSTĘP**

Współczesne potrzeby przedsiębiorstw z branży TSL (Transport, Spedycja, Logistyka) skoncentrowane są na możliwie najszybszym (czyli punktualnym i bezkolizyjnym) przewozie towarów, a także doborze najbardziej korzystnych ofert transportowych. Spedytorzy i specjaliści ds. logistyki (w szczególności pełniący funkcję planistów) wykorzystują różne dostępne narzędzia i metody wspomagające optymalizację pracy posiadanej floty (zasobów). W efekcie wykonywanych obliczeń matematycznych na podstawie danych rzeczywistych, które określają odległości konkretnego środka transportu od miejsca załadunku, możliwe jest wyznaczanie akceptowalnego, a nawet

optymalnego rozwiązania i podejmowanie decyzji w zakresie przydziału zleceń transportowych,

Obecnie najbardziej powszechnymi narzędziami używanymi do pracy nad przydzielaniem zlecenia transportowego do pojazdu są elektroniczne giełdy transportowe, a także oprogramowanie klasy ERP i systemy zarządzania transportem TMS (z ang. Transportation Management System). Kompleksowe podejście, jakim charakteryzują się systemy TMS, pozwala przetwarzać w formie elektronicznej wszystkie dane związane z całym łańcuchem dostaw oraz zwiększyć efektywność organizacji i planowania pracy w przedsiębiorstwie. Głównymi funkcjami systemów klasy TMS jest monitorowanie zarządzanej floty pojazdów, a także informowanie kierowców o punktach załadunku czy rozładunku, korzystnych miejscach postoju oraz o pozostałym czasie jazdy czy odpoczynku itp. Zastosowanie takiej technologii do potrzeb pracy spedytorów umożliwia sprawne zarządzanie, wraz z możliwością organizacji pracy kierowców, przy dokonywaniu kalkulacji kosztów przed realizacją operacji transportowych. Systemy TMS usprawniają także zarządzanie procesami wewnętrznymi przedsiębiorstw takimi, jak księgowość, gospodarka magazynowa, finanse, czy serwisowanie środków transportowych.

Zintegrowanie informacji dostępnych na giełdach transportowych z systemami klasy TMS może mieć duży wpływ na poprawę poziomu konkurencyjności firmy na rynku transportowym oraz usprawnienie procesów zarządzania przedsiębiorstwem. Giełdy transportowe jako narzędzia informatyczne otwierają możliwość dostępu do dużych baz danych, złożonych z ofert biznesowych z zakresu transportu-spedycji-logistyki. Celem szybszego przeszukiwania listy ofert na giełdach transportowych, stworzono różnorodne filtry wyszukiwania. Możliwość przeszukania bazy ofert na transportowej giełdzie elektronicznej opiera się na takich parametrach, jak: region załadunku, długość trasy, termin realizacji, cena za wykonanie zlecenia i inne [1]. Oferty zleceń transportowych znajdujących się na giełdach internetowych odznaczają się stosunkowo krótkim czasem dostępności z uwagi na poziom zainteresowania rynku i zawierają się w przedziale 2 – 5 minut. Krótki czas na podjęcie właściwej decyzji, bez wspomaganie narzędzi informatycznych, determinuje spedytorów do podejmowania intuicyjnych decyzji bez kalkulacji rentowności planowanego przedsięwzięcia. Nowoczesne systemy TMS implementują matematyczne algorytmy stosowane do optymalizacji zleceń transportowych w aspekcie przydziału pojazdów rozmieszczonych w analizowanym obszarze do przyjętych zleceń transportowych w wyznaczonym terminie [2]. Skuteczność takich rozwiązań uzależniona jest w dużej mierze od takich kryteriów, jak liczba ładunków, czy liczba pojazdów [3]. Zwiększenie liczby żądanych do spełnienia parametrów w trakcie obliczeń powoduje wzrost złożoności czasowej i wydłuża okres oczekiwania na odpowiedź zastosowanego algorytmu. Długi czas podejmowania decyzji może mieć wpływ na dostępność konkretnego zlecenia transportowego, a po dokonaniu optymalizacji oferta kontrahenta może być już nieosiągalna.

## 2. ZŁOŻONOŚĆ PROCESU POZYSKIWANIA ZLECEŃ TRANSPORTOWYCH

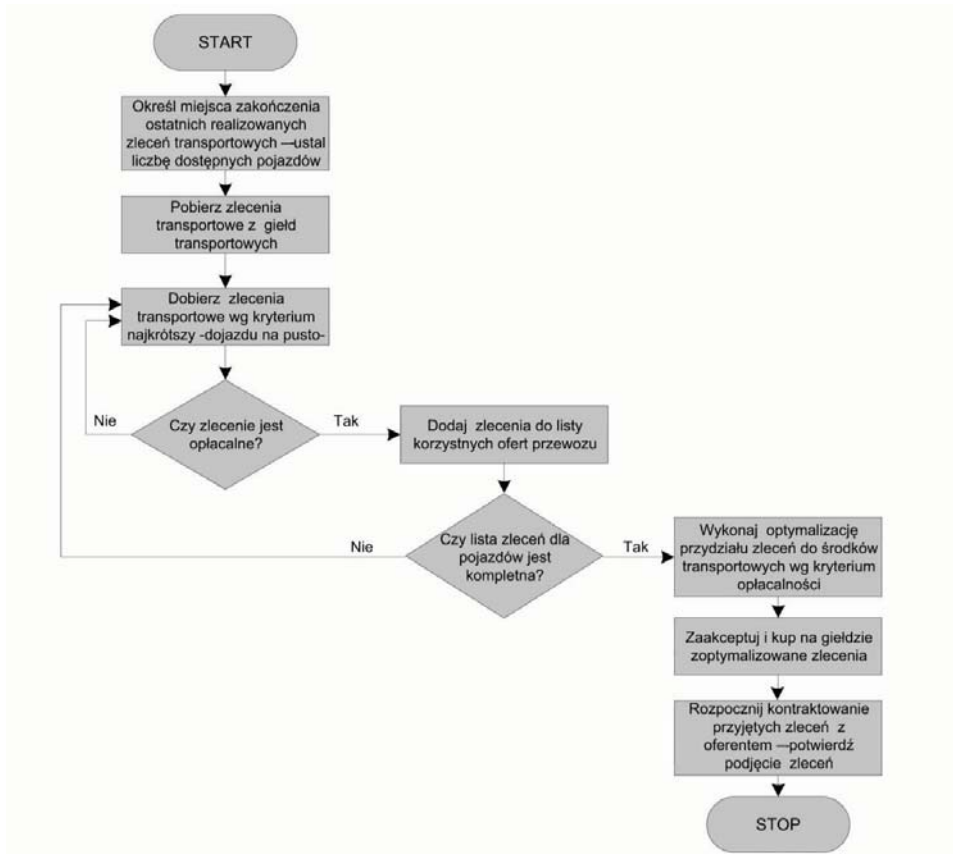
Problematyka pozyskiwania zleceń przewozowych z giełd transportowych wymaga bliższego poznania złożoności tego procesu i jego wpływu na czas tworzenia listy ofert przewozowych przygotowywanych do optymalizacji w celu podjęcia najbardziej rentownych (lukratywnych) zadań dla przedsiębiorstwa transportowego [4], [5]. Kompleksowe ujęcie całej floty z dostępnymi zleceniami transportowymi oraz opracowanie kombinacji polegającej na przypisaniu najkorzystniejszego zlecenia transportowego dla konkretnego pojazdu było podstawą prowadzonych badań przez autorów niniejszego artykułu. Analizę prowadzono we współpracy z kilkunastoma przedsiębiorstwami transportowymi działającymi na rynku TSL, dla których na co dzień świadczone są usługi konsultacyjne. Obiektem obserwacji był system pracy spedytorów, którzy realizują proces planowania floty i przydzielania im zleceń transportowych, w przedziale od 20 do 50 pojazdów rozmieszczonych na terenie Europy. Bazą do ww. planowania były wybrane giełdy transportowe oraz dostępne zasoby i ich możliwości (w rozumieniu zasad i przepisów dotyczących czasu pracy kierowcy).

W analizowanych przypadkach, podstawowym kryterium pozyskiwania zleceń transportowych (mającym odzwierciedlenie w ocenie ekonomicznej) był przejazd dostępnego (bez ładunku) środka transportowego do miejsca załadunku i wynosił maksymalnie 200 km. Odległość przejazdu była uzależniona od atrakcyjności cenowej oferty, obserwowanej na wybranej elektronicznej giełdzie transportowej. Dodatkowym kryterium (w ujęciu praktycznym) w wyszukiwaniu wolnych ładunków był m.in. brak możliwości załadunku towaru na pojazd za pomocą wózka widłowego, co stanowiło istotną informację niezbędną do realizacji zlecenia transportowego. Już na podstawie tych kilku kryteriów, a także innych, jednoznacznie niezdefiniowanych, można zaobserwować, że praca spedytora, wykorzystującego elektroniczną giełdę transportową jako źródło zleceń transportowych, wymaga ciągłego doprecyzowywania warunków z kontrahentem, a w szczególności pełnego dostępu oraz sprawnego przepływu informacji za pośrednictwem dostępnych narzędzi informatycznych.

Stąd zaproponowano uproszczony schemat procesu pozyskiwania zleceń transportowych, który przedstawiono na rysunku 1.

Proces pozyskiwania zleceń transportowych z giełd elektronicznych jest uzależniony od kilku czynników. Można do nich zaliczyć m.in. znajomość pracy giełd transportowych, rozeznanie rynkowe wśród potencjalnych zleceniodawców i konkurentów, umiejętność szybkiej analizy opłacalności zlecenia oraz odległości pojazdu od miejsca załadunku, czy sprawnego podejmowania decyzji. Selekcja ofert transportowych z elektronicznej giełdy transportowej w trakcie jej obserwacji zależy w dużej mierze od doświadczenia spedytora. To nie zaawansowane algorytmy optymalizacyjne, a analiza zleceniodawców jest pierwszym krokiem w wyborze zleceń transportowych. Posiadanie stworzonej listy przedsiębiorstw o obniżonym poziomie zaufania z powodu niezgodności w terminie lub sposobie rozliczenia finansowego za usługę oraz listy zaufanych kontrahentów dostarcza informację pozwalającą odrzucić ofertę lub podjąć decyzję o jej dalszej analizie. W praktyce, czas na zastosowanie matematycznych algorytmów zaszytych w narzędziach

informatycznych do optymalizacji analizowanych zleceń transportowych jest bardzo krótki. W większości przypadków spedytor nie korzysta z tych narzędzi, obawiając się, że po dokładnej/optimalnej analizie, zleceń na giełdzie już nie będzie. Z kolei należy pamiętać, że pobranie zlecenia z giełdy wymaga jeszcze szeregu dodatkowych czynności-uzgodnień, wykonywanych w celu weryfikacji zgodności oferty-zlecenia transportowego.



Rysunek 1. Uproszczony schemat procesu pozyskiwania zleceń transportowych.  
Opracowanie własne

Dokonane pomiary przez autorów niniejszej publikacji wskazują, że całkowity czas tworzenia listy rentownych (w rozumieniu optymalnych wg wybranego kryterium ekonomicznego) ofert zleceń transportowych gotowych do przypisania środkom transportowym nie może być dłuższy niż 10 min. Po tym okresie obraz zleceń na elektronicznej giełdzie transportowej całkowicie się zmienia. Z kolei sekwencyjne zbieranie zleceń transportowych i przydzielanie ich do wolnych środków transportowych oraz iteracja tego procesu, wydłuża się w czasie i zakłóca dalsze czynności związane z jego realizacją. Autorzy, w trakcie swoich badań, zmierzili również czas potrzebny

na wykonanie analizy i ustalenie szczegółów technicznych (w tym organizacyjnych) z oferentem. Pomiar dla jednego zlecenia transportowego wynosił średnio 3-5 min. W ramach tego procesu następuje bezpośredni kontakt interesanta (w tym przypadku spedytora) z oferentem. Najczęściej kontaktu dokonuje się poprzez rozmowę telefoniczną lub przez wiadomość SMS, e-mail oraz komunikatory dostępne na giełdach transportowych. Jest to decydująca faza negocjacji, podczas której ustala się zgodność oferty, konkretny termin dostawy, stawkę za przewóz, termin rozliczenia należności, czy maksymalną ładowność dysponowanego pojazdu wraz z ograniczeniami technicznymi, co do sposobu załadunku. Potwierdzenie zgodności wymienionych informacji pozwala ująć daną ofertę w grupie zleceń opłacalnych. Kolejnym krokiem przyjmowania zleceń transportowych jest ich ostateczna akceptacja oraz wymiana dokumentów transportowych, która zgodnie z przyjętą normą jest realizowana w ciągu „przysłowiowej godziny” (pojęcie umowne stosowane w organizacji pracy spedytorów w Europie) od momentu potwierdzenia podjęcia zlecenia przewozu.

Jak widać z powyższego, optymalizacja jedno- lub wielo- kryterialna pozyskiwania zleceń transportowych pozyskiwanych z elektronicznych giełd transportowych do wolnych środków transportowych jest w ujęciu czasowym (w ujęciu pracochłonności dla spedytora) mocno złożona. Dlatego jest ona często odrzucana i jako narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji trudna do wdrożenia w firmach, bazujących na zmieniającym się zbiorze zleceń transportowych (w szczególności - kupowanych na giełdach). Stąd zastosowanie algorytmów optymalizacyjnych w praktyce, w małych przedsiębiorstwach transportowych, powinno bazować na dużej sprawności wyznaczania rozwiązań dopuszczalnych, dla których akceptuje się rozwiązania tworzone na podstawie ekstremum lokalnego (dla jednego, kilku lub kilkunastu zleceń transportowych), mimo, że w ujęciu globalnym nie będzie ono występować.

### **3. ZASTOSOWANIE ALGORYTMÓW OPTYMALIZACYJNYCH DO POZYSKIWANIA ZLECEŃ TRANSPORTOWYCH Z ELEKTRONICZNYCH GIEŁD TRANSPORTOWYCH**

W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki badań oraz analizę obliczeń wykonanych przy użyciu algorytmu “węgierskiego” oraz autorskiego algorytmu “poprawy”. Szczegółowy opis działania ww. algorytmów opisano w publikacjach [6,7,8]. Analizę prowadzono pod kątem pomiaru złożoności czasowej wykorzystywanych algorytmów, t.j. czasu niezbędnego do rozwiązania zadania w zależności od liczby danych wejściowych. Przedmiotem badań było przydzielanie zleceń transportowych z elektronicznych giełd transportowych do określonej liczby środków transportowych. Przyjęto zasadę o rozdysponowaniu posiadanych środków transportowych w jak najkrótszym czasie na podstawie analizy dojazdów do miejsca załadunku i jej ujęcia ekonomicznego z wykorzystaniem badanego algorytmu oraz uzyskania informacji zwrotnej o rentowności danego zlecenia.

Przedstawiona analiza danych, wygenerowanych przez analizowane systemy TMS wykorzystywane do pracy w przedsiębiorstwach, odnosiła się do typowej dla spedytora sytuacji decyzyjnej, w której to do pozyskanych, najkorzystniejszych ofert z elektronicznej giełdy transportowej, przypisywano dostępne (wolne) środki transportowe. Charakterystyczne dla pracy spedytora było to, że dysponuje on ograniczonymi środkami transportowymi, a zlecenia zamieszczane na giełdzie elektronicznej pojawiają się nieustannie oraz charakteryzują się krótkim okresem dostępności. Z kolei oferty przewozowe posiadały różne punkty załadunku, a wzrost kosztów realizowanego zlecenia transportowego był uzależniony wprost proporcjonalnie do wzrostu liczby kilometrów dojazdowych.

W oparciu o opisaną sytuację przyjęto następujące założenia:

- firma transportowa dysponuje flotą z ograniczoną liczbą pojazdów i pozyskuje konkretną liczbę zleceń przewozowych dla posiadanych środków transportowych,
- oferty przewozowe odznaczają się różnymi punktami załadunku w zbliżonym interwale czasowym,
- nie ma określonej liczby użytkowników giełdy,
- oferty zleceń transportowych zamieszczone są na giełdzie transportowej, a okres ich dostępności jest zmienną losową zależną od pozostałych użytkowników giełdy.

Problem badawczy był rozważany w kontekście analizy i doboru algorytmów optymalizujących stosowanych do rozwiązania zadań przydziału pojazdów do zleceń transportowych oraz ich efektywności w zakresie złożoności czasowej, czyli czasie uzyskiwania informacji. Do analizy wykorzystano dwa zestawione i porównywane ze sobą algorytmy optymalizacyjne. Pierwszy – algorytm węgierski, będący klasycznym algorytmem transportowym wykorzystywanym w większości systemów TMS, drugi zaś, został opracowany przez autorów w publikacjach [6,7,8] i zaimplementowany w wybranych firmach transportowych pod nazwą: algorytm poprawy.

### **3.1 ANALIZA ZŁOŻONOŚCI CZASOWEJ WYBRANYCH METOD PRZYDZIAŁU ZLECEŃ TRANSPORTOWYCH DO ŚRODKÓW TRANSPORTOWYCH**

Pojęcie złożoności czasowej (inaczej obliczeniowej) wprowadzono do celów porównania wybranych algorytmów pod względem prędkości ich działania. Podczas analizy porównawczej algorytmów bierze się zwykle pod uwagę takie parametry, jak ich efektywność, czyli szybkość działania, oraz zapotrzebowanie na zasoby pamięciowe systemu. Dany problem można rozwiązać różnymi metodami, więc zadania te posiadają kilka alternatywnych algorytmów zwracających wynik. Algorytm jest dokładnie sformułowanym układem skończonej liczby elementarnych instrukcji, uporządkowanych i zinterpretowanych w logiczny sposób, poparty podstawowymi operacjami arytmetycznymi, których wykonanie jest skończone i posiada efekt końcowy. Złożoność czasowa podawana jest jako funkcja rozmiaru danych i określa ona zależność pomiędzy liczbą elementarnych operacji niezbędnych do znalezienia rozwiązania wykonywanych podczas przebiegu algorytmu, a wielkością danych wejściowych [6,7].

Na potrzebę badań nad złożonością czasową pracy algorytmów dokonano pomiarów efektywności pracy wybranych metod dla 10 niezależnych serii, tych samych danych. Każda z serii mierzyła złożoność czasową poszczególnych algorytmów dla zbioru dostępnych i możliwych do pobrania zleceń transportowych z giełdy transportowej z przedziału od 40 do 80 przyrastających w szeregu, co 5 ofert przewozowych. Do przedstawionego badania zastosowano dwa algorytmy optymalizacyjne, wspomagające przydzielanie zleceń transportowych względem kryterium bazującego na najkrótszej drodze dojazdu. W analizowanym przypadku analizowano czas, jaki był potrzebny do zaplanowania realizacji wybranych na giełdzie transportowej zleceń transportowych przez dostępne środki transportowe.

Przyjęto, że narzędziem pracy spedytora jest typowy komputer typu PC taktowany procesorem Intel i5 2,2 GHz, za pośrednictwem którego, spedytor komunikuje się z giełdą transportową i korzysta z aplikacji programistycznych (systemów TMS) wspomagających jego pracę w zakresie wyznaczania optymalnych rozwiązań.

Metodykę wykorzystania ww. algorytmów szerzej opisano w pozycji [6]. Z kolei analiza i porównanie złożoności czasowej algorytmu węgierskiego z algorytmem poprawy opierała się na odszukaniu informacji dotyczących badań nad szybkością otrzymywania wyników dla stałej, określonej liczby pojazdów i dobranej liczbie zleceń transportowych. Serie pomiarowe przedstawione w badaniach były przeprowadzone na tym samym urządzeniu elektronicznym z wykorzystaniem tych samych danych dla obu algorytmów. Zestawienie wszystkich najkrótszych i najdłuższych czasów oczekiwania na uzyskanie odpowiedzi dla algorytmu węgierskiego i algorytmu poprawy zaprezentowano w tabeli 1.

Zaobserwowano, że w przypadku podobnej liczby zleceń transportowych do liczby dysponowanych pojazdów czasy uzyskiwania odpowiedzi dla obu analizowanych algorytmów są zbiorem rozwiązań akceptowalnych dla rozpatrywanego problemu.

Tabela 1

## Zestawienie złożoności czasowej analizowanych algorytmów. Opracowanie własne.

Liczba zleceń	Złożoność czasowa w badanych algorytmach wyrażona w [min.]			
	Algorytm węgierski		Algorytm węgierski	
	Czas minimalny	Czas maksymalny	Czas minimalny	Czas maksymalny
40	0,07	1,50	0,21	0,27
45	0,10	3,44	0,26	0,29
50	0,11	5,12	0,31	0,35
55	0,12	7,54	0,35	0,42
60	0,10	12,02	0,39	0,46
65	0,13	16,67	0,45	0,58
70	0,12	25,36	0,51	0,59
75	0,14	34,43	0,56	0,63
80	0,13	48,96	0,64	0,75

Maksymalny akceptowalny czas dla użytkownika giełdy transportowej wynosi 5 minut. Wyniki powyżej pięciu minut stanowią zbyt długi okres kalkulacji potrzebnej do przypisania przyrastającej liczby zleceń do ograniczonej liczby środków transportowych. Maksymalny czas uzyskania odpowiedzi przy użyciu algorytmu węgierskiego dla 80 zleceń przypisanych do 40 pojazdów wyniósł aż 48,96 minut. Tak długi czas obliczania optymalnego rozwiązania nie pozwala na skuteczną pracę ze zmieniającymi się zleceniami

na giełdach transportowych. Wynika to z nieprzewidywalności algorytmu węgierskiego, której poziom wzrasta wraz z liczbą zleceń, gdyż minimalne wyniki nie różnią się między sobą w znaczny sposób. Rezultaty osiągnięte przez algorytm poprawy stanowią o jego skuteczności z punktu widzenia spedytora. W kontekście zwiększania się liczby zleceń transportowych, złożoność czasowa algorytmu poprawy wydłuża się nieznacznie, nie przekraczając 2 minut. Algorytm poprawy jest pewniejszym i bardziej przewidywalnym narzędziem pracy niż algorytm węgierski z uwagi na niewielkie różnice między minimalnym, a maksymalnym czasem uzyskiwania optymalnego rozwiązania, w zależności od liczby zleceń.

Potwierdzeniem szybkości pracy i dokładności algorytmu poprawy są również badania, których wyniki opublikowano w artykule [7]. Dotyczą one porównania złożoności czasowej wyżej wymienionych algorytmów, rozpatrywanych w przypadku pozyskiwania od 50 do 100 zleceń z giełdy transportowej dla 50 dysponowanych środków transportowych.

Niniejsze badania dowodzą, że wykorzystanie algorytmu poprawy do pracy spedytora w przedsiębiorstwie może mieć znaczny wpływ na efektywność i/lub opłacalność wykorzystania środków transportowych. Wykonanie obszerniejszych badań oraz symulacji działania algorytmu poprawy mogłoby spowodować zwiększenie zainteresowania wśród dostawców giełd transportowych i systemów wspomagających zarządzanie wybranymi procesami logistycznymi, skutkując rozpowszechnieniem tej metody w przedsiębiorstwach transportowych.

## **4. KONCEPCJA USPRAWNINIENIA METODYKI PRZYDZIELANIA ZLECEŃ TRANSPORTOWYCH**

Ustalenie stopnia przewidywalności czasu potrzebnego na uzyskanie odpowiedzi zwrotnej konkretną metodą optymalizacyjną może pomóc w podjęciu właściwej decyzji o zaopatrzeniu w odpowiednie narzędzia pracowników działu logistycznego. W trakcie optymalizacji procesu planowania, niezbędna jest dokładna analiza stanu posiadanej floty środków transportowych i wgląd do dostępnych ofert przewozów na giełdzie transportowej. Sam algorytm poprawy sortuje dane w macierzy danych (dwuwymiarowa macierz zleceń transportowych i dostępnych środków transportowych) w sposób zaproponowany przez autorów algorytmu. Do jego zaimplementowania i użytkowania niezbędne jest posiadanie dostępu do giełdy transportowej oraz systemu TMS, współpracującego w zakresie przekazywania informacji o lokalizacji i dostępności środków transportowych [7, 8].

Wykonanie poprawnych i dokładnych obliczeń pozwalających wybrać z giełdy, a następnie zaplanować zlecenia transportowe, wymaga standaryzacji pewnych czynności w aspekcie wspomagania podejmowania decyzji. Do zaprezentowania przykładowej optymalizacji z wykorzystaniem algorytmu poprawy, posłużono się opracowanym przez autorów, schematem postępowania. Schemat przedstawiony na rysunku 2, odzwierciedla możliwą kolejność działań w trakcie pobierania i przydzielania zleceń transportowych do



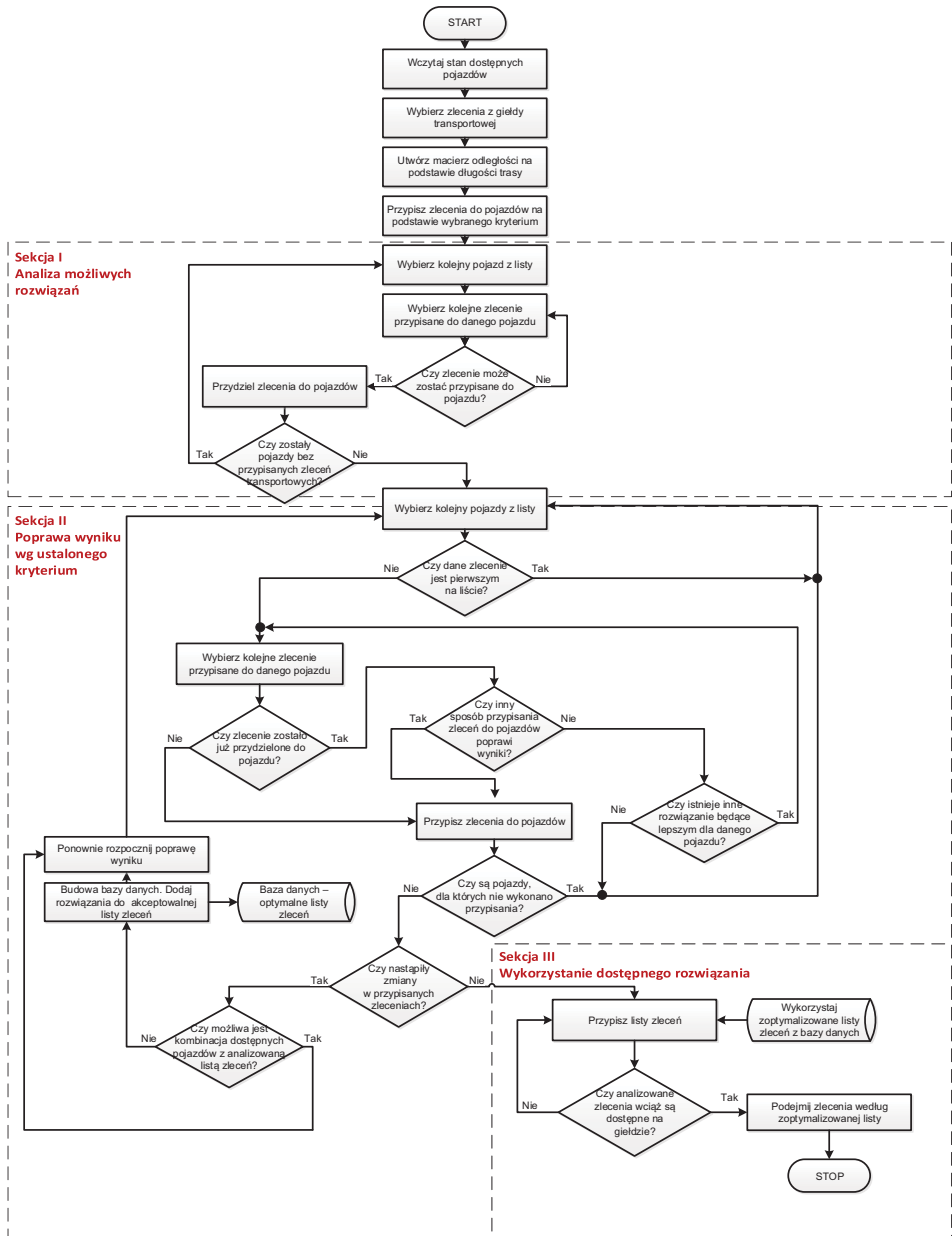
środków transportowych. Z uwagi na czytelność i analogię do typowych czynności wykonywanych przez spedytorów w przedsiębiorstwach transportowych, w miejsce zapisu matematycznego w prezentowanym algorytmie wprowadzono formę opisową (tj. zamiast przykładowych oznaczeń  $d[i_1]$ ,  $d[0]$ ,  $d[i_1+1]$ , odpowiednio wprowadzono zbiór zleceń, zlecenie pierwsze, zlecenie następne [9]). Opis działania algorytmu zakłada, że pierwsze kroki koncentrują się na określeniu lokalizacji dysponowanych środków transportowych (w algorytmie na rysunku 2 wysepuje zamiennie pojęcie pojazd) wraz z ustaleniem parametrów granicznych takich, jak: jednostkowy koszt dojazdu do punktu załadunku, jednostkowa wartość przychodu, jednostkowy koszt przejazdu, maksymalna liczba kilometrów dojazdowych i inne. Dokonywane jest to na podstawie wykorzystania mechanizmów mapy cyfrowej pozwalającej określić odległość środków transportowych od miejsc załadunku, podawanych w ofertach, oraz danych statystycznych z ubiegłych okresów archiwizowanych przy pomocy systemów klasy TMS lub innych narzędzi informatycznych. Następnie wczytywane są oferty przewozowe z giełdy transportowej z wykorzystaniem narzędzia optymalizacji do utworzenia macierzy, w której przypisane zostają konkretne zlecenia do danych pojazdów. Kolejne kroki algorytmu prezentują sposób sortowania zaimportowanych danych z giełdy transportowej do posiadanych pojazdów. Podstawą algorytmu jest kontrola poprawności wyniku w kolejnych krokach. Przypisywanie zleceń jest prowadzone tak długo, aż każdy z pojazdów będzie posiadał przydzielone zlecenie transportowe. Dalszą część kalkulacji stanowi optymalizacja uzyskanych w ten sposób rezultatów. Analiza przetwarzanych informacji koncentruje się na dokładnym sortowaniu danych pod kątem istnienia lepszego sposobu przypisania ofert względem zadanego kryterium i możliwości realizacji danej kombinacji zleceń do pojazdów. Takie podejście wprowadza do algorytmu kilka pętli rozwiązywanych z momentem spełnienia żądanych parametrów, tj. przypisania zleceń do dostępnych pojazdów w najkorzystniejszej kombinacji, która jest możliwa do realizacji.

Po wykonaniu wszystkich kroków optymalizacyjnych algorytmu poprawy, wynik zwrócony w postaci listy przypisanych ofert przewozowych do pojazdów stanowi podstawę dla dalszej pracy spedytora, która polega na zarezerwowaniu rozpatrywanych zleceń przyporządkowanych do pojazdów. W tym celu należy skontaktować się ze zleceniodawcami i podjąć negocjację cen dostawy.

Wykorzystanie metod optymalizacji w pracy związanej z organizacją i zarządzaniem przedsiębiorstwem spedycyjno-transportowym pozwala zredukować czas potrzebny na przypisanie poszczególnym pojazdom zleceń transportowych [5], [10]. Połączenie tych metod z giełdami transportowymi znacząco usprawnia pozyskiwanie zleceń transportowych w aspekcie ich rentowności. Poprzez możliwość kombinacji przypisania zleceń do środków transportowych przy zastosowaniu algorytmów optymalizacyjnych obliczanych przez typowe jednostki obliczeniowe (komputery oparte na procesorach Intel i-5, 2,2GHz, 4MB RAM), osoba odpowiedzialna za rozdysponowanie posiadanej floty jest w stanie w krótkim czasie uzyskać korzystną pod względem finansowym odpowiedź doboru i realizacji dostępnych ofert.

Wykorzystanie dostępnych dzisiaj środków optymalizacji pracy floty pojazdów sprawia, że działania podejmowane przez dane przedsiębiorstwo transportowe stają się wysoce skuteczne. Skuteczność przydzielania opłacalnych ofert przewozowych do pojazdów, połączona z szybką reakcją na zaistniałe okazje do zawarcia korzystnych

transakcji biznesowych, w rezultacie może poprawić efektywność pracy spedytora i wpłynąć na polepszenie sytuacji finansowej konkretnej firmy logistycznej.



Rysunek 2. Schemat podstepowania przy wykorzystaniu algorytmu poprawy. Opracowanie własne

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Organizacja przewozu ładunków wymaga elastyczności, wiedzy oraz doświadczenia w przydzielaniu zleceń transportowych do dostępnych środków transportowych. W logistyce dystrybucji istotna jest ścisła współpraca przewoźnika ze zleceniodawcą polegająca na ustaleniu dokładnych gabarytów i parametrów towaru oraz punktów załadunkowo-rozładunkowych. Odpowiedni przepływ informacji pozwala wyznaczyć możliwie korzystną drogę przejazdu wraz z przydzieleniem odpowiedniego środka transportowego.

Współcześnie rozwinięte przedsiębiorstwa z sektora TSL wykorzystują do swoich działań nowoczesne narzędzia informatyczne, rozwiązujące zagadnienie przydziału zleceń do środków transportowych. Zastosowanie specjalistycznych systemów klasy TMS, a także giełd transportowych usprawnia proces zarządzania łańcuchem dostaw, ułatwiając jednocześnie bezpośredni kontakt z potencjalnymi kontrahentami. Dzisiejsze systemy telematyczne zmniejszają ryzyko błędów w trakcie organizacji procesu transportowego oraz umożliwiają stałe monitorowanie posiadanej floty pojazdów i informowanie usługobiorców w przypadku zachodzących zmian. Obecnie specyfika pracy spedytora w przedsiębiorstwach opiera się głównie na umiejętności sprawnego analizy i obserwacji danych. Podejmowanie szybkiej decyzji, w dobie tak wysoko konkurencyjnego rynku TSL, staje się kluczem do osiągnięcia większych zysków pod warunkiem, że podjęta decyzja okaże się rentowna.

Analiza porównawcza zaprezentowana w niniejszej publikacji potwierdza tezę o możliwości stworzenia skuteczniejszych narzędzi optymalizacji. Należy jednak mieć na uwadze, że algorytm poprawy stanowi jedną z metod heurystycznych, a zwracana wartość może być bliska rozwiązaniu optymalnemu. Tym samym nie można wykluczyć przypadku, w którym osoba stosująca algorytm poprawy nie otrzyma rozwiązania.

Wyniki dokonanej analizy porównawczej wskazują na efektywną oraz przewidywalną metodę przydzielania zleceń transportowych, a wdrożenie i rozpowszechnienie tego narzędzia pracy w większej liczbie przedsiębiorstw z sektora TSL pozwoliłoby dokładniej zbadać jego skuteczność.

### Bibliografia

1. Kisielewski P.: *Optymalizacja przydziału zadań transportowych*, w: Problemy Eksploatacji, T: nr 2, 2007, s. 55-63.
2. Kozieł G.: *Algorytmy wyznaczania optymalnej trasy przejazdu*, w: Logistyka nr 3/2014, s. 3206-3212.
3. Krawczyk S.: *Logistyka. Teoria i praktyka*, Tom I, II, Wydawnictwo Difin SA, Warszawa 2011.
4. Jacyna, M.: *Modelowanie i ocena systemów transportowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
5. Jacyna M.: *Wybrane metody i narzędzia optymalizacji i oceny systemów transportowych i logistycznych*, w: Kształtowanie systemów w wybranych obszarach transportu i logistyki, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014, s. 36-65.
6. Woźniak W., Wojnarowski T., A Method for the rapid Selection of profitable Transport Offers within the Freight Exchange Market, 25th IBIMA Conference. Amsterdam 2015. p. 2073 – 2085

7. Woźniak W., Stryjski R., Mielniczuk J., Wojnarowski T.: *Koncepcja usprawnienia wybranych algorytmów rozwiązujących zagadnienia transportowe*, w: Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport (z.111) 2016, s.599-610.
8. Woźniak W., Wojnarowski T.: *Koncepcja przydziału zleceń transportowych z giełd transportowych*, w: Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 2017.
9. [http://informatyka.2ap.pl/ftp/3d/algorytmy/podr%C4%99cznik\\_algorytmy.pdf](http://informatyka.2ap.pl/ftp/3d/algorytmy/podr%C4%99cznik_algorytmy.pdf)
10. Szaruga E.: *Analiza energochłonności transportu samochodowego na przykładzie wybranych państw Unii Europejskiej*, w: Zeszyty Naukowe nr 819, Szczecin 2014, s.197-206.

## ANALYSIS OF SELECTED OPTIMIZATION METHODS IN ROAD TRANSPORT

**Summary:** The article presents practical solutions to the problem of allocation of transport orders to available transport means in road transport. For this purpose, a comparative analysis of the selected optimization method used in the TSL industry with the own solution was made. The proposed algorithm for effective allocation of selected transport orders was developed based on heuristic methods. It was proposed to use the algorithm as a tool to support the work of shippers to obtain cost-effective transport orders from electronic transport exchanges.

**Keywords:** issue of assignment, heuristic method, algorithm, time complexity