



Łukasz Wojciechowski

Tadeusz Cisowski

Metoda optymalizacji procesu eksploatacji w ujęciu bezawaryjności pojazdu

MONOGRAFIE

Lublin 2018

Metoda optymalizacji procesu
eksploatacji w ujęciu
bezawaryjności pojazdu

Monografie – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 LUBLIN

Łukasz Wojciechowski
Tadeusz Cisowski

Metoda optymalizacji procesu eksploatacji w ujęciu bezawaryjności pojazdu



Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej
Lublin 2018

Recenzenci:

dr hab. inż. Rafał Longwic, prof. Politechniki Lubelskiej

dr hab. inż. Marek Pawełczyk, prof. Politechniki Świętokrzyskiej

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2018

ISBN: 978-83-7947-339-7

Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej

www.biblioteka.pollub.pl/wydawnictwa

ul. Nadbystrzycka 36C, 20-618 Lublin

tel. (81) 538-46-59

Druk: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak

www.agencjatorp.pl

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL www.bc.pollub.pl

Nakład: 50 egz.

SPIS TREŚCI

STRESZCZENIE	7
ABSTRACT.....	8
Wykaz skrótów i symboli	9
WSTĘP	13
1. ANALIZA STANU WIEDZY NA TEMAT WYBRANYCH ASPEKTÓW EKSPLOATACJI OBIEKTÓW TECHNICZNYCH	15
1.1. Diagnostyka w systemie eksploatacji maszyn	15
1.2. Model systemu eksploatacji maszyn	16
1.3. Intensywność przepływu w systemach eksploatacji	18
2. ANALIZA PROCESU EKSPLOATACJI MASZYN TECHNOLOGICZNYCH	23
2.1. Pojęcie zagadnienia eksploatacji.....	23
3. MODEL TRANSPORTOWY	35
3.1. Zagadnienie rozwożkowe w eksploatacji pojazdów	37
3.2. Zagadnienie komiwojażera	40
3.3. Wyznaczanie drogi optymalnej w sieciach transportowych	42
4. GENEZA PODJĘTYCH BADAŃ	43
5. CHARAKTERYSTYKA MODELU I ALGORYTMU RACJONALIZACJI PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH POJAZDU.....	45
5.1. Model matematyczny doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdu .	45
5.1.1. Zbiór danych węzłów	46
5.1.2. Zbiór danych łuków łączących pojedyncze węzły	46
5.1.3. Zbiór danych środków transportu.....	47
5.1.4. Zbiór danych węzłów nadawczych, odbiorczych i bazowych.....	48
5.1.5. Zbiór optymalnych tras przewozowych.....	49
5.1.6. Zbiór wyznaczonych marszrut.....	51

5.2. Model algorytmiczny racjonalizacji parametrów eksploatacyjnych pojazdu	52
5.3. Zagadnienie odwrotne w aspekcie eksploatacji i trwałości pojazdów ..	58
5.4. Realizacja eksperymentów obliczeniowych.....	60
5.5. Routingowa baza danych	63
5.6. Serwer danych przestrzennych.....	65
5.7. Zapis zadania optymalizacyjnego w testach	67
6. IMPLEMENTACJA KOMPUTEROWA METODY RACJONALIZACJI PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH POJAZDU W ASPEKCIE JEGO TRWAŁOŚCI.....	69
6.1. Opis interfejsów do wprowadzania danych oraz wizualizacji wyników	69
6.2. Zapis kodu programistycznego	76
7. WERYFIKACJA WYNIKÓW EKSPERYMENTALNYCH Z RZECZYWISTYMI NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO PRZEDSIĘBIORSTWA TRANSPORTOWEGO.....	85
7.1. Badanie systemu eksploatacji pojazdów z wykorzystaniem jego symulatora	85
7.2. Interpretacja wyników badań	95
WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE.....	105
SPIS RYSUNKÓW	107
WYKAZ TABEL.....	108
BIBLIOGRAFIA	109
Załącznik nr 1	119
Załącznik nr 2	124
Załącznik nr 3	127

STRESZCZENIE

W niniejszej monografii została przedstawiona nowa metoda doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdów w aspekcie zwiększenia ich trwałości w użytkowaniu.

Zidentyfikowano zjawiska ograniczające poprawną eksploatację środków transportowych wynikające:

- ze złego stanu technicznego pojazdów i niemożności wskutek tego wykonania zadań przewozowych,
- z nieprawidłowej organizacji procesu transportowego prowadzącej do niewykorzystania pełnej ładowności, braku mocy załadowniczej, strat czasowych oraz zbędnych przebiegów pustych,
- z niedostatecznego zaplecza techniczno-obsługowego i naprawczego, prowadzącego do zbędnych postojów.

Omówiono aspekty teoretyczne oraz praktyczne dla zastosowania nowego rozwiązania. Przeanalizowane zostały kluczowe metody optymalizacji eksploatacji pojazdów oraz ich tras przewozowych.

Zaproponowaną metodę doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdów oparto na elementach modelu programowania dynamicznego z zastosowaniem algorytmów heurystycznych.

Opracowano model a następnie algorytm i program komputerowy doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdu. Dokonano planowania przepływów w sieci transportowej z uwzględnieniem optymalizacji parametrów eksploatacyjnych środków transportowych, a w dalszej kolejności określono te parametry i ich wpływ na poprawę trwałości pojazdów. Zakres pracy obejmował również ocenę oraz weryfikację praktyczną rozwiązania w firmie przewozowej, co potwierdziło dobrą zgodność pomiędzy eksperymentem praktycznym a wynikami teoretycznymi. W dalszej kolejności przedstawiono wyniki badań uzyskane w trakcie zastosowania metody na realnych danych. Badania polegały na analizie danych transportowych, tras przewozowych, czasów jazdy, ilości przewiezionego ładunku, kosztach i wykorzystanych w tym celu parametrów eksploatacyjnych uzyskanych z firmy przewozowej a następnie w tych samych warunkach zestawiono je w algorytmie stosującym nową metodę doboru parametrów eksploatacyjnych. Porównane wyniki badań pokazały możliwość zwiększenia trwałości pojazdów poprzez bardziej optymalny dobór parametrów eksploatacyjnych. Uzyskano i przedstawiono poprawione cechy techniczno-ekonomiczne oraz wyższe wskaźniki gotowości technicznej, wykorzystania taboru, wykorzystania czasu pracy, przebiegu ogółem, jak również wskaźnik statyczny wykorzystania ładowności.

ABSTRACT

The monograph presents a new method of selecting operating parameters of vehicles which allows to prolong their useful life.

Phenomena which restrict proper operation of means of transport have been identified as being related to:

- poor technical condition of vehicles, which makes it impossible for them to perform transport tasks,
- improper organization of transport, which does not allow fleet operators to use the full freight carrying capacity of their vehicles as well as leading to a lack of freight loading capacity, time losses and unnecessary empty runs,
- insufficient technical-and-maintenance facilities, leading to unnecessary dwelling (layover).

The theoretical and practical aspects of the new approach were discussed. The key methods of optimizing the use of vehicles and their transport routes were analysed.

The proposed method of selecting operating parameters of transport vehicles was based on elements of the dynamic programming model using heuristic algorithms.

A model and then an algorithm and a computer program for selecting operating parameters for vehicles were developed. Flows of traffic in a transport network were planned taking into account the optimization of the operating parameters of the transport means, and then these parameters and their impact on the improvement of vehicle durability were established. The scope of the monograph also included the assessment and practical verification of the new approach in a transport company, which showed there was good compatibility between the experimental and theoretical results. Next, results obtained by applying the proposed method to real data were presented. The study involved an analysis of transport data, transport routes, driving times, quantities of cargo transported, costs and the operational parameters obtained from the transport company, which were then fed, under the same conditions, into an algorithm which used the new method of selection of operating parameters. Compared in this way, the results showed it was possible to prolong the useful life of vehicles by selecting more optimal operating parameters. Improved technical and economic characteristics and higher rates of technical availability, fleet use, utilization of operating time, total mileage as well as the static load capacity use index were obtained and presented.

Wykaz skrótów i symboli

A	– wskaźnik wykorzystania taboru
$A_1^2 \left \begin{smallmatrix} W_p \\ W_{start} \end{smallmatrix} \right.$	– kwadrat długości pierwszej przyprostokątnej pierwszego trójkąta opisanej współrzędnymi węzłów pomiędzy Wstart oraz Wp ,
$A_2^2 \left \begin{smallmatrix} W_{stop} \\ W_p \end{smallmatrix} \right.$	– kwadrat długości pierwszej przyprostokątnej drugiego trójkąta opisanej współrzędnymi węzłów pomiędzy Wp oraz Wstop ,
A_w	– współczynnik „atrakcyjności” danej trasy. Trasa jest bardziej optymalna dla możliwie najmniejszej wartości tego współczynnika;
B	– status węzła jako bazowego, określa to wartość logiczna 1 lub 0,
$B_1^2 \left \begin{smallmatrix} W_p \\ W_{start} \end{smallmatrix} \right.$	– kwadrat długości drugiej przyprostokątnej pierwszego trójkąta opisanej współrzędnymi węzłów pomiędzy Wstart oraz Wp ,
$B_2^2 \left \begin{smallmatrix} W_{stop} \\ W_p \end{smallmatrix} \right.$	– kwadrat długości drugiej przyprostokątnej drugiego trójkąta opisanej współrzędnymi węzłów pomiędzy Wp oraz Wstop ,
C	– wskaźnik statyczny sumaryczny wykorzystania ładowności,
C_{eksp}	– koszt eksploatacji pojazdu [zł/km],
C_{pal}	– cena paliwa [zł/l],
D	– data przebywania ST w danym węźle w formie odpowiadającej językowi programowania,
De	– dni eksploatacji,
Di	– liczba dni inwentarzowych,
Dgt	– Dni gotowości do pracy,
D_r	– data i czas, w których ST rozpoczął kurs,
D_z	– data i czas, w których ST zakończył kurs,
Eiuh (%)	– procent zużycia części w ciągu każdej godziny jazdy,
Eiukm (%)	– procent zużycia części na każdy przejechany kilometr,
F	– wskaźnik wykorzystania czasu pracy,
I_d	– identyfikator ST posiadający unikalną nazwę znakową,
I_{d1}	– nazwa pierwszego sąsiedniego węzła,

I_{d2}	– nazwa drugiego sąsiedniego węzła,
I_{db}^{nw}	– podzbiór nazw węzłów tworzących najkrótszą drogę do przebycia
I_{dw}	przez ST z węzła odbiorczego W_{ODB} do węzła bazowego W_{BAZ} , – znakowy identyfikator węzła zdefiniowanego, jako nadawczy i wyznaczony ze zbioru głównego węzłów W ,
I_{dw}^{nw}	– podzbiór nazw węzłów tworzących możliwe i najbardziej
I_1	optymalne połączenie węzła nadawczego W_{NAD} z węzłem odbiorczym W_{ODB} , $I_{dw}^{nw} = \{I_d\}$ dla $I_d \in W$,
$I_{dw(p)}$	– podzbiór nazw węzłów pośrednich,
I_{dWST}	– miejsce jego przebywania w zbiorze W ,
K	– pokonana trasa [km],
K_{zp}	– sumaryczny koszt zużycia paliwa [zł],
K_{eksp}	– sumaryczny koszt eksploatacji ST [zł],
Kl	– przebieg ładowny [km],
nL	– całkowita ilość luków,
nST	– całkowita ilość zbiorów opisujących dane środków transportowych,
N_{st}	– numer środka transportowego ST biorącego udział w danej marszrucie,
nt	– liczba porządkowa dla wyznaczonych tras optymalnych,
N_t	– numer trasy optymalnej T_{Opt} , w której następuje przewóz ładunku z węzła nadawczego W_{NAD} do odbiorczego W_{ODB} ,
nw	– liczba porządkowa danego węzła,
P_d	– podaż ładunkowa węzła, $P_d \in \mathbf{R}^+$,
P_{jTl}	– to ładunek przewożony w zadaniu T_k , którego punktem początkowym lub końcowym jest P_j , a więc $P_{jTl} \equiv T_{kl}$.
P_p	– popyt ładunkowy węzła, $P_p \in \mathbf{R}^+$,
P_{sred}	– średnie spalanie paliwa [l/100km],
P_x	– pozycja x w układzie współrzędnych, $P_x \in \mathbf{C}^+$,

$P_{xW_{BAZ}}$	– współrzędne x węzła bazowego W_{BAZ} ,
$P_{xW_{NAD}}$	– współrzędne x węzła nadawczego W_{NAD} ,
$P_{xW_{ODB}}$	– współrzędne x węzła odbiorczego W_{ODB} ,
P_y	– pozycja y w układzie współrzędnych, $P_y \in C^+$,
$P_{yW_{BAZ}}$	– współrzędne y węzła bazowego W_{BAZ} ,
$P_{yW_{NAD}}$	– współrzędne y węzła nadawczego W_{NAD} ,
$P_{yW_{ODB}}$	– współrzędne y węzła odbiorczego W_{ODB} ,
S	– długość [km] drogi pomiędzy dwoma węzłami,
q	– ładowność [t.],
Q	– przewieziony towar [t.],
$S_{bież}$	– ilość przejechanych kilometrów w danym kursie [km],
S_c	– długość całkowitej drogi przebytej przez ST w bieżącym kursie od węzła, z którego kieruje się do węzła nadawczego W_{NAD} i w końcowym etapie do węzła odbiorczego W_{ODB} ,
S_{ob}	– długość całkowitej drogi z węzła odbiorczego W_{ODB} do węzła bazowego W_{BAZ} ,
S_{pow}	– długość całkowitej drogi wszystkich pozostałych nierozpatrywanych w bieżącym kursie środków transportowych ST z węzła, w którym aktualnie przebywają do węzła bazowego W_{BAZ} ,
S_T i T_T	– długości danej trasy i czas przejazdu zawarte pomiędzy węzłami nadawczymi i odbiorczymi,
S_{sum}	– sumaryczna ilość przejechanych kilometrów we wszystkich kursach, w których ST brał udział [km],
ST	– środek transportu,
$S \left \begin{smallmatrix} W_{stop} \\ W_p \\ W_{start} \end{smallmatrix} \right.$	– droga z węzła startowego przez pośredni do końcowego,
T	– czas [min] przejazdu środka transportowego pomiędzy dwoma węzłami,

T_b	– ilość w [kg] masy towarowej, którą przewiózł ST w bieżącym kursie,
T_d	– czas pracy [godz.],
T_j	– czas jazdy [godz.],
T_{dop}	– dopuszczalna ładowność ST podana w [kg],
$T_{ipd_{xy}}$	– punkt docelowy (punkt zdania ładunku), gdzie x i y to odpowiednio długość i szerokość geograficzna,
$T_{ips_{xy}}$	– punkt początkowy (punkt odbioru ładunku), gdzie x i y to odpowiednio długość i szerokość geograficzna,
$T_{Opt}^{nt}_1$	– zbiór wyznaczonych parametrów tras optymalnych w ilości określonej przez nt ,
T_{przew}	– ilość przewożonego ładunku w danym kursie [kg],
Vic [kg]	– ładowność pojazdu (podawana w kilogramach),
Vip_{xy}	– aktualna lokalizacja pojazdu, gdzie x i y to odpowiednio długość i szerokość geograficzna,
Vis [1 0]	– status pojazdu (wartość 1 – dostępny lub 0 – niedostępny).
Viv [km/h]	– prędkość techniczna pojazdu (maksymalna prędkość jazdy, podawana w km/h),
VT	– średnia prędkość [km/godz.],
W^{nw}_1	– zbiór wszystkich węzłów w ilości określonej dla $nw \in C^+$
$W^{nn}_{NAD}_1$	– jest podzbiorem nazw wyznaczonych węzłów nadawczych w ilości „nn”,
W_{NOB}	– jest głównym zbiorem podzbiorów $W^{nn}_{NAD}_1$; $W^{no}_{ODB}_1$; $W^1_{BAZ}_1$,
W_p	– rozpatrywany węzeł pośredni,
W_{start}	– rozpatrywany węzeł początkowy,
W_{stop}	– rozpatrywany węzeł końcowy,

WSTĘP

Ogromny postęp, oraz zmiany jakie dokonują się w funkcjonowaniu przedsiębiorstw odbywają się dwoma zasadniczymi drogami: jedna to stosowanie nowoczesnej technologii i techniki, druga to doskonalenie metod organizacji, zarządzania, optymalizacji, jak również sprawnej obsługi technicznej.

W wielu dziedzinach działalności ludzkiej, a w szczególności w działalności gospodarczej, stosowana jest zasada racjonalnego gospodarowania. Jest to zasada działania w warunkach, gdy cel i środki, niezbędne do jego osiągnięcia, wyrażone są w sposób ilościowy. Decyzje dotyczące działalności gospodarczej, jak również transportowej, muszą być zgodne z zasadami racjonalnego gospodarowania by móc przy najmniejszym nakładzie środków osiągnąć maksymalny stopień realizacji celu. W konsekwencji przedsiębiorstwa optymalizują ilość wykorzystywanych środków transportowych do powierzonych zadań. Posiadanie w przedsiębiorstwie określonej liczby środków transportu oraz optymalne przypisanie im zadań transportowych jest związane z determinacją kosztów związanych z ich eksploatacją. Możliwe jest to przy optymalnym doborze parametrów eksploatacyjnych pojazdów, którego zadaniem jest zapewnienie sprawnych kursów przewozowych przy zachowaniu minimalnego kosztu. Posiadanie we flocie pojazdów pewnej liczby środków transportu, bezpośrednio łączy się z ich eksploatacją techniczną a co za tym idzie za kosztami przewozowymi. Obniżenie kosztów eksploatacji najczęściej uzyskuje się poprzez efektywne wykorzystanie środków transportu w czasie z zachowaniem optymalnych parametrów eksploatacyjnych. W tym przypadku sieć transportowa decyduje, czy dany produkt w wymaganej ilości i w ustalonym momencie znajdzie się w produkcji, czy dany wyrób w porę znajdzie się u odbiorcy lub na rynku. Jeżeli zadanie, dla którego poszukuje się rozwiązań, ma charakter rzeczywisty, to istnieje potrzeba przeprowadzenia całego procesu projektowo-poszukiwawczego wraz z niezbędnymi obliczeniami. W tym celu szczególnie przydatna jest nauka o zarządzaniu w aspektach technologicznych, a w szczególności jedna z jej gałęzi, która nosi nazwę badania operacyjne. Rozwiązanie decyzyjne za pomocą badań operacyjnych jest pewnego rodzaju procedurą składającą się z następujących ważniejszych etapów:

- rozpoznanie sytuacji i wynikającego z niej problemu decyzyjnego,
- budowa modelu opisującego zagadnienie decyzyjne,
- poszukiwanie metody rozwiązania oraz rozwiązanie modelu zadania decyzyjnego,
- ocena poprawności i realności uzyskanych rozwiązań oraz ewentualna weryfikacja modelu i metody rozwiązywania,
- wdrożenie rozwiązania i obserwacja zmian zachodzących pod wpływem rozwiązania.

Uwzględniając zapotrzebowanie przedsiębiorstw transportowych za celowe uznano podjęcie tematu rozprawy doktorskiej i opracowanie nowej, efektywnej metody polegającej na optymalnym doborze parametrów eksploatacyjnych pojazdów, co w konsekwencji doprowadza do zwiększenia ich trwałości w procesie użytkowym. Wiadomym jest, że sposób użytkowania pojazdu w dowolnej firmie przewozowej ma istotny wpływ na efektywność jej działalności gospodarczej, a prawidłowa eksploatacja techniczna środków transportowych ma na celu podniesienie ich sprawności technicznej, niezbędnej do wykonywania swoich zadań.

W monografii zaproponowano nowe narzędzie w postaci programu komputerowego, zapewniającego określenie optymalnego doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdu z uwzględnieniem ilości przewożonego ładunku po wyznaczonych optymalnych trasach przewozowych. Optymalizacja działania metody została oparta o rzeczywiste warunki planowania przewozu ładunków w rzeczywistym przedsiębiorstwie transportowym. Pozwala to na faktyczne odwzorowanie procesów, zadań transportowych i eksploatacyjnych floty pojazdów dostępnych w firmie.

Monografia została podzielona na siedem rozdziałów. W rozdziale pierwszym dokonano analizy stanu aktualnej wiedzy na temat wybranych aspektów obiektów technicznych. Omówiono wybrane aspekty eksploatacji technicznej oraz modele odnowy. Scharakteryzowano modele systemów eksploatacji i obsługi obiektów technicznych. Drugi rozdział został poświęcony krótkiemu przeglądowi wybranych modeli, dotyczących optymalizacji eksploatacji obiektów technicznych. Przedstawiono ich opis oraz zastosowanie. W rozdziale trzecim pracy przedstawiono modele transportowe dla rozwózki towarów oraz optymalizacji tras przewozowych. Genezę podjętych badań, założenia funkcjonalności opracowanego algorytmu zawarto w rozdziale czwartym. Rozdział piąty opisuje model i algorytm optymalizacji parametrów eksploatacyjnych pojazdu. Zawarte są w nim również informacje o implementacji narzędzi jakie zostały użyte do ich opracowania. W rozdziale szóstym opisano symulator, opracowanego w rozdziale piątym, systemu eksploatacji pojazdów. Przedstawia on zależności pomiędzy aplikacjami oraz charakteryzuje narzędzia informatyczne użyte do napisania kodu programistycznego. Rozdział siódmy poświęcony jest prezentacji i weryfikacji wyników eksperymentalnych, dotyczących doboru racjonalnych parametrów eksploatacyjnych pojazdów. W badaniach tych wykorzystano, opracowany w rozdziale piątym symulator systemu eksploatacji pojazdów. Opisano wyniki badań nad doбором optymalnych parametrów eksploatacyjnych pojazdów biorących udział w procesie rozwózki towarów. Przeprowadzono w nim również praktyczną weryfikację opracowanego algorytmu, wykorzystując dane rzeczywiste przedsiębiorstwa transportowego.

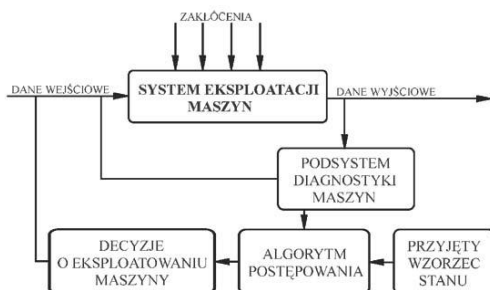
1. ANALIZA STANU WIEDZY NA TEMAT WYBRANYCH ASPEKTÓW EKSPLOATACJI OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

1.1. Diagnostyka w systemie eksploatacji maszyn

Pojęcie eksploatacji według normy PN określa się jako: „zespół celowych działań organizacyjno-technicznych i ekonomicznych ludzi z obiektem technicznym oraz wzajemne relacje, występujące między nimi od chwili przyjęcia obiektu do wykorzystania zgodnie z przeznaczeniem, aż do jego likwidacji”. Sens tej definicji ujemuje zagadnienie w aspekcie działania. W aspekcie fizycznym eksploatacja jest to „ogół wszystkich zdarzeń, zjawisk i procesów zachodzących od chwili zakończenia procesu jego wytwarzania do chwili likwidacji”. Maszyny w czasie swojego funkcjonowania charakteryzuje zdolność do wykonywania powierzonych im zadań, dlatego utrzymywanie najwyższej gotowości i sprawności technicznej jest niezmiernie istotne. Służy temu celowo zorganizowany i sprawnie działający system zasilania, nieodzownie połączony z odpowiednimi podsystemami oraz infrastrukturą otoczenia tych maszyn. Jest nim system logistyczny eksploatacji, który jest procesem zarządzania łańcuchem dostaw i usług dla urządzeń.

Sposoby użytkowania i obsługi maszyn oraz relacje pomiędzy nimi określa strategia eksploatacyjna, która wytyczana jest według [17], [29], [111], [129]:

- niezawodności,
- stanu technicznego,
- ilości wykonanej pracy,
- strategii eksploatacji maszyn.

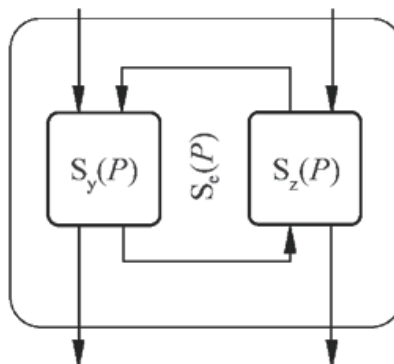


Rys. 1.1. Diagnostyczne sterowanie systemem eksploatacji maszyn

1.2. Model systemu eksploatacji maszyn

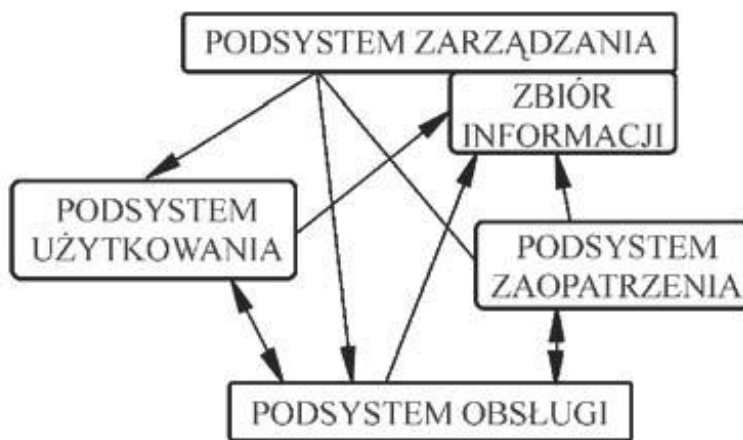
Według literatury [7] na system eksploatacji $S_e(P)$ składa się system obsługiwanie $S_z(P)$ – w zbiorze układów działania $U_z(P)$ maszyna jest przedmiotem działania, oraz system użytkowania $S_y(P)$ – w zbiorze układów działania $U_y(P)$ maszyna jest pośrednikiem. Uwzględniając stan techniczny, maszyna znajduje się w systemie obsługiwanie $S_z(P)$ lub użytkowania $U_y(P)$, co obrazuje (rys. 1.2). Zbiór F pozwala wyróżnić związki zachodzące pomiędzy elementami zbioru układów działania. System eksploatacji można zapisać jako zbiór układów działania:

$$S_e(P) = \langle U_{yz}(P), F \rangle \quad (1)$$



Rys. 1.2. Model systemu eksploatacji maszyn

Systemy eksploatacji maszyn są systemami rzeczywistymi, w których realizowane są procesy sterowane, będące składowymi procesu eksploatacji, dotyczące maszyn w fazie ich eksploatacji. Racjonalność działania tych systemów decyduje o efektywności zastosowania maszyn i możliwościach realizacji przez te maszyny wytyczonych celów. Są to systemy celowościowe działające w pewnym otoczeniu O [45], [51], [98]. System eksploatacji możemy podzielić na podsystemy:

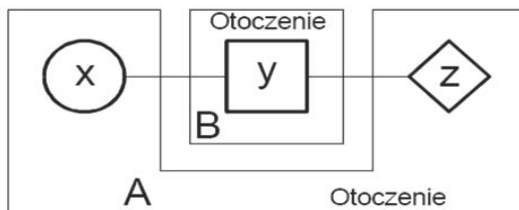


Rys. 1.3. Podsystemy systemu eksploatacji

Na przebieg procesu eksploatacji maszyny ma istotny wpływ ww. otoczenie. Każde celowe działanie człowieka z urządzeniem realizuje się w łańcuchu działania, [31], [54], [69], [121], [128], [153]:

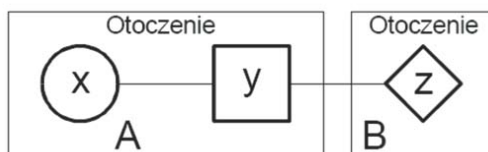
$$L = \langle x, y, z \rangle \quad (2)$$

gdzie: x – podmiot działania, którym zawsze jest człowiek inicjujący cel działania;
 y – pośrednik działania, będący narzędziem pozwalającym osiągnąć cel działania;
 z – przedmiot działania, na którym zlokalizowany jest cel działania.



Rys. 1.4. Model systemu użytkowania z uwzględnieniem otoczenia

gdzie: A – stanowisko użytkownika;
 B – obiekt (maszyna), którą użytkujemy.

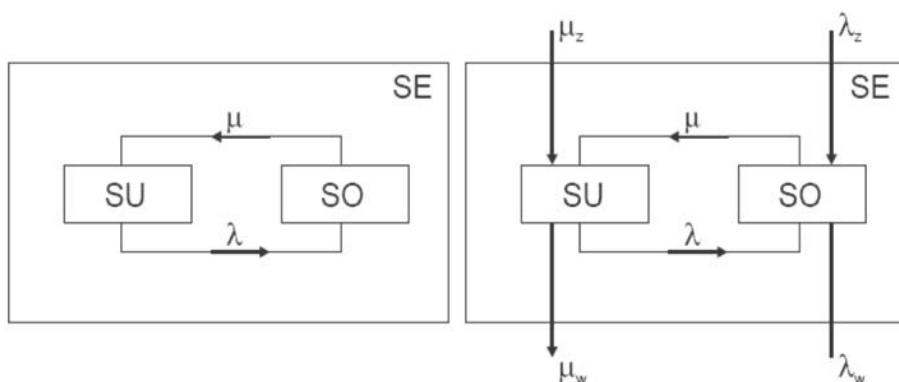


Rys. 1.5. Liniowy model systemu użytkowania z uwzględnieniem otoczenia

gdzie: A – stanowisko użytkownika;
 B – obiekt (maszyna), którą użytkujemy.

1.3. Intensywność przepływu w systemach eksploatacji

Między elementami systemu eksploatacji zachodzą relacje. Najczęściej charakteryzują je intensywności przepływu (masy, energii, informacji). Modele systemu mogą być analizowane jako (rys. 1.6): – zamknięte – otwarte.



Rys. 1.6. Model systemu zamknięty i otwarty

gdzie: SU – system użytkowania,
 SO – system obsługi,
 SE – system eksploatacji.

Badanie intensywności przepływu można ograniczyć do wybranych cech (np. intensywność dopływu do systemu obsługiwanego uszkodzonych urządzeń λ oraz μ intensywność dopływu do systemu użytkowania obsługiwanych urządzeń) lub uwzględniać bardzo różnorodne cechy [22], [38], [82], [116], [132], [137].

Intensywność dopływu do systemu λ_z obsługuje:

- λ_{z1} specjalistów,
- λ_{z2} urządzenia obsługowe,
- λ_{z3} materiały eksploatacyjne,
- λ_{z4} części zamienne energii.

Natomiast intensywność dopływu do systemu może obsługiwać:

- μ_{z1} specjalistów,
- μ_{z2} nowe urządzenia,
- μ_{z3} wzrost bazy użytkowej,
- μ_{z4} energię,
- μ_{zi} informacje.

Wszystkie procesy eksploatacji maszyn, o których była mowa związane są ściśle z teorią niezawodności, gdzie niezawodność jest to własność obiektu scharakteryzowana prawdopodobieństwem, że dla danego zespołu wymuszeń $F(t)$ wszystkie cechy mierzalne C_{mi} i niemierzalne C_{nj} w danym przedziale czasu nie zmieniają swoich wartości tak, aby obiekt nie mógł realizować założonych funkcji:

$$R(t) = P\{T \geq t\} \quad (3)$$

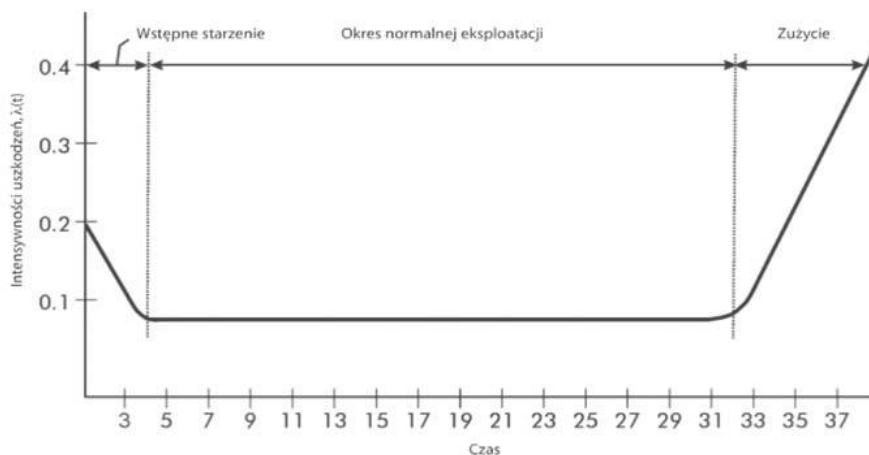
gdzie: T – rzeczywisty czas pracy bez uszkodzenia,
 t – założony (wymagany) czas pracy bez uszkodzenia.

Jeżeli przyjąć, że uszkodzenia katastroficzne i parametryczne (starzeniowe) są niezależnymi zdarzeniami losowymi to funkcję niezawodności można wyrazić:

$$R(t) = R_0 R_A(t) R_B(t) \quad (4)$$

gdzie: R_0 – niezawodność obiektu w chwili $t = 0$ (przyjmuje się $R_0 = 1$)
 $R_A(t)$ – składowa funkcji niezawodności wynikająca z uszkodzeń katastroficznych
 $R_B(t)$ – składowa funkcji niezawodności wynikająca z uszkodzeń parametrycznych

Wykres intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$ w funkcji czasu, często określany jako krzywa trwałości przedstawiony jest na rysunku 1.7):



Rys. 1.7. Model systemu zamknięty i otwarty. Intensywność uszkodzeń

Ma on trzy wyróżniające się odcinki:

- Okres wczesnych uszkodzeń albo wstępnego starzenia Jest to okres (do współrzędnej czasu 4 na tym rysunku), w którym $\lambda(t)$ maleje, gdy słabsze lub nie odpowiadające wymaganym parametrom podzespoły ulegają uszkodzeniom – znany jako: okres wczesnych uszkodzeń albo okres wstępnego starzenia. Pierwszy termin jest oczywisty, natomiast wstępne starzenie jest procesem stosowanym czasami w końcowych stadiach produkcji podzespołów, w celu wyeliminowania początkowych uszkodzeń. Polega on na poddawaniu podzespołów pracy w normalnych warunkach (albo kontrolowanych warunkach, nieco „ostrzejszych” od normalnych, w celu przyspieszenia procesu) przez czas wystarczająco długi do przetrwania okresu wczesnych uszkodzeń.
- Okres eksploatacji albo okres normalnej pracy Jest to okres praktycznie stałej, stosunkowo niskiej intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$ (od współrzędnej czasu 5 współrzędnej 31) znany jako czas eksploatacji okres normalnej pracy. W tym okresie intensywność uszkodzeń nie zależy od tego, przez jaki czas element był eksploatowany. Innymi słowy, w całym tym okresie prawdopodobieństwo uszkodzenia elementu jest takie samo.
- Okres zużycia albo uszkodzeń starzeniowych Jest to okres, kiedy intensywność uszkodzeń w funkcji czasu wzrasta stromo (poza współrzędną czasu 31), znany jako okres zużycia albo uszkodzeń starzeniowych [22], [28], [83], [92], [117], [116], [136].

Systemy eksploatacji maszyn należą do klas systemów działaniowych. Są systemami rzeczywistymi, które w taki sposób wpływają na otoczenie, aby osiągnąć zamierzony cel eksploatacyjny maszyny. Warunkiem koniecznym do

osiągnięcia powyższego założenia jest to aby zachowanie kolejnych stanów systemu zmierzało do końcowego celu. Dlatego system eksploatacji możemy potraktować jako system cybernetyczny, gdzie człowiek spełnia rolę organu sterującego. Systemy eksploatacji charakteryzuje intensywność przepływu np. masy, energii czy informacji. Trwałość każdej maszyny można zilustrować na wykresie intensywności uszkodzeń, który dzieli czas istnienia maszyny na trzy okresy [10], [22], [36], [39], [58], [65].

2. ANALIZA PROCESU EKSPLOATACJI MASZYN TECHNOLOGICZNYCH

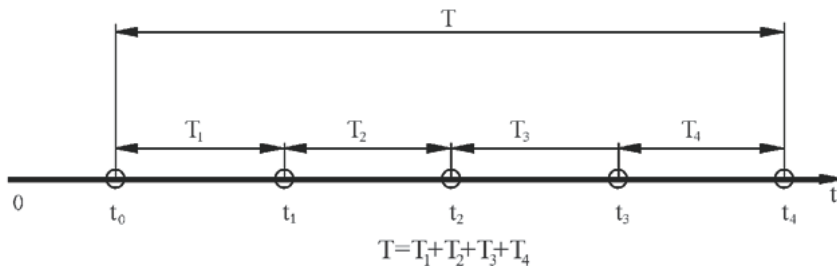
2.1. Pojęcie zagadnienia eksploatacji

Przy projektowaniu a następnie eksploatacji maszyn i urządzeń użytkownik oczekuje od nich maksymalnej sprawności, określonej niezawodności i trwałości, przy minimalnych kosztach. Na samym początku powinno zdefiniować się cel istnienia maszyny – czyli urządzenia do wykonywania określonej pracy mechanicznej albo do przetwarzania informacji lub energii mechanicznej na inny rodzaj energii w celu zaspokajania różnorodnych potrzeb człowieka przez maszynę w fazie jej eksploatacji. EKSPLOATACJA jest to zespół celowy działań organizacyjno-technicznych oraz wzajemne relacje występujące między nimi od chwili przyjęcia urządzenia do optymalnego wykorzystania zgodnie z przeznaczeniem aż do chwili utylizacji po likwidacji [1], [46], [60], [95], [123].

Fazy istnienia maszyny

Maszyna jest terminem oznaczającym zestaw połączonych wzajemnie części lub podzespołów, z których przynajmniej jeden jest ruchomy, przy czym odpowiednie człony wykonawcze, obwody sterowania i zasilania połączone są w całość do wykonywania konkretnej czynności, szczególnie do przetwarzania, obróbki przemieszczania lub pakowania materiałów. Za maszynę również uważa się zespół maszyn połączonych i sterowanych tak aby służyć do osiągnięcia tego samego celu funkcjonowały jako jedna całość. Maszyna posiada co najmniej cztery podstawowe fazy (rys. 2.1):

- faza wartościowania – W_k [o czasie trwania $T_1 = (t_1 - t_0)$],
- faza projektowania i konstruowania – P [o czasie trwania $T_2 = (t_2 - t_1)$],
- faza wytwarzania – W [o czasie trwania $T_3 = (t_3 - t_2)$],
- faza eksploatacji – E [o czasie trwania $T_4 = (t_4 - t_3)$].



Rys. 2.1. Fazy istnienia maszyny.

Każda maszyna w fazie eksploatacji powinna realizować cele, do których została zaprojektowana i wytworzona. Przydatność maszyny do spełniania społecznych potrzeb wyraża jakość eksploatacyjna. Charakteryzowana ona jest przez zbiór cech, które ukształtowane w fazie projektowania i wytwarzania wyznaczają rzeczywisty stopień spełniania aktualnych wymagań odbiorcy. Jakość eksploatacyjną powinny cechować:

- przydatność,
- użyteczność (niezawodność, podatność naprawcza, podatność obsługowa, trwałość, nieuszkodzalność, diagnozowalność, bezpieczeństwo, jakość pracy, wydajność, przepustowość, straty materiału, czystość procesu),
- ekonomiczność (efektywność zastosowania, koszty nabycia, koszty eksploatacji).

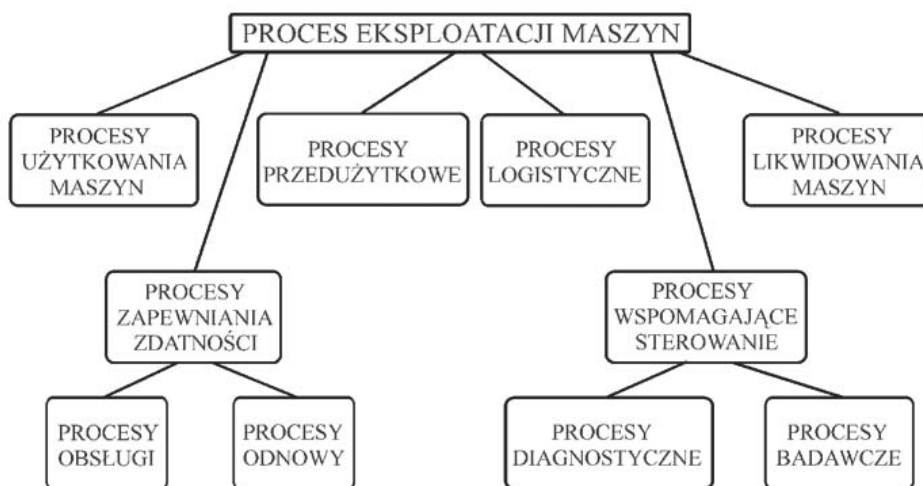
Szczególne znaczenie zbiorom cech maszyn, które są kształtowane na etapie projektowania i konstruowania decydujących o możliwościach racjonalnej ich eksploatacji, nadają sami eksploatacyjni. Jeden z podzbiorów cech wyznaczających stopień przystosowania maszyny do eksploatacji w ustalonych warunkach zdeterminowanych przez cechy systemu eksploatacji i warunki otoczenia nazywamy podatnością eksploatacyjną maszyn [20], [29], [66], [73].

Podatność eksploatacyjną wyznaczają:

- podatność użytkowa,
- podatność obsługowo naprawcza,
- podatność diagnostyczna.

Ogół procesów odnoszących się do maszyn w fazie ich eksploatacji **nazywamy procesem eksploatacji**. Fazą tą jest przedział czasu między chwilą tworzenia maszyny a realizacją decyzji o jej likwidacji. Zostały one dokładnie opisane w literaturze obejmującej podstawy eksploatacji maszyn. Proces eksploatacji składa się z następujących zbiorów procesów [5], [17], [37], [43], [64], [90], [125]:

- przygotowania maszyn do użytkowania,
- użytkowania maszyn,
- zapewniania zdolności,
- logistycznych,
- likwidowania maszyn,
- wspomagających sterowanie,
- oraz zbiór procesów:
- niesterowanych, tzw. destrukcyjnych, będących procesami tribologicznego zużywania się i starzenia elementów.



Rys. 2.1. Procesy sterowania eksploatacji maszyn. Źródło: Opracowanie własne

Do procesów sterowania eksploatacji maszyn zaliczają się:

I. Procesy przed użytkowe

W tej fazie maszyna oczekuje i jest przygotowywana do użytkowania. Następuje zmiana fazy wytwarzania na wstępną fazę eksploatacji. W tym czasie realizuje się transport maszyn do wyznaczonych miejsc składowania czy magazynów i ich przechowywania a następnie wdrażanie są do przeznaczonych celów.

Wszystkie czynności transportowe oraz przechowawcze należy wykonywać zgodnie z określonymi normami. Zaleca się okresowe badania dotyczące oceny:

- stanu przechowywanych maszyn, ich zespołów, elementów i opakowań,
- stanu pomieszczeń magazynowych lub innych miejsc składowania maszyn, lub ich elementów,

- intensywności oddziaływania czynników otoczenia na przechowywane maszyny powodujących zmiany ich stanów.

Prawidłowość realizacji procesów transportowania i przechowywania maszyn wywiera istotny wpływ na jakość eksploatacyjną w kolejnych etapach ich eksploatacji, dlatego wyniki tych badań są podstawą do odpowiedniego sterowania ww. procesami. Na czas, w którym maszyna przebywa w etapie przygotowania do użytkowania mają wpływ [95], [105], [124], [142]:

- lokalizacja miejsca zastosowania maszyn,
- przystosowanie maszyn do transportowania (podatność transportowa) oraz przystosowanie do instalowania (podatność instalacyjna),
- chłonność rynku i skuteczność reklamy,
- cechy otoczenia, w którym maszyny są transportowane i instalowane,
- prawidłowa organizacja i efektywność realizacji w czasie czynności transportowych i instalacyjnych.

II. Proces efektywnego użytkowania maszyn

Doskonalenie konstrukcji oraz nieodzowna potrzeba zapewnienia wysokiej jakości i niezawodności pracy nowoczesnych maszyn, wymaga ciągłego i efektywnego sterowania eksploatacją maszyn, jak również działaniami spowalniającymi procesy ich starzenia fizycznego. Terminologia normy EN ISO 9000:2000 definiuje efektywność jako miarę określającą relację między osiągniętymi wynikami a wykorzystanymi zasobami [3]. Z powyższego wynika, że pojęcie efektywności nie jest pojęciem uniwersalnym. Realizowane działania mogą być efektywne z jednego punktu widzenia i nieefektywne z drugiego. Biorąc jednak pod uwagę efektywność eksploatacji obiektów technicznych (środków trwałych) należy rozróżnić techniczną i ekonomiczną efektywność działania, która jest skutkiem eksploatacji tych obiektów. Główne cele badań efektywności obiektów związane są z [5], [27], [44], [59], [97], [126]:

- planowaniem użytkowania i obsługi obiektów technicznych,
- rozwojem technicznym obiektów,
- wyborem urządzeń i sposobu ich eksploatacji,
- odnową obiektów i wycofaniem ich z eksploatacji,
- tworzeniem zapasów urządzeń i sposobem ich przechowywania.

Podstawą do planowania realizacji zadań przez systemy jest prawidłowe wyznaczenie celu działania wraz z określeniem odbiorców i użytkowników działania, obejmujące dwie fazy: fazą planowania wstępnego i fazę planowania szczegółowego. Faza planowania wstępnego realizuje następujące czynności:

- wskazanie miejsca realizacji zadań (jednego lub większej liczby miejsc),
- określenie podstawowych założeń działania, a mianowicie jego przedmiotu, zakresu, formy, przewidywanego efektu,
- wstępne wyznaczenie (określenie) czasów rozpoczęcia i realizacji zadań,

- wyznaczenie albo określenie podsystemów realizujących założone cele systemu związane, między innymi, z określeniem głównego, odpowiedzialnego wykonawcy w przypadku pracy indywidualnej oraz zbioru wykonawców i ich kierownika dla pracy zespołowej.

Po zrealizowanych ww. czynnościach fazy planowania wstępnego następuje szczegółowe planowanie realizacji zadań systemu obejmujące:

- opracowanie programu działania określającego poszczególne etapy działania, ich efekty, czasy realizacji itp.
- ustalenie różnych możliwych wariantów działania systemu,
- wybór wariantu optymalnego, z uwagi na cel główny działania systemu i oddziaływanie czynników ograniczających oraz destrukcyjnych.

Takie planowanie podsystemów ma na celu optymalny dobór ludzi, maszyn do powierzonych im zadań dających prawidłowy jakościowo oraz ilościowo przepływ i przetwarzanie materiałów, energii, informacji. Istotnym kryterium w opisanych procesach doboru, projektowania i planowania jest kryterium ekonomiczne będące odzwierciedleniem nakładów, jakie mogą być poniesione na realizację zadań systemu. Podsystem procesowy realizuje działania w systemie eksploatacji przez maszyny i ich operatorów. Mając na uwadze sposób organizacji, działania podstawowe można podzielić na grupy:

a) ze względu na podmiotowość realizacji działań:

- działania indywidualne (jednopaństwowe),
- działania zbiorowe,

b) ze względu na powtarzalność działań:

- działania jednorazowe (niepowtarzalne),
- działania stałe (powtarzalne).

III. Procesy zapewniania zdolności maszyn

Zdolność maszyny jest warunkowana przez cechy jak i warunki zewnętrzne. Cechy przynależne do maszyny w określonym czasie tworzą między innymi stan tej maszyny. W przypadku obsługi konkretnego urządzenia, lub grupy urządzeń, w zależności od celu jej dokonywania rozróżnia się: obsługę jednokrotną i wielokrotną, obsługę techniczną i organizacyjną. Dział kompleksowego zapewnienia zdolności odpowiedzialny jest za następujące prace:

- prowadzi ewidencje wszystkich maszyn i urządzeń,
- sporządza plan wykonania napraw i kontroluje ich wykonanie,
- dba o całokształt stanu technicznego parku maszynowego,
- sporządza plan napraw, kontroluje ich wykonywanie,
- dokonuje odbiór stanu technicznego,
- prowadzi pełną ewidencję wszystkich maszyn,
- prowadzi nadzór nad eksploatacją maszyn.

W zakładach sporządzane są plany napraw. Plany te podają określone terminy przeglądów, napraw bieżących, remontów średnich i głównych. Przewidują

okresy pracy poszczególnych maszyn. W oparciu o ich dokumentację techniczno-ruchową, sporządzane są odpowiednie cykle napraw. Naprawy bieżące wykonuje się na stanowisku pracy maszyny, podobnie naprawy średnie (nie zawsze). Remont główny przeprowadza się w zakładach wyspecjalizowanych [32], [33], [61], [73], [80].

IV. Procesy obsługi maszyn

Możemy wyróżnić najistotniejsze kryteria obsługi maszyn:

- Ze względu na czas występowania:

a) obsługa w dniu użytkowania (OC)

- operatorzy maszyn wykonują czynności kontrolne w celu przygotowania maszyny do użytkowania, szczegółowo sprawdzają prawidłowość podzespołów;
- wykonanie czynności obsługowych na stanowisku pracy oraz przekazanie informacji o stanie maszyn odpowiednim decydom.

b) obsługi okresowe – przeprowadzone wg. producentów maszyn na podstawie norm [obsługi techniczne w zakresie podstawowym (OT1), obsługi sezonowe (OS1, OS2)].

- Podział ze względu na krotkość występowania:

a) obsługi jednokrotne – przed rozpoczęciem użytkowania maszyn i podczas ich likwidacji w końcowym etapie fazy ich eksploatacji. b) obsługi wielokrotne – wykonywane w fazie eksploatacji maszyn.

- Podział ze względu na cel obsługi:

- a) obsługi techniczne – mają na celu utrzymanie zdolności do pracy maszyn (obsługi gwarancyjne, techniczne, konserwacyjne)
- b) obsługi organizacyjne – wśród nich wyróżniamy procesy transportowania, przechowywania, przystosowania maszyn do realizacji zadań.

Rodzaje obsługi maszyn można pogrupować w zbiory, według przyjętych kryteriów kwalifikacji, co jest niezbędne przy projektowaniu oraz badaniu systemu obsługi, określonej grupy obiektów technicznych i urządzeń [66], [77], [81], [103], [110]. Przedstawia to tabela 2.1.

Tabela 2.1. Rodzaje obsługi urządzeń technicznych

Rodzaje obsługi		Proces obsługowy	Czynności
obsługi jednokrotne	obsługi techniczne	wprowadzenie do eksploatacji	ustawienie, przyłączenie, sprawdzenie, rozruch
		wycofanie z eksploatacji	odłączenie, usunięcie, demontaż, przekazanie
obsługi wielokrotne		konserwowanie (praca okresowa, obsługa techniczna)	kontrola stanu, ochrona zapewnienia współpracy elementów
	naprawa (bieżąca, średnia, główna)	demontaż, weryfikacja, wymiana	
	przygotowanie do użytkowania	kontrola stanu, oprzyrządowanie, zasilanie, przegląd przed użyciem	
	obsługi organizacyjne	transportowanie (przewożenie)	opakowanie, ładowanie, transport, wyładowanie
przechowywanie (magazynowanie, postój)		odbiór i przyjęcie, ulokowanie, zabezpieczenie, wydanie	

V. Procesy odnowy maszyn

Zasady racjonalnej odnowy maszyn opracowywane są przez ośrodki badawczo-rozwojowe, badawczo-projektowe, instytuty badawcze, biura projektów oraz personel eksploatacyjny. Podstawowe cele odnowy maszyn są następujące:

- zapewnianie odpowiedniego potencjału użytkowego maszyn do efektywnego realizowania celów działania systemu ich eksploatacji,
- efektywne wykorzystanie potencjału użytkowego, który maszyny posiadają.

Okres wymiany maszyny to chwila, z którą jest uruchamiana jest nowa [6], [75], [80], [86], [94], [100]. Wówczas kończy swoją pracę obiekt dotychczasowy, który charakteryzuje się następującymi danymi:

- wartością wymienną, jaką posiadał na początku okresu eksploatacji,
- kosztami i efektami eksploatacji w latach objętych tym rachunkiem,
- efektem końcowym, który wynika z jego zezłomowania.

Wymiana maszyn w systemie eksploatacji realizowana jest w celu:

- dokonania zmiany profilu produkcji,
- zastąpienia zużytych fizycznie maszyn, których naprawa i adaptacja do nowych warunków organizacyjno-technologicznych jest nieopłacalna,
- zastąpienia przestarzałych maszyn maszynami jakościowo lepszymi,
- zmiany zakresu produkcji np. z produkcji indywidualnej na produkcję seryjną, albo z seryjnej na masową,
- zastąpienia maszynami nowymi maszyn uszkodzonych w stopniu uniemożliwiającym ich naprawę i efektywne użytkowanie.

Do grupy procesów odnowy maszyn zaliczana jest również ich modernizacja. Modernizacją maszyn nazywane jest działanie lub zespół działań, których celem jest uzyskanie maszyn o cechach jakościowo lepszych. Cele modernizacji maszyn są następujące:

- zwiększenie wydajności produkcyjnej maszyn,
- poprawa jakości wyrobów i usług,
- obniżenie kosztów wytwarzania i usług,
- poprawa warunków i bezpieczeństwa pracy,
- unowocześnienie organizacji i technologii produkcji itd.

Po uwzględnieniu najczęściej występujących przyczyn i rodzajów uszkodzeń elementów maszyn na podstawie literatury [1], [2], [7], [8] dokonano następującej klasyfikacji napraw:

- naprawa bieżąca,
- naprawa średnia,
- naprawa główna,
- naprawa konserwacyjna,
- naprawa powypadkowa,
- naprawa poawaryjna.

Wymienione wyżej rodzaje napraw posiadają następujące cechy odróżniające:

- miejsce dokonywania naprawy,
- zakres, pracochłonność i koszt wykonywanych czynności naprawczych,
- sposób wykonywania prac demontażowo-montażowych,
- sposób usuwania skutków zużycia,
- częstota występowania.

VI. Procesy logistyczne maszyn

Procesy logistyczne są związane zarówno z przepływem materiałów, jak i informacji od dostawców czynników produkcji do ich użytkowników, a nawet dalej po utylizację odpadów. Do procesów logistycznych zaliczyć można:

- prognozowanie zaopatrzenia,
- dokonywanie zamówień,
- zaopatrzenie, magazynowanie i zarządzanie zapasami,
- zasilanie stanowisk pracy w materiały, surowce, podzespoły,
- pakowanie i konfekcjonowanie,
- transport,
- gospodarkę opakowaniami,
- gospodarkę odpadami produkcyjnymi,
- przepływ informacji,
- serwis,
- gromadzenie, przetwarzanie, analizowanie i przekazywanie informacji związanych z powyższymi czynnościami.

VII. Procesy likwidowania maszyn

Maszyny można zlikwidować poprzez ich całkowity lub częściowy demontaż oraz weryfikacja elementów i zespołów z przeznaczeniem do utylizacji lub na sprzedaż. Zbiór wszystkich elementów i zespołów maszyny zostaje podzielony na podzbiory elementów przeznaczonych do recyrkulacji (powtórne ich wykorzystania albo wykorzystania materiału, z którego elementy zostały wytworzone) i elementów przeznaczonych do złomowania oraz składowania lub przetwarzania jako odpady. Wykonywanie procesów likwidowania maszyn powinno być dozorowane albo kontrolowane, aby było wykonywane w sposób zgodny z zasadami bhp i ochrony środowiska naturalnego [15], [19], [71], [98].

VIII. Procesy diagnostyczne

Diagnostyka techniczna to dziedzina obejmująca całokształt zagadnień teoretycznych oraz praktycznych, dotyczących identyfikacji lub oceny aktualnych, przeszłych lub przyszłych stanów obiektu z uwzględnieniem otoczenia [9]. Obiektem badań diagnostyki technicznej może być zarówno cały obiekt, jak i jego zespół, podzespół czy pojedyncza część. Maszyny i urządzenia techniczne przechodzą w swym istnieniu trzy fazy lub etapy: konstruowanie, wytwarzanie, użytkowanie, czyli eksploatację. Decyzja o przejściu z jednej fazy do następnej wymaga obiektywnych metod i środków wartościowania jakości nowego wytworu lub jego stanu technicznego w etapie użytkowania. Zapewniają nam je procesy diagnostyczne [8]:

Monitorowanie, jest to proces systematycznego zbierania, raportowania i analizowania ilościowych jak również jakościowych informacji na temat

parametrów danej maszyny. Jeżeli w miarę upływu czasu można obserwować w sposób ciągły zmianę jakiegoś parametru to mamy do czynienia z monitorowaniem równoległym (ciągłym). Przykładem może być obserwacja wskazań czujnika temperatury płynu chłodzącego. Jeżeli natomiast kontrola wskazań lub stanu jakiegoś parametru (np. kontrola poziomu oleju w silniku) odbywa się w określonych odstępach czasu to mówimy o monitorowaniu sekwencyjnym.

Diagnozowanie, jest to proces mający na celu sprawdzenie stanu technicznego obiektu i podjęcie decyzji o naprawie. Stwierdzenie nieprawidłowości we właściwym czasie codziennej obsługi zapobiega zużyciu, koryguje i przywraca do normalnej pracy obiekt techniczny. Celem diagnostyki technicznej jest: badanie i ocena stanów, ustalenie przyczyn zaistniałych stanów, a także przewidywanie rozwoju zmian stanów przedmiotów diagnozowania.

Genezowanie, jest to proces mający na celu ustalenie tego, w jaki sposób zmieniały się stany podzespołów maszyny od pewnego określonego czasu do chwili obecnej. Genezowanie jest niezwykle ważne gdyż pozwala ono określić między innymi przyczynę wystąpienia awarii lub niedomagania maszyny. Dzięki temu można wcześniej zapobiegać ponownemu wystąpieniu tej samej usterki.

Prognozowanie, jest to proces określający stan maszyny w przyszłym jej funkcjonowaniu. Następuje analizowanie wielu czynników takich jak: stan maszyny w momencie stawiania prognozy, intensywność zachodzenia pewnych zjawisk powodujących zmianę stanu technicznego badanej maszyny, a także prawdopodobieństwo wystąpienia nieprzewidywalnych uszkodzeń.

W przypadku, gdy wymienione czynniki są nam dobrze znane i czas prognozowania nie jest zbyt odległy wówczas zwiększa się szansa, że prognoza się sprawdzi. W miarę, gdy czynniki prognozowania są coraz mniej znane, a czas prognozowania bardziej odległy to i prognoza staje się mniej ścisła [68], [70], [79] [94], [137].

IX. Procesy badawcze

Współczesne obiekty diagnozowania, jak maszyny, urządzenia, a także procesy bądź to realizowane przez te obiekty (jak procesy wytwórcze), bądź też związane z wytwarzaniem lub eksploatacją tych obiektów, stają się coraz bardziej złożone. Jednocześnie wzrastają wymagania dotyczące niezawodności, jakości, sprawności, wydajności i wielu innych cech rozpatrywanych obiektów. Dlatego nieustannie wzrasta rola badań technicznych, których zadaniem jest ocena stanu obiektu, który realizuje. Pociąga to za sobą konieczność jakościowego rozwoju metod badawczych obiektów i procesów. Badania takie mogą być realizowane w ustalonych warunkach eksploatacji maszyn, tzn. w procesach realizacji przez maszyny ich zadań lub w warunkach pozorowanych, tzn. z wykorzystaniem modeli materialnych lub modeli abstrakcyjnych. Modelami materialnymi mogą być obiekty rzeczywiste, a abstrakcyjnymi ich fizyczne odpowiedniki. Badania modeli materialnych maszyn mogą być realizowane w warunkach:

- laboratoryjnych,
- stanowiskowych,
- poligonowych.

Badanie modeli abstrakcyjnych przebiega w procesie analitycznymi lub symulacyjnymi. Rodzaj i forma badań wynikają z dwóch powszechnie stosowanych koncepcji dokonywania analizy stanu i przyczyn występowania uszkodzeń maszyn. Pierwsza wymieniona metoda obejmuje badanie czynników składających się na uszkodzenia, czyli na zmiany stanu maszyn oraz badaniu procesów fizykochemicznych. Druga metoda polega na badaniu statystycznych prawidłowości występowania uszkodzeń w jednorodnym zbiorze maszyn. W konsekwencji stosowania ww. metody badawczej możliwa jest tylko ocena ilościowa skutków oddziaływania różnych procesów i czynników na stan maszyn. Nie występuje wówczas identyfikacja przyczyn zmian ich stanu. Najkorzystniejszym sposobem realizacji procesów badawczych jest połączenie badań statystycznych realizowanych w rzeczywistych warunkach eksploatacji maszyn z analizą przyczyn zachodzących zmian. Założenie potwierdzające tą tezę wynika z tego, że ostatecznym celem badań powinno być nie tylko określenie stanu maszyn i przyczyn zmian tego stanu, lecz przede wszystkim określenie sposobu, w jaki dokonuje się jego zmiana [44], [47], [63].

Na podstawie tego można wywnioskować, że badania eksploatacyjne maszyn realizowane w naturalnych warunkach ich pracy łącznie z badaniami specjalistycznymi są najefektywniejszymi procesami badawczymi. Są one źródłem informacji statystycznych opisujących zmiany stanu maszyn oraz uszkodzenia ich elementów. Aby efektywnie wykonać proces badawczy należy dokonać następujących czynności:

- założyć cel i zakres badań,
- uwzględnić założenia i ograniczenia,
- zebrać informacje o stanie i uszkodzeniach badanych urządzeń,
- określić sposób realizacji i zakres badań specjalistycznych dla wybranego zbioru elementów i zespołów maszyn,
- przetworzyć informacje uzyskanych z badań eksploatacyjnych,
- wykonać badania specjalistyczne i przetworzyć dane,
- wnioskować oraz wykorzystać wyników badań do sterowania procesem eksploatacji maszyn.

Dokonując analizy poszczególnych etapów użytkowania i korzystania z maszyn można zauważyć jak niezmiernie istotna jest prawidłowa eksploatacja oraz diagnostyka obiektów mechanicznych. Wiadomym jest, iż w doborze urządzeń przez współczesne zakłady produkcyjne i firmy, kierują się one przede wszystkim kosztami oraz trwałością użytkowania danego podzespołu. Badania eksploatacyjno-diagnostyczne mają ogromne znaczenie dla bezpieczeństwa, ekonomiki i ergonomii pracy maszyn. Poszczególne etapy, jakie należy zrealizować w fazach istnienia maszyny, pokazują jak wiele czynników składa się

na jej optymalne możliwe do osiągnięcia działanie. Prawidłowe określenie procesu eksploatacji jest kluczowym zagadnieniem wpływającym na niezawodność urządzenia, nakłady finansowe a w głównej istocie na czas bezawaryjnego, bezpiecznego funkcjonowania [93], [122], [134], [148].

3. MODEL TRANSPORTOWY

Odpowiednio dobrany model transportowy jest kluczowym aspektem w użytkowaniu i eksploataowaniu obiektów technicznych. Dla pojazdów przewozowych zadanie transportowe jest szczególnym przypadkiem zadania programowania liniowego. Wchodzi ono często w zakres problemów rozdziału zasobów i w konsekwencji jest istotne dla działalności przedsiębiorstw kierujących kilkoma punktami odbiorczymi i posiadających więcej niż jeden punkt nadawczy. Najistotniejszą zaletą modeli zagadnień transportowych jest ich przydatność w planowaniu (wyborze) tras przewozów od punktu nadawczego do odbiorczego [28]. Wiele przedsiębiorstw uważa za konieczną co n okresów aktualizację decyzji o rozdziale towarów, szczególnie jeśli wielkość zamówień podlega znacznym wahaniom. Przeważnie jednak plan rozdziału określany jest z góry. Postać zadań transportowych pozwala na stosowanie specjalnych metod rozwiązania zadań optymalizacyjnych innych niż te, które są stosowane w programowaniu liniowym. W zadaniu transportowym dysponujemy:

- m – jednostkami pierwszego rodzaju (dostawcy),
- n – jednostkami drugiego rodzaju (odbiorcy).

Matematyczna postać problemu optymalizacyjnego dla zadania transportowego polega na wyznaczeniu wektora nieujemnego $X = \{x_{ij}\}$ minimalizującego funkcję celu, czyli:

$$\min_{\{x_{ij}\}} z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad (5)$$

spełniającego jeden z trzech rodzajów warunków ograniczających, zwanych warunkami wewnętrznej zgodności:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \end{array} \right.$$

dla $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$.

W takim zadaniu transportowym poszczególne wielkości oznaczają:

$X = \{x_{ij}\}$ – macierz przepływów lub strategię określającą wielkość masy towarowej przemieszczonej na drodze $\{i, j\}$,

$C = (c_{ij})$ – macierz odległości komunikacyjnych, lub wielkości ekonomiczno-taryfowych (kosztów),

$A = a(i)$ – wektor dostawy,

$B = b(j)$ – wektor odbioru.

Model transportowy opisany warunkami ograniczającymi nazywamy modelem transportowym niezbilansowanym. W modelu tym:

$$\sum_{i=1}^m a_i \neq \sum_{j=1}^n b_j \quad (7)$$

Model transportowy z warunkami nazywa się modelem zbilansowanym:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (8)$$

Warunek ten wyraża założoną równość między całkowitą podażą i całkowitym zapotrzebowaniem. Model z warunkami otwartymi można sprowadzić do modelu zbilansowanego przez wprowadzenie fikcyjnej dostawy lub odbioru.

Większość specjalnych metod rozwiązywania zadań transportowych jest stosowana do zadań opisanych modelem zbilansowanym. Można bowiem udowodnić, że model transportowy zbilansowany posiada zawsze co najmniej jedno rozwiązanie optymalne. Ponadto, w zadaniu zbilansowanym zbiór rozwiązań dopuszczalnych jest niepusty i ograniczony, z czego wynika, że zadanie transportowe posiada skończone rozwiązanie optymalne.

Mimo specyficznej postaci, zadanie transportowe jest zadaniem programowania liniowego, i szukanie rozwiązania optymalnego można ograniczyć do zbioru dopuszczalnych rozwiązań bazowych z tego zadania. Z ogólnych właściwości zadania programowania liniowego wynika, że rozwiązanie bazowe zadania transportowego składa się dokładnie z $m+n-1$ zmiennych bazowych. Tym samym, w rozwiązaniu optymalnym zadania transportowego istnieje najwyżej $m+n-1$ zmiennych niezerowych.

Ponadto, jeżeli wszystkie a_i i b_j w zadaniu transportowym zbilansowanym są liczbami całkowitymi, to każde rozwiązanie bazowe, także optymalne jest utworzone z liczb całkowitych [25], [29].

3.1. Zagadnienie rozwózkowe w eksploatacji pojazdów

W szerokiej problematyce dotyczącej eksploatacji obiektów technicznych a w tym przypadku pojazdów transportowych poczesne miejsce zajmuje wyznaczanie tras przejazdów. W niniejszym podrozdziale przedstawiono problematykę obsługi transportowej rynku, koncentrując uwagę na zagadnieniach rozwózki towarów do sieci handlowej. Rozwózka może być dokonywana albo z wielu baz, albo z jednej bazy. Przez bazę będziemy tutaj rozumieli nie bazę transportową, lecz miejsce skąd towary są rozwożone. Bazą w zagadnieniu rozwózkowym może być zatem zakład produkcyjny /piekarnia, zakład mięsny, zakład mleczarski, browar/, magazyn hurtowy, skład celny, duży ośrodek handlowy, a nawet firma świadcząca usługę rozwózki towarów bezpośrednio do domu klienta. Na pierwszy rzut oka mogłoby się wydawać, że przy rozwiązywaniu zagadnień rozwózkowych z wieloma bazami można wykorzystywać klasyczny model transportowy. Tak jednak nie jest. Klasyczny model transportowy nie odzwierciedla bowiem wielu istotnych elementów – takich jak czas pracy kierowców, terminy jednorazowych partii dostawy, posiadany tabor – określających specyfikę zagadnień rozwózkowych. Dlatego też procesy rozwózkowe, które występują w skali niewielkich regionów /np. na obszarze jednego województwa czy też kilku gmin/ lub w skali większych miast, wymagają innego podejścia metodologicznego. Ogólnie można powiedzieć, że do ich rozwiązywania służą metody programowania dyskretnego, programowania kombinatorycznego oraz procedury heurystyczne.

W odróżnieniu od klasycznego zagadnienia transportowego oraz różnych jego wariantów, gdzie mieliśmy do czynienia z przesyłkami całopojazdowymi, istotną cechą charakterystyczną dla zagadnienia rozwózki jest to, że samochód wyjeżdża z bazy załadowany i obsługuje pewną liczbę odbiorców detalicznych, zostawiając u każdego z nich zazwyczaj tylko część ładunku. Po całkowitym rozładunku pojazdu, w ostatnim punkcie odbioru, pojazd wraca najczęściej do tej samej bazy i po załadunku znów wyrusza na nową trasę.

Najbardziej istotnymi problemami decyzyjnymi w procesie rozwózki towarów są:

- optymalna rejonizacja zasięgu działania poszczególnych baz,
- optymalny podział wszystkich punktów obsługiwanych przez jedną bazę na grupy, z których każda może być obsługiwana przez samochód określonego typu, przy wykorzystaniu pełnej jego ładowności i w założonym z góry czasie,
- optymalna kolejność zaopatrywania poszczególnych punktów odbioru wchodzących w skład danej grupy obsługiwanej przez jeden pojazd – w ramach ustalonych rejonów obsługi dla każdej bazy.

Tak więc przy występowaniu wielu baz mamy do czynienia niejako z trzema etapami procesu optymalizacyjnego, przy czym z punktu widzenia teoretycznego najważniejsza byłaby jednoczesna ich optymalizacja, ponieważ są one wzajemnie uwarunkowane. Polegałoby to na wyodrębnieniu grup punktów

obsługiwanych przez każdą bazę, a następnie podgrup punktów obsługiwanych przez każdy pojazd w taki sposób, aby przy zapewnieniu optymalnej kolejności odwiedzania każdego punktu w podgrupie przez dany pojazd, suma kosztów przewozu /bądź łącznych kosztów produkcji i przewozu lub magazynowania i przewozu/ była jak najmniejsza.

Jednym z możliwych sformułowań wielobazowego zagadnienia rozwózkowego jako modelu obsługi transportowej sieci detalicznej jest kompleksowy model programowania dyskretnego zaprezentowany w pracach [17], [18], [137]. Model ten składa się z dwóch członów (1) i (2). W członie (1) funkcję kryterium stanowi suma kosztów transportu i produkcji lub magazynowania. W przypadku, kiedy bazami są zakłady produkcyjne uwzględnienie kosztów produkcji /nie tylko transportu/ wydaje się o tyle uzasadnione, że uzyskanie najmniejszego kosztu transportu może niekiedy prowadzić do nieuzasadnionego wzrostu produkcji zakładów wytwarzających po wysokich kosztach jednostkowych. Nieznaczne zmniejszenie kosztów transportu może wówczas doprowadzić do znacznego zwiększenia kosztów produkcji. Podobnie przedstawia się sprawa z kosztami magazynowania w przypadku, kiedy bazami są magazyny przedsiębiorstw przemysłowych lub handlowych.

W wyniku rozwiązania zadania opisanego za pomocą członu (1) – omówionego modelu możemy uzyskać odpowiedź na pytanie: jakie punkty odbioru należy przyporządkować poszczególnym bazom. Człon ten jest zatem submodelem rejonizacyjnym dla baz występujących w ogólnym modelu wielobazowym zadania rozwózkowego.

W członie (2), kiedy każda z baz ma już wyznaczony rejon obsługi należy:

- każdej bazie przydzielić odpowiednią liczbę środków transportowych niezbędną do wykonania zadań przewozowych w poszczególnych rejonach obsługi,
- dokonać najwłaściwszego podziału wszystkich odbiorców obsługiwanych przez daną bazę, z których każda może być obsłużona przez samochód określonego typu, przy wykorzystaniu pełnej jego ładowności i w założonym z góry czasie,
- ustalić optymalną kolejność obsługi poszczególnych punktów wchodzących w skład danej grupy.

W członie tym następuje wybór spośród tras dopuszczalnych takich tras, które z punktu widzenia łącznych kosztów obsługi transportowej są najtańsze. Oznacza to, że przyjęte kryterium minimalizacji kosztów jest nadrzędne w stosunku do innych kryteriów – np. minimalizacji liczby środków transportowych, jakie należy przydzielić do obsługi poszczególnych tras. Człon (2) daje odpowiedź na pytania: jakie punkty odbioru należy przypisać poszczególnym pojazdom oraz w jakiej kolejności punkty te będą obsługiwane. Człon ten jest zatem submodelem rejonizacyjnym dla pojazdów, a jednocześnie submodelem układania tras dostaw pozwalającym na wygenerowanie zbioru tras najtańszych¹.

¹ W języku programowania sieciowego i teorii grafów jest to zbiór najkrótszych cykli Hamiltona.

Omówione wyżej dwa człony kompleksowego modelu rozwożkowego zostały sprecyzowane dokładniej /w postaci sformalizowanej/ w pracach [18], [17]. W tym miejscu odnotujemy tylko, że oba opisane procesy reprezentowane przez człon (1) i (2) są współzależne. Z określonej rejonizacji punktów dla baz wynikają określone konsekwencje dla procesu rejonizacji punktów dla pojazdów. Stąd też nie wiadomo, czy np. pogorszenie rozwiązania członu (1) nie spowodowałoby uzyskania bardziej opłacalnego rozwiązania członu (2). Wydaje się, że ogólny model rozwożkowy nie ma istotnego praktycznego znaczenia, ponieważ jest nierozwiązywalny dla dużych zadań, np. w dużych aglomeracjach miejskich. Można natomiast zaznaczyć, że przy uwzględnieniu całościowej oceny pracy systemu transportowego rozwiązanie zadania rozwożkowego powinno obejmować również:

- organizację dostaw, uwzględniającą wymogi przedziału czasu pracy punktów odbioru, priorytety ich odwiedzania, limity czasu pracy przewoźnika, zasady pracy na rampie załadunkowej i wyładunkowej w bazie,
- maksymalizację satysfakcji w postaci sumy priorytetów uzyskanej przez odbiorców /dostawców/ za pomocą odpowiedniego doboru środków transportu,
- minimalizację kosztów stałych związanych z liczbą wykorzystywanych środków transportu w planowaniu tras,
- minimalizację kosztów zmiennych związanych z budową tras o najmniejszej całkowitej wartości.

Model hipotetyczny z kryterium funkcji celu obejmującej wszystkie powyższe przesłanki zaproponowane zostały w pracy [148].

Trudności numeryczne powodują więc, że zadanie rozwożkowe rozwiązuje się najczęściej za pomocą dwufazowych metod przybliżonych, ustalając:

- w pierwszej fazie – racjonalną rejonizację obsługi rozumianą jako przestrzenne przyporządkowanie określonych punktów odbioru poszczególnym bazom,
- w drugiej fazie – racjonalne trasy dla samochodów rozwożących towary w ramach określonych rejonów.

W pierwszej fazie po wyznaczeniu rejonów izolowanych dla każdej bazy zagadnienie rozwożki przekształca się automatycznie w zadanie z jedną bazą, w którym problem racjonalizacji przewozów polega na:

- dokonaniu najwłaściwszego podziału wszystkich punktów obsługiwanych przez bazę na grupy, z których każda może być obsłużona przez samochód określonego typu, przy wykorzystaniu pełnej jego ładowności i w założonym z góry czasie:
- ustaleniu optymalnej kolejności obsługi poszczególnych punktów wchodzących w skład danej grupy.

I tutaj z punktu widzenia teoretycznego, najwłaściwsza byłaby jednoczesna optymalizacja obu tych zadań, ponieważ są one wzajemnie uwarunkowane.

Polegałoby to na wyodrębnieniu grup punktów obsługiwanych przez bazę w taki sposób, aby przy zapewnieniu optymalnej kolejności odwiedzania każdego punktu w danej grupie przez pojazd suma kosztów przewozów była jak najmniejsza. W dostępnej literaturze nie jest dotychczas znana ścisła metoda rozwiązywania takiego problemu [120].

3.2. Zagadnienie komiwojażera

Z najbardziej rozpowszechnionych obecnie modeli odpowiadających specyfice zagadnień rozwożkowych z jedną bazą jest model komiwojażera [154], [155], [156].

Zagadnienie komiwojażera², zwane również zagadnieniem zamkniętego szlaku, można przedstawić następująco. Pewne przedsiębiorstwo zlokalizowane w mieście oznaczonym numerem **1** wysyła komiwojażera z poleceniem załatwienia spraw w miastach oznaczonych numerami **2,3,...,n** i powrotu do miasta **1**. Kolejność odwiedzin poszczególnych miast może być dowolna, a zatem trasy podróży komiwojażera mogą być różne. Problem polega tu na obliczeniu liczby przestawień, tj. permutacji **n** liczb. Łatwo wykazać, że jeżeli odległości lub koszty podróży c_{ij} między poszczególnymi miastami tworzą macierz niesymetryczną $C = [c_{ij}]$; $c_{ij} \neq c_{ji}$ dla każdego **i,j**, to liczba różnych szlaków wynosi $(n-1)!$. W przypadku macierzy symetrycznej $c_{ij} = c_{ji}$ dla każdego **i,j**, liczba różnych szlaków wynosi $\frac{(n-1)!}{2}$ [101], [122].

Zadanie polega na wybraniu ze wszystkich możliwych tras trasy najtańszej. Sformułujmy przedstawiony problem w sposób bardziej formalny. Dany jest zbiór n miast oraz nieujemna kwadratowa macierz odległości (kosztów) $C=[c_{ij}]$ stopnia n , gdzie c_{ij} określa odległość (koszt przejazdu) między miastem i a miastem j . Zagadnienie sprowadza się do znalezienia drogi zamkniętej $(i_1, i_2, \dots, i_n, i_1)$ dla której suma $c_{i_1 i_2} + c_{i_2 i_3} + \dots + c_{i_{n-1} i_n} + c_{i_n i_1}$ osiąga minimum [140], [130].

Droga zamknięta – dalej zwana *marszrutą* – składa się z n odcinków. Ponieważ dla każdego miasta wjeżdżamy i wyjeżdżamy jeden raz, nie może ona zawierać odcinków (i, i) . Przyjmijmy więc, że $c_{ii} = \infty$, $i = 1, \dots, n$. Wprowadzamy następujące zmienne decyzyjne:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{jeżeli marszruta zawiera odcinek (i,j),} \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku.} \end{cases}$$

² Nazwa pochodzi z literatury amerykańskiej /the travelling salesman problem/.

Przy wprowadzonych oznaczeniach problem komiwojażera można przedstawić w postaci następującego zadania; wyznaczyć takie x_{ij} oraz z_j , aby:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (9)$$

przy warunkach:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots \quad (10)$$

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

$$z_i - z_j + nx_{ij} \leq n-1, \quad i, j = 2, \dots, n, \quad i \neq j, \dots, z_i, z_j \in R \quad (11)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (12)$$

Funkcja celu (9) postuluje minimalizację długości (kosztu) marszruty. Warunki (10) określają, że z każdego miasta komiwojażer musi wyjechać jeden raz a warunki (11), że do każdego miasta musi wjechać jeden raz. Warunki (12) zapewniają, że ze zbioru n odcinków można utworzyć marszrutę przechodzącą przez n miast tj. że elementy zbioru $\{(i, j) / x_{ij}=1\}$ można ustawić w ciągu $(i_1, i_2), (i_2, i_3), (i_{n-1}, i_n), (i_n, i_1)$.

Innymi słowy warunki chronią przed pojawieniem się rozwiązania składającego się z marszruty nie przechodzącej przez wszystkie miasta. Analizowane zadanie bez warunku (12) jest zagadnieniem przydziału, będącym szczególnym przypadkiem zagadnienie transportowego. Niestety warunki zmieniają strukturę zadania, co sprawia, że metody rozwiązywania wymienionych zagadnień nie mogą być – nawet po modyfikacjach – zastosowane w tym przypadku. Zauważmy ponadto, że liczba warunków (12) jest bardzo duża.

Wymienione względy sprawiają, że chcąc uzyskać rozwiązanie zagadnienia komiwojażera (o dużych rozmiarach), należy rozwiązać zadanie programowania mieszanego, nie mające szczególnej struktury, a więc wykorzystując ogólnie znane, ale mało efektywne algorytmy programowania binarnego lub całkowito-liczbowego. Skłania to do rezygnacji z tych algorytmów na rzecz podejścia być może mniej pod względem matematycznym „eleganckiego”, ale bardziej efektywnego.

3.3. Wyznaczanie drogi optymalnej w sieciach transportowych

Jednym z najprostszych, choć bardzo ważnych, problemów związanych z eksploatacją pojazdów jest zagadnienie najkrótszej drogi. Zagadnienie najkrótszej drogi można opisać w następujący sposób [152], [153]: w sieci transportowej, której każdy łuk ma określoną długość, należy znaleźć najkrótszą drogę między dwoma dowolnymi węzłami. Długość drogi można wyrazić zarówno w jednostkach fizycznych, jak i za pomocą kosztów ponoszonych przez użytkowników systemu transportowego, czasu podróży itp. Oprócz tego przebieg najkrótszych dróg informuje o tym, z których połączeń korzysta się, gdzie dokonać inwestycji itd.

Długość drogi jest sumą długości wszystkich składających się na nią połączeń. Z formalnego punktu widzenia, można stosować następujący zapis:

d^{*ab} – długość najkrótszej drogi z a do b ;

d^{ab} – długość najkrótszej drogi z a do b , znalezionej w danym momencie obliczeń.

Najkrótszą drogę z a do b można określić w sposób rekurencyjny:

$$d^{*ab} = \min(d^{*ai} + d_{ij})$$

$$\text{oraz } d^{*aa} = 0$$

Najkrótsza droga określona jest przez łańcuch $a i_1 i_2 \dots i_n b$, w którym $i_1, i_2, \dots, i_n$ są rozwiązaniami zadania minimalizującego. Istnieje szereg możliwych sposobów postawienia problemu znajdowania najkrótszej drogi:

- znaleźć najkrótszą drogę z węzła a do węzła b ;
- znaleźć najkrótsze drogi z węzła a do wszystkich pozostałych węzłów;
- znaleźć najkrótsze drogi pomiędzy wszystkimi węzłami.

Oczywiście istnieje również zapis pośredni, na przykład zadanie znajdowania najkrótszych dróg pomiędzy wszystkimi punktami nadania i odbioru; możliwe jest również stosowanie n_N razy zadania znajdowania najkrótszych dróg z jednego węzła do wszystkich pozostałych, w celu otrzymania najkrótszej drogi pomiędzy wszystkimi węzłami, lub stosowanie algorytmu znajdowania najkrótszych dróg z jednego węzła do wszystkich pozostałych, w celu otrzymania jednej specjalnej drogi najkrótszej.

Oprócz zadania znajdowania najkrótszej drogi istnieje również zadanie znajdowania n -tej najkrótszej drogi oraz znajdowania najkrótszej drogi składającej się z nie więcej niż n połączeń. W niektórych algorytmach można również przyjmować dodatnie lub ujemne wartości określające długości połączeń (stosując licznik pętli), podczas gdy w innych można przyjmować jedynie wartości nieujemne. Z punktu widzenia optymalizacji sieci transportowych najbardziej interesujący jest problem poszukiwania najkrótszej drogi z węzła a do węzła b .

4. GENEZA PODJĘTYCH BADAŃ

Podsumowując dotychczasowe rozważania należy stanowczo stwierdzić, iż w przedmiotowej literaturze polskiej brak jest bezpośrednich badań łączących metodę doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdów z ich trwałością. Co prawda problem racjonalnej eksploatacji środków transportu jest poruszany na wielu płaszczyznach oraz istnieje wiele algorytmów prowadzących do rozwiązań optymalnych, tym nie mniej brak jest opracowań traktujących kompleksowo zagadnienia eksploatacji technicznej i zagadnienia organizacji marszrut (realizacji zadań) dla tych pojazdów. Dotychczas zaproponowane metody rozwiązania oparte są na oddzielnym badaniu eksploatacji technicznej środków transportu i określaniu marszrut przewozowych. Brak jest przy tym doboru optymalnych parametrów eksploatacyjnych pojazdów z wykorzystaniem zagadnienia odwrotnego.

Mając na uwadze powyższe, nie ulega wątpliwości, że omówione cechy eksploatacji transportu samochodowego mogą być bardziej racjonalne przy odpowiedniej organizacji pracy taboru, tj. przy optymalnym planowaniu ich prac przewozowych. Racjonalna eksploatacja pojazdów transportowych jest zatem niezbędna do tego, by transport samochodowy w dowolnej firmie przewozowej wykonał przewidzianą pracę przewozową przy optymalnej liczbie samochodów, z możliwie maksymalnym wykorzystaniem ich ładowności i w określonym czasie pracy kierowców. Niezbędnym zatem staje się nowe podejście do optymalizacji parametrów eksploatacyjnych pojazdów, bazujące na systemowej analizie interesującego nas obiektu badań. Opracowanie nowego algorytmu, który kompleksowo optymalizuje eksploatację pojazdów może przyczynić się do poprawy efektywności firm przewozowych.

Zaproponowany algorytm należy do heurystyk zachłannych i polega na bezpośredniej konstrukcji kursów dla poszczególnych pojazdów z uwzględnieniem ich ładowności. Jego fundamentem jest metoda, połączona z programowaniem dynamicznym oraz heurystyka.

Całość algorytmu opisanego w monografii składa się z dwóch podsystemów odpowiadających za różne formy obliczeń w zależności od narzuconych parametrów i warunków ograniczających. Pierwszy z nich jest odpowiedzialny za obliczanie optymalnej trasy uwzględniając dobór parametrów eksploatacyjnych. Drugi natomiast rozszerza algorytm o zagadnienie odwrotne, w którym możemy do toku obliczeń dodać stopień zużycia dowolnie definiowanych podzespołów pojazdu. Dopiero po tym jak określimy czy podzespoły te zużywają się bardziej w czasie czy po określonym przebiegu, algorytm będzie wyznaczał trasę szybszą lub krótszą. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu realnych danych o ograniczeniach na wszystkich odcinkach dróg, ich długościach oraz rozmieszczeniu topograficznym. W tym celu wykorzystano OpenStreetMap, z której algorytm pobiera dane. Opracowane algorytmy stanowią wielozadaniową hybrydę umożliwiającą realne

odwzorowanie tras przewozowych oraz badanie eksploatacji pojazdów z różnymi narzuconymi warunkami ograniczającymi.

Opierając się na przeprowadzonej ocenie stanu aktualnej wiedzy w obszarze objętym tematyką opisanych badań oraz w oparciu o sformułowane na tej podstawie wnioski, przedstawiono następujące założenia:

- opracowanie metody doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdu wpływających na zwiększenie jego trwałości.
- opracowanie metody racjonalizacji stanu eksploatacyjnego pojazdu, zwiększającą efektywność działalności gospodarczej firmy przewozowej.
- zwiększenie efektywności eksploatacji pojazdów we współczesnych firmach transportowych.

Uzasadnienie powyższych postulatów oraz wypływającego z nich celu badań wymaga udzielenia odpowiedzi na szereg pytań. Do najistotniejszych z nich, które zarazem wyznaczają zakres niniejszej monografii:

1. jakie zjawiska ograniczające poprawną eksploatację środków transportu?
2. jak należy interpretować kluczowe metody optymalizacji eksploatacji pojazdów oraz ich tras przewozowych?
3. jak należy zdefiniować model doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdu?
4. jak należy ukształtować algorytm doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdu wpływających na zwiększenie jego trwałości?
5. jak powinien być oprogramowany zaproponowany system eksploatacji pojazdów?
6. czy opracowane narzędzie badawcze gwarantuje osiągnięcie pożądanych efektów badań?

W obszarze prowadzonych badań nad doбором parametrów eksploatacyjnych pojazdów samochodowych założono:

- wykorzystanie optymalnej ładowności pojazdu, w tym możliwie pełne obciążenie pojazdu,
- optymalną eliminację pustych przebiegów,
- określenie optymalnego czasu przewozu ładunków i przebiegów,
- optymalny dobór tras przewozowych w aspekcie poprawy eksploatacji pojazdów, ich trwałości oraz gotowości do pracy,
- minimalizację okresów zbędnych postojów.

Zasada doboru parametrów eksploatacyjnych zakłada takie uwzględnienie cech szczególnych procesu eksploatacji oraz cech szczególnych budowy pojazdów (wpływających na ich ładowność), aby działania natury technicznej, planistycznej, organizacyjnej i ekonomicznej dawały jak największą ich gotowość/sprawność techniczną przy maksymalnie intensywnym i ekonomicznie opłacalnym użytkowaniu.

5. CHARAKTERYSTYKA MODELU I ALGORYTMU RACJONALIZACJI PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH POJAZDU

Do rozwiązania postawionego celu badawczego pracy w opisanej metodzie został opracowany model matematyczny a następnie model algorytmiczny systemu eksploatacji pojazdów. Model algorytmiczny został oprogramowany, tworząc symulator systemu eksploatacji pojazdów. Model algorytmiczny składa się z dwóch podsystemów, odpowiadających za różne formy obliczeń w zależności od narzuconych parametrów i warunków ograniczających. Pierwszy z nich jest odpowiedzialny za obliczanie optymalnej trasy uwzględniając dobór parametrów eksploatacyjnych. Drugi natomiast rozszerza algorytm o zagadnienie odwrotne, w którym możemy w toku obliczeń dodać stopień zużycia dowolnie definiowanych podzespołów pojazdu. W zależności od tego czy podzespoły zużywają się szybciej w funkcji czasu czy w funkcji przebiegu, algorytm będzie wyznaczał trasę szybszą lub krótszą.

Pierwszy algorytm należy do heurystyk zachłannych i polega na bezpośredniej konstrukcji kursów dla poszczególnych pojazdów z uwzględnieniem ich ładowności. Jego fundamentem jest metoda programowania dynamicznego, oparta na zasadzie Bellmana.

5.1. Model matematyczny doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdu

Zaprezentowany w niniejszej pracy model matematyczny należy do klasy modeli zasadnych predykacyjnie, umożliwiającących uzyskanie charakterystyk opisujących przyszłe działanie systemów rzeczywistych, stanowiących przedmiot niniejszych badań. O zasadności predykacyjnej opracowanego modelu świadczy ocena jego zdolności replikatywnej.

Ocenę zasadności replikatywnej uzyskano poprzez realizację, w dalszej części rozprawy, wielu prób i testów, mających na celu porównanie działania modelu ze znanym działaniem systemu rzeczywistego.

Model matematyczny przedstawia obiekt badań (sieć transportu samochodowego wraz z pojazdami), jej własności, cechy i wzajemne relacje pomiędzy nimi. Mogą one mieć wartości liczbowe, znakowe lub logiczne. Wszystkie dane modelu są umieszczone w zbiorach, a zbiory odnoszą się do specyficznych obszarów, opisanych w dalszej części tego podrozdziału.

5.1.1. Zbiór danych węzłów

Są to dane, które charakteryzują pojedynczy węzeł sieci transportowej, czyli jego współrzędne położenia, unikalny identyfikator (nazwa węzła), podaż, popyt na określony towar, oraz jeśli wymaga tego algorytm określenie statusu węzła jako bazowy lub nie bazowy.

W algorytmie może być zdefiniowanych kilka lub jeden węzeł bazowy, z których rozpoczyna się rozwożenie towaru. Zbiór wszystkich węzłów ma postać:

$$\mathbf{W}_1^{nw} = \{\mathbf{P}_x; \mathbf{P}_y; \mathbf{I}_d; \mathbf{P}_d; \mathbf{P}_p; \mathbf{B}\} \quad (13)$$

gdzie: $\mathbf{W}_1^{nw}$ – zbiór wszystkich węzłów w ilości określonej dla $nw \in \mathbf{C}^+$,

$\mathbf{P}_x$ – pozycja x w układzie współrzędnych, $\mathbf{P}_x \in \mathbf{C}^+$,

$\mathbf{P}_y$ – pozycja y w układzie współrzędnych, $\mathbf{P}_y \in \mathbf{C}^+$,

$\mathbf{I}_d$ – unikalna nazwa węzła – wartość znakowa,

$\mathbf{P}_d$ – podaż ładunkowa węzła, $\mathbf{P}_d \in \mathbf{R}^+$,

$\mathbf{P}_p$ – popyt ładunkowy węzła, $\mathbf{P}_p \in \mathbf{R}^+$,

$\mathbf{B}$ – status węzła jako bazowego określa wartość logiczna 1 lub 0.

5.1.2. Zbiór danych łuków łączących pojedyncze węzły

Łuk to połączenie sąsiadujących dwóch węzłów pomiędzy, którymi istnieje możliwość wykonania przewozu ładunku.

Łuki należy wyznaczać wykorzystując węzły ze zbioru $\mathbf{W}$. Pojedynczy węzeł jest sparametryzowany następującymi danymi: nazwami węzłów sąsiadujących, długością drogi pomiędzy tymi węzłami oraz czasem przejazdu środka transportowego po tej drodze.

Zbiór łuków pomiędzy dwoma sąsiednimi węzłami ma postać:

$$\mathbf{L}_1^{nL} = \{\mathbf{I}_{d1}; \mathbf{I}_{d2}; \mathbf{S}; \mathbf{T}\} \quad (14)$$

gdzie: nL – całkowita ilość łuków,

$\mathbf{I}_{d1}$ – nazwa pierwszego sąsiedniego węzła,

$\mathbf{I}_{d2}$ – nazwa drugiego sąsiedniego węzła,

$\mathbf{S}$ – długość [km] drogi pomiędzy dwoma węzłami,

$\mathbf{T}$ – czas [min] przejazdu środka transportowego po tej drodze.

5.1.3. Zbiór danych środków transportu

W każdej funkcjonującej sieci transportowej uczestniczą środki transportu **ST**, które można scharakteryzować określonymi parametrami. Najistotniejsze parametry, mające szczególne znaczenie dla rozpatrywanego algorytmu, są opisane następująco:

$$\mathbf{ST}_1^{nST} = \{\mathbf{I}_d; \mathbf{I}_{dWST}; \mathbf{T}_{dop}; \mathbf{T}_{przew}; \mathbf{S}_{bież}; \mathbf{S}_{sum}; \mathbf{P}_{sred}; \mathbf{C}_{pal}; \mathbf{C}_{eksp}; \mathbf{K}_{zp}; \mathbf{K}_{eksp}; \mathbf{D}\} \quad (15)$$

gdzie: **nST** – całkowita ilość zbiorów opisujących dane środków transportu,

I_d – identyfikator **ST** posiadający unikalną nazwę znakową,

I_{dWST} – miejsce jego przebywania, którym jest miejsce w zbiorze **W**,

T_{dop} – dopuszczalna ładowność **ST** podana w [kg],

T_{przew} – ilość przewożonego ładunku w danym kursie [kg],

S_{bież} – ilość przejechanych kilometrów w danym kursie [km],

S_{sum} – sumaryczna ilość przejechanych kilometrów we wszystkich kursach, w których **ST** brał udział [km],

P_{sred} – średnie spalanie paliwa [L/100km],

C_{pal} – cena paliwa [zł/L],

C_{eksp} – koszt eksploatacji pojazdu [zł/km],

K_{zp} – sumaryczny koszt zużycia paliwa [zł],

K_{eksp} – sumaryczny koszt eksploatacji **ST** [zł],

D – data przebywania **ST** w danym węźle w formie odpowiadającej językowi programowania

Z reguły przy definiowaniu nowego środka transportu parametry takie jak: **T_{przew}**, **S_{bież}**, **S_{sum}**, **K_{zp}** będą miały wartości początkowe równe zero. Parametry te są przeliczane i aktualizowane w każdym kroku algorytmu. Mogą one również być zdefiniowane początkowymi wartościami większymi od zera, np. przypisanie aktualnego przebytego przebiegu dla pojazdu. Nie ma to wpływu w żaden sposób na poprawne funkcjonowanie algorytmu.

5.1.4. Zbiór danych węzłów nadawczych, odbiorczych i bazowych

Zbiór ten opisany jest następująco:

$$\mathbf{W}_{\text{NOB}} = \left\{ \mathbf{W}_{\text{NAD}}^{\text{nn}}; \mathbf{W}_{\text{ODB}}^{\text{no}}; \mathbf{W}_{\text{BAZ}}^1 \right\} \quad (16)$$

gdzie: $\mathbf{W}_{\text{NOB}}$ – jest głównym zbiorem podzbiorów $\mathbf{W}_{\text{NAD}}^{\text{nn}}; \mathbf{W}_{\text{ODB}}^{\text{no}}; \mathbf{W}_{\text{BAZ}}^1$,

$\mathbf{W}_{\text{NAD}}^{\text{nn}}$ – jest podzbiorem nazw wyznaczonych węzłów nadawczych w ilości „nn”,

$\mathbf{W}_{\text{NAD}}^{\text{nn}} = \{\mathbf{I}_{\text{dw}}\}$, $\mathbf{I}_{\text{dw}}$ – znakowy identyfikator węzła zdefiniowanego, jako nadawczy i wyznaczony ze zbioru głównego węzłów $\mathbf{W}$,

$\mathbf{W}_{\text{ODB}}^{\text{no}}$ – jest podzbiorem nazw wyznaczonych węzłów odbiorczych w ilości „no”,

$\mathbf{W}_{\text{ODB}}^{\text{no}} = \{\mathbf{I}_{\text{dw}}\}$, $\mathbf{I}_{\text{dw}}$ – znakowy identyfikator węzła zdefiniowanego, jako odbiorczy i wyznaczony ze zbioru głównego węzłów $\mathbf{W}$,

$\mathbf{W}_{\text{BAZ}}^1 = \{\mathbf{I}_{\text{dw}}\}$ – jest podzbiorem jednej nazwy wyznaczonego węzła bazowego w ilości 1,

$\mathbf{I}_{\text{dw}}$ – znakowy identyfikator węzła zdefiniowanego, jako bazowy i wyznaczony ze zbioru głównego węzłów $\mathbf{W}$.

Wszystkie w/w zbiory zawierają podstawowe, niezbędne dane do funkcjonowania algorytmu i muszą być ustalone przed rozpoczęciem wykonywania obliczeń przez program. Tworzone są one i wyznaczane w procesie realizacji obliczeń wielowymiarowych.

W pierwszej kolejności obliczeń algorytm przystępuje do wyznaczania optymalnych tras przewozowych z węzłów nadawczych do odbiorczych zdefiniowanych w postaci zbioru $\mathbf{W}_{\text{NOB}}$. Ilość wyznaczonych tras optymalnych jest zależna od ilości kombinacji pomiędzy węzłami nadawczymi i odbiorczymi.

5.1.5. Zbiór optymalnych tras przewozowych

Zbiór ten zawiera podzbiory nazw węzłów (zdefiniowanych w zbiorze głównym $\mathbf{W}$), tworzących możliwie najbardziej optymalne połączenie węzła nadawczego $\mathbf{W}_{\text{NAD}}$ z węzłem odbiorczym $\mathbf{W}_{\text{ODB}}$ oraz tzw. współczynnik „atrakcyjności” dla danej trasy, długość [km] i czas [min] jej przejazdu.

$$\mathbf{T}_{\text{Opt}}^{\text{nt}} = \left\{ \mathbf{I}_{\text{dw}}^{\text{nw}}; \mathbf{A}_{\text{w}}; \mathbf{S}_{\text{T}}; \mathbf{T}_{\text{T}} \right\} \quad (17)$$

gdzie: $\mathbf{T}_{\text{Opt}}^{\text{nt}}$ – zbiór wyznaczonych parametrów tras optymalnych w ilości

określonej przez nt ,

$\mathbf{I}_{\text{dw}}^{\text{nw}}$ – podzbiór nazw węzłów tworzących możliwe i najbardziej optymalne połączenie węzła nadawczego $\mathbf{W}_{\text{NAD}}$ z węzłem odbiorczym $\mathbf{W}_{\text{ODB}}$, $\mathbf{I}_{\text{dw}}^{\text{nw}} = \{\mathbf{I}_{\text{d}}\}$ dla $\mathbf{I}_{\text{d}} \in \mathbf{W}$,

$\mathbf{A}_{\text{w}}$ – współczynnik „atrakcyjności” (racjonalności) danej trasy. Trasa jest bardziej racjonalna dla możliwie najmniejszej wartości tego współczynnika;

$\mathbf{S}_{\text{T}}$ i $\mathbf{T}_{\text{T}}$ – długości danej trasy i czas przejazdu zawarte pomiędzy węzłami nadawczymi i odbiorczymi.

Współczynnik atrakcyjności danej trasy $\mathbf{A}_{\text{w}}$ to stosunek sumy długości tras od węzła nadawczego $\mathbf{W}_{\text{NAD}}$ do węzła odbiorczego $\mathbf{W}_{\text{ODB}}$ do sumy długości tras powrotnych z węzła $\mathbf{W}_{\text{ODB}}$ do węzła bazowego $\mathbf{W}_{\text{BAZ}}$. Obliczając ten współczynnik $\mathbf{A}_{\text{w}}$, w sumie długości tras węzła nadawczego $\mathbf{W}_{\text{NAD}}$ pomijamy rozpatrywany w danej operacji węzeł nadawczy.

Współczynnik atrakcyjności trasy wyrażony jest następującą zależnością:

$$\mathbf{A}_{\text{w}(\text{n})} = \frac{\sum_{\text{nn}}^{\text{nn}} \sum_{\text{nL}}^{\text{nL}} \min(\text{L.S})|_{\mathbf{W}_{\text{NAD}}}^{\mathbf{W}_{\text{ODB}}}}{\sum_{\text{no}}^{\text{no}} \sum_{\text{nL}}^{\text{nL}} \min(\text{L.S})|_{\mathbf{W}_{\text{ODB}}}^{\mathbf{W}_{\text{BAZ}}}}; \text{gdzie: } \mathbf{P}_{\text{x}\mathbf{W}_{\text{NAD}}} \rightarrow \mathbf{P}_{\text{x}\mathbf{W}_{\text{ODB}}}, \mathbf{P}_{\text{y}\mathbf{W}_{\text{NAD}}} \rightarrow \mathbf{P}_{\text{y}\mathbf{W}_{\text{ODB}}} \quad (45)$$

gdzie: (n) – numer węzła nadawczego,

$$\sum_1^{nL} \min(L \cdot S) \Big|_{W_{NAD}}^{W_{ODB}} - \text{suma możliwie minimalnych długości tras } S \text{ od węzła}$$

nadawczego W_{NAD} do węzła odbiorczego W_{ODB} . Proces obliczeń odbywa się w oparciu o zbiór L łuków,

$$\sum_1^{nL} \min(L \cdot S) \Big|_{W_{ODB}}^{W_{BAZ}} - \text{suma możliwie minimalnych długości tras } S \text{ od}$$

wszystkich węzłów odbiorczych W_{ODB} do wyznaczonego węzła bazowego W_{BAZ} . Proces obliczeń odbywa się w oparciu o zbiór L łuków,

$P_{xW_{NAD}}$ – współrzędne x węzła nadawczego W_{NAD} ,

$P_{xW_{ODB}}$ – współrzędne x węzła odbiorczego W_{ODB} ,

$P_{xW_{BAZ}}$ – współrzędne x węzła bazowego W_{BAZ} ,

$P_{yW_{NAD}}$ – współrzędne y węzła nadawczego W_{NAD} ,

$P_{yW_{ODB}}$ – współrzędne y węzła odbiorczego W_{ODB} ,

$P_{yW_{BAZ}}$ – współrzędne y węzła bazowego W_{BAZ} .

Istotą wyznaczania współczynnika „atrakcyjności” dla danego węzła nadawczego jest to, że podczas analizy należy pominąć aktualnie rozpatrywany węzeł nadawczy, biorąc wszystkie inne pozostałe w toku obliczeń węzły, według zamieszczonego wzoru. Po oszacowaniu najmniejszego współczynnika „atrakcyjności” możemy dzięki niemu określić wcześniej opisaną racjonalną trasę przewozową T_{Opt} środka transportu.

Wyznaczanie podzbioru I_{dw} zawierającego węzły tworzące racjonalne pod względem długości trasy przewozowe I_{Opt} odbywa się etapami, zaczynając od węzła nadawczego W_{NAD} a kończąc na węźle odbiorczym W_{ODB} .

Przeszukiwanie wszystkich sąsiadujących węzłów odbywa się przy wykorzystaniu zbioru łuków L oraz geometrii trójkąta prostokątnego (zasada zależności długości boków przyprostokątnych). Według tej zasady zawsze pomiędzy dwoma węzłami można wpisać dwa trójkąty prostokątne, których styczną jest wspólna dla nich przeciwprostokątna. Mając współrzędne wszystkich węzłów możemy obliczyć długości przyprostokątnych trójkątów a następnie wyznaczyć długość przeciwprostokątnej. Sumując wszystkie przeciwprostokątne zawierające się w drodze węzłów od nadawczego W_{NAD} aż do końcowego węzła odbiorczego W_{ODB} , otrzymujemy długość ewentualnej jednej z tras. Porównując otrzymane wyniki z długościami tras sąsiednich węzłów możemy wyznaczyć z nich najkrótszą drogę przewozu ładunku. Dla wykluczenia zbędnych obliczeń algorytm będzie analizował te węzły pośrednie, których współrzędne P_x i P_y będą znajdowały się najbliżej tzw. „wektora optymalnego trasy” poprowadzonego od węzła nadawczego W_{NAD} do węzła odbiorczego W_{ODB} . Węzłem pośrednim

nazywamy węzeł, który jest wierzchołkiem trójkąta, utworzonym przez obie przyprostokątne. Obliczamy go ze wzoru:

$$\mathbf{I}_{dw(p)} = \mathbf{W}_p \in \mathbf{S} \left| \begin{matrix} \mathbf{W}_{stop} \\ \mathbf{W}_p \\ \mathbf{W}_{start} \end{matrix} \right. = \sqrt{\mathbf{A}_1^2 \left| \begin{matrix} \mathbf{W}_p \\ \mathbf{W}_{start} \end{matrix} \right. + \mathbf{B}_1^2 \left| \begin{matrix} \mathbf{W}_p \\ \mathbf{W}_{start} \end{matrix} \right.} + \sqrt{\mathbf{A}_2^2 \left| \begin{matrix} \mathbf{W}_{stop} \\ \mathbf{W}_p \end{matrix} \right. + \mathbf{B}_2^2 \left| \begin{matrix} \mathbf{W}_{stop} \\ \mathbf{W}_p \end{matrix} \right.} \rightarrow \min (18)$$

gdzie: $\mathbf{I}_{dw(p)}$ – podzbiór nazw węzłów pośrednich,

$\mathbf{W}_p$ – rozpatrywany węzeł pośredni,

$\mathbf{S} \left| \begin{matrix} \mathbf{W}_{stop} \\ \mathbf{W}_p \\ \mathbf{W}_{start} \end{matrix} \right.$ – droga z węzła startowego przez pośredni do końcowego,

$\mathbf{A}_1^2 \left| \begin{matrix} \mathbf{W}_p \\ \mathbf{W}_{start} \end{matrix} \right.$ – kwadrat długości pierwszej przyprostokątnej pierwszego trójkąta opisanej współrzędnymi węzłów pomiędzy $\mathbf{W}_{start}$ oraz $\mathbf{W}_p$,

$\mathbf{B}_1^2 \left| \begin{matrix} \mathbf{W}_p \\ \mathbf{W}_{start} \end{matrix} \right.$ – kwadrat długości drugiej przyprostokątnej pierwszego trójkąta opisanej współrzędnymi węzłów pomiędzy $\mathbf{W}_{start}$ oraz $\mathbf{W}_p$,

$\mathbf{A}_2^2 \left| \begin{matrix} \mathbf{W}_{stop} \\ \mathbf{W}_p \end{matrix} \right.$ – kwadrat długości pierwszej przyprostokątnej drugiego trójkąta opisanej współrzędnymi węzłów pomiędzy $\mathbf{W}_p$ oraz $\mathbf{W}_{stop}$,

$\mathbf{B}_2^2 \left| \begin{matrix} \mathbf{W}_{stop} \\ \mathbf{W}_p \end{matrix} \right.$ – kwadrat długości drugiej przyprostokątnej drugiego trójkąta opisanej współrzędnymi węzłów pomiędzy $\mathbf{W}_p$ oraz $\mathbf{W}_{stop}$.

Powyższy wzór stosujemy do chwili, gdy kolejno wyznaczany węzeł pośredni uzyska połączenie z węzłem odbiorczym dla przygotowawczego zarysu tras. Należy przy tym zaznaczyć, iż jest on jedynie wstępną weryfikacją poprawności wyszukiwanych tras, które w opracowanym algorytmie są porównywane z danymi rzeczywistymi, znajdującymi się w aplikacji zawierającej wszystkie informacje – OpenStreetMap.

5.1.6. Zbiór wyznaczonych marszrut

Algorytm mając wprowadzone wszystkie podstawowe dane oraz wyznaczone optymalne trasy przewozowe przystępuje do wyznaczania marszrut. Zbiór marszrut w ilości określonej przez $\mathbf{nm}$ opisuje następujący wzór:

$$\mathbf{M}_1^{\mathbf{nm}} = \left\{ \mathbf{N}_{st}; \mathbf{I}_{dw}^{\mathbf{nw}}; \mathbf{N}_t; \mathbf{I}_{db}^{\mathbf{nw}}; \mathbf{S}_c; \mathbf{S}_{ob}; \mathbf{S}_{pow}; \mathbf{D}_r; \mathbf{D}_z; \mathbf{T}_b \right\} \quad (19)$$

gdzie: N_{st} – numer środka transportu **ST** biorącego udział w danej marszrucie,

I_{dw}^{nw} – podzbiór nazw węzłów tworzących najkrótszą drogę do przebycia

przez **ST** z węzła, w którym przebywa do węzła nadawczego,

N_t – numer trasy optymalnej T_{opt} , w której następuje przewóz towaru z węzła nadawczego W_{NAD} do odbiorczego W_{ODB} ,

I_{db}^{nw} – podzbiór nazw węzłów tworzących najkrótszą drogę do przebycia

przez **ST** z węzła odbiorczego W_{ODB} do węzła bazowego W_{BAZ} ,

S_c – długość całkowitej drogi przebytej przez **ST** w bieżącym kursie od węzła, w którym przebywa do węzła nadawczego W_{NAD} i w końcowym etapie do węzła odbiorczego W_{ODB} ,

S_{ob} – długość całkowitej drogi z węzła odbiorczego W_{ODB} do węzła bazowego W_{BAZ} ,

S_{pow} – długość całkowitej drogi wszystkich pozostałych, nierozpatrywanych w bieżącym kursie środków transportu **ST**, z węzła w którym aktualnie przebywają do węzła bazowego W_{BAZ} ,

D_r – data i czas, w których **ST** rozpoczął kurs,

D_z – data i czas, w których **ST** zakończył kurs,

T_b – ilość w kilogramach masy towarowej, którą przewiózł **ST** w bieżącym kursie.

5.2. Model algorytmiczny racjonalizacji parametrów eksploatacyjnych pojazdu

Model algorytmiczny jest formą przejściową pomiędzy modelem matematycznym doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdu a programem komputerowym i stanowi strukturalny przepis wykonania poszczególnych operacji.

5.2.1. Podsystem wyznaczania tras optymalnych

Model algorytmiczny (algorytm) wyznaczania marszrut optymalnych obejmuje cztery etapy.

Etap pierwszy zawiera wprowadzenie danych do algorytmu takich jak: parametry węzłów, łuków, środków transportu oraz węzłów nadawczych, odbiorczych i bazowych.

Etap drugi jest etapem pomocniczy i służy do wyznaczenia najkrótszych tras pomiędzy węzłami nadawczymi i odbiorczymi oraz ich parametrów określających długość danej trasy, czas przejazdu po danej trasie, a także określeniu współczynnika „atrakcyjności” dla danej trasy. W etapie tym, dla każdego węzła nadawczego W_{NAD} zdefiniowanego w zbiorze W_{NOB} , algorytm wyznacza najkrótszą trasę S_{min} do węzła odbiorczego W_{ODB} zgodnie ze wzorem:

$$S \begin{matrix} W_{stop} \\ W_p \\ W_{start} \end{matrix} \rightarrow \min \quad (20)$$

Przy tym uwzględniane są tylko te węzły pośrednie trasy, które łącząc się wzajemnie z węzłami nadawczymi W_{NAD} i odbiorczymi W_{ODB} tworzą łuki tras pomiędzy nimi, dając w efekcie najkrótszą drogę S_{min} . Następnie wyznaczany jest współczynnik „atrakcyjności” A_w . Długość danej trasy T_{Opt} oraz czas przejazdu obliczany jest na podstawie zbioru L poprzez porównanie łuków z tego zbioru z łukami T_{Opt} i zsumowaniu ich czasów. Etap trzeci jest głównym etapem wyznaczania marszrut przewozowych, analiza przeprowadzana jest w oparciu o zgromadzone dane w etapie pierwszym i drugim. W etapie tym pojawia się nowy parametr w postaci daty ograniczającej wykonywanie przewozów, odbywa się również ocena wszystkich parametrów eksploatacyjnych środków transportu.

Etap trzeci działania algorytmu systematycznie analizuje zachowanie się każdego środka transportu ST , którego potencjalny ruch w bieżącym kroku jest wyznaczany ze wzoru:

$$\begin{matrix} nm \\ M_1 \end{matrix} = \min_1^{nST} WKO \left[\sum \left(S_{min1} \begin{matrix} W_{NOB} \cdot W_{NAD}^{nw} \\ nwp \\ W_{p1} \\ 1 \\ nST \\ ST.I_{dWST} \end{matrix} ; S_{min2} \begin{matrix} W_{NOB} \cdot W_{ODB}^{no} \\ nwp \\ W_{p1} \\ 1 \\ W_{NOB} \cdot W_{NAD}^{nn} \end{matrix} ; \sum_1^{nST \neq nST_{bez}} S_{min3} \begin{matrix} W_{NOB} \cdot W_{BAZ}^1 \\ nwp \\ W_p \\ 1 \\ nST \\ ST.I_{dWST} \end{matrix} \right) \cdot A_w \right] \quad (21)$$

Powyższy zapis należy interpretować następująco: kolejną marszrutę $\begin{matrix} nm \\ M_1 \end{matrix}$ możemy wyznaczyć poprzez wyszukanie minimalnej wartości WKO (wynik końcowy

optymalny) w danym kroku w zbiorze t_{WKO}^{nST} . Zbiór ten jest zbiorem tymcza-

sowych wyników końcowych, wyliczonych dla każdego **ST** przebywającego w sieci. Algorytm oblicza wszystkie możliwe tymczasowe wyniki końcowe, optymalne, a następnie wybiera najmniejszy, przypisując mu marszrutę **M**. Następnie do tej marszruty algorytm przypisuje wszystkie parametry, charakteryzujące przebieg danej trasy optymalnej. W kolejnym kroku na podstawie wartości określających długości łuków dla bieżącego **ST**, algorytm przystępuje do przeliczenia parametrów eksploatacyjnych i zadaniowych pojazdów. Oznacza to wyliczenie aktualnej podaży oraz popytu w węzłach nadawczych i odbiorczych, oszacowanie sumarycznej trasy przebytej przez pojazd **ST** oraz skalkulowanie kosztów zużycia paliwa z końcowymi kosztami eksploatacji środków transportu. Przechodząc dalej, algorytm ustala aktualną pozycję i czas **ST** w węźle. Po wykonaniu wszystkich w/w czynności algorytm sprawdza aktualną sytuację podaży-popytową w węzłach nadawczych i odbiorczych. Jeżeli suma podaży i popytu we wszystkich tych węzłach jest nadal większa od zera, wówczas algorytm przystępuje do wyznaczania kolejnej marszruty optymalnej. W ten sposób cały cykl analityczny powtarza się do momentu gdy sytuacja w węzłach nadawczych i odbiorczych nie zmieni się do stanu, gdy podaż i/lub popyt będą równe zeru. W takiej sytuacji algorytm kończy eksperyment obliczeniowy, w rezultacie powstają nowe zbiory danych, które są wykorzystywane w etapie końcowym, do wyprowadzenia rezultatów liczbowych.

W etapie czwartym są przedstawiane wszystkie wyniki opisujące długości i czasy tras optymalnych, ilości wykorzystanych środków transportu, czasy ich przewozu, koszty eksploatacyjne pojazdów, koszty zużycia paliwa itp. Dla zobrazowania zasady działania algorytmu, na rysunku 4.1 przedstawiono jego schemat, opisujący kolejne etapy wykonywanych obliczeń.

5.2.2. Podsystem wyznaczania stopnia zużycia pojazdów

Drugi podsystem algorytmu racjonalizacji doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdu wykorzystuje w znacznym stopniu heurystykę. Dla lepszego zobrazowania zasady jego działania i oddzielenia go od podsystemu pierwszego zostały nadane mu inne oznaczenia.

Obliczenia rozpoczynają się od zdefiniowania następujących zbiorów:

- zbiór zadań przewozowych $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$, gdzie $n \in \mathbb{N}$,
gdzie dla każdego zadania T_i jest określone:
 - $T_{ips_{xy}}$ – punkt początkowy (punkt odbioru ładunku), gdzie x i y to, odpowiednio długość i szerokość geograficzna,
 - $T_{ipd_{xy}}$ – punkt docelowy (punkt zdania ładunku), gdzie x i y to odpowiednio długość i szerokość geograficzna,
 - T_{il} (kg) – ładunek do przewiezienia w danym zadaniu (podawany w kg).
- zbiór pojazdów $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$, gdzie $n \in \mathbb{N}$,
gdzie dla każdego pojazdu V_i jest określone:
 - V_{ipxy} – aktualna lokalizacja pojazdu, gdzie x i y to odpowiednio długość i szerokość geograficzna,
 - V_{ic} (kg) – ładowność pojazdu (podawana w kilogramach),
 - V_{iv} (km/h) – prędkość techniczna pojazdu (maksymalna prędkość jazdy, podawana w km/h),
 - V_{is} (1|0) – status pojazdu (wartość 1 – dostępny, lub 0 – niedostępny).
- zbiór uwzględnianych części eksploatacyjnych $E = \{E_1, E_2, E_n\}$,
gdzie dla każdej części eksploatacyjnej E_i są określone:
 - E_{iukm} (%) – procent zużycia części na każdy przejechany kilometr,
 - E_{iuh} (%) – procent zużycia części w ciągu każdej godziny jazdy.

Na ich podstawie wyznaczane są współczynniki:

- współczynnik zużycia części na każdy przejechany kilometr:

$$E_{ukm} = (n \sum_{i=1}^n (E_{iukm})) / n \quad (22)$$

- współczynnik zużycia części na każdą godzinę jazdy:

$$E_{uh} = (n \sum_{i=1}^n (E_{iuh})) / n \quad (23)$$

Dla powyższych zbiorów poszukiwane są rozwiązania, będące swoistym przyporządkowaniem $f(T)=V$ (tj. każdemu zadaniu przewozowemu jest przypisany jeden samochód, który to zadanie zrealizuje) przy tym:

- $ViT = \{Ta, \dots, Tz\}$ jest zbiorem zadań przyporządkowanych do pojazdu,
- $ViR = \{P1, \dots, Pn\}$ jest uporządkowanym zbiorem punktów początkowych i końcowych wszystkich zadań należących do ViT ,
- $ViRt$ jest sumarycznym czasem przejazdu między kolejnymi punktami: $\{Vipxy \rightarrow P1 \rightarrow P2 \rightarrow \dots \rightarrow Pn\}$,
- $ViRd$ jest sumaryczną odległością pomiędzy kolejnymi punktami: $\{Vipxy \rightarrow P1 \rightarrow P2 \rightarrow \dots \rightarrow Pn\}$,
- Początkowe obciążenie pojazdu: $ViLP0 = 0$,
- Obciążenie pojazdu w punkcie j wynosi: $ViLPj = ViLPj-1 + PjTl$, jeśli Pj jest punktem początkowym zadania Tk ,

lub:

- $ViLPj = ViLPj - 1 - PjTl$, jeśli Pj jest punktem końcowym zadania Tk ,

gdzie:

- $PjTl$ to ładunek przewożony w zadaniu Tk , którego punktem początkowym lub końcowym jest Pj , a więc $PjTl \equiv TkI$,
- W każdym punkcie Pj spełniona jest zależność: $ViLPj \leq Vic$,
- Wartość kosztu $C = ViRt * Euh + ViRd * Eukm$ jest możliwie najniższa,
- Wartość całkowitego kosztu $Ct = n \sum_{i=1} (ViRt * Euh + ViRd * Eukm)$ jest możliwie najniższa.

Następnym krokiem jest optymalnie przyporządkowanie zadania do pojazdów oraz optymalny wybór kolejności przejazdu poszczególnych pojazdów pomiędzy punktami początkowymi i końcowymi przydzielonych im zadań. Wybrana kolejność przejazdu powinna minimalizować koszt tego przejazdu (z uwzględnieniem współczynników zużycia części i nie przekroczenia ładowności pojazdu).

Problem ten jest NP-zupełny o złożoności co najmniej wykładniczej, gdyż posiada dużo większy stopień skomplikowania niż problem komiwojażera, który jest NP-zupełny. Dlatego też w niniejszej rozprawie doktorskiej zastosowano algorytm heurystyczny, który daje nam pewność wyszukania rozwiązania w czasie wielomianowym oraz określone prawdopodobieństwo znalezienia rozwiązania bliskiego optymalnemu lub optymalnego w czasie wielomianowym.

5.3. Zagadnienie odwrotne w aspekcie eksploatacji i trwałości pojazdów

W zaproponowanym algorytmie eksploatacyjnym pojazdu w celu kontroli i doboru jego parametrów eksploatacyjnych wykorzystano tzw. zagadnienie odwrotne. Zagadnienie odwrotne lub problem odwrotny (ang. Inverse problem) jest zadaniem, które w opisywanej metodzie zastosowano do wyznaczania niektórych parametrów modelu na podstawie wcześniej zadanych wartości.

Dzięki temu algorytm wykonuje szereg obliczeń, mających na celu określenie rozwiązania optymalnego, ściśle połączonego ze zwiększeniem trwałości pojazdów. Zagadnienie odwrotne pozwala na wielowymiarową identyfikację parametrów eksploatacyjnych, które charakteryzują dane zadanie przewozowe.

W niniejszej rozprawie zagadnienie odwrotne zdefiniowano następująco:

$$Y=H(X, P, C) \quad (24)$$

gdzie: $Y=(y_1, y_2...y_m)$ – wektor danych wyjściowych z systemu (zużycie części/podzespołów w czasie lub przebyta przez pojazd droga);

$X=(x_1, x_2...x_n)$ – wektor danych wejściowych oznaczający oddziaływania zewnętrzne (zakładany przewożony ładunek, lista punktów nadawczo-odbiorczych i pojazdów, ich lokalizacja);

$P=(p_1, p_2...p_r)$ – oznacza właściwości samego systemu eksploatacyjnego (średnia prędkość techniczna pojazdu, ładowność, koszty eksploatacyjne);

$C=(c_1, c_2...c_k)$ – oznacza warunki brzegowe (czas pracy kierowców, ilość przewożonego ładunku);

H – system (funkcja, macierz) opisujący zjawisko eksploatacji pojazdów.

Jeśli na podstawie znanych X, P, C wyznaczana jest wartość Y , to jest rozwiązywane zagadnienie prostego. Natomiast w przypadku, gdy na podstawie znajomości wektora Y wyznacza się parametry X, P, C , wówczas mamy do czynienia z zagadnieniem odwrotnym.

Należy zaznaczyć, że opracowany algorytm bazuje na pełnej informacji o wektorze X . Przed rozpoczęciem procesu obliczeniowego przeszukuje on wszystkie uwzględnione w nim typy zadań. Dzięki temu może poprawnie oszacować dla każdej części eksploatacyjnej E_i

- E_{iukm} (%) – procent zużycia części na każdy przejechany kilometr,
- E_{iuh} (%) – procent zużycia części w ciągu każdej godziny jazdy.

Co następnie umożliwi wyznaczanie współczynników:

- zużycia części na każdy przejechany kilometr:

$$E_{ukm} = (n \sum_{i=1}^n (E_{iukm})) / n$$

- zużycia części na każdą godzinę jazdy:

$$E_{uh} = (n \sum_{i=1}^n (E_{iuh})) / n.$$

Należy zaznaczyć, że obecnie stosowane metody i algorytmy oddzielnie planują optymalne trasy przewozowe pojazdów i oddzielnie określają koszty eksploatacyjne, niejednokrotnie korzystając z szacunkowych odległości i czasów przebycia drogi. Prowadzi to do niepoprawności obliczeń w przypadku realnej eksploatacji pojazdów. Zaproponowany algorytm nie tylko wyznacza optymalne trasy, czerpiąc dane o drogach z bazy, która realnie wskazuje na ograniczenia prędkości na danych odcinakach, ale również czas potrzebny na ich przebycie. Nowością jest możliwość zastosowania wyżej opisanego zadania odwrotnego do określania parametrów eksploatacyjnych pojazdu w aspekcie zwiększenia jego trwałości. Algorytm potrafi dobrać czas przejazdu, z uwzględnieniem przepisów dla czasu pracy kierowcy pojazdu oraz optymalną ładowność i wielkości przewożonych ładunków. To co metodę odróżnia od istniejących rozwiązań, to możliwość wskazania na samym początku obliczeń jakie części zużywają się w jakim stopniu, a w krokach następnych możliwość wyboru drogi optymalnej z kryterium czasu lub odległości. W zależności od dobranych w pierwszej kolejności parametrów eksploatacyjnych wpływających na trwałość pojazdu wybierana jest odpowiednia droga optymalna.

Dla potwierdzenia poprawności działania algorytmu liczone są nie tylko koszty eksploatacyjne oraz zużycie części czy podzespołów, ale również wskaźniki określające proces przewozowy pojazdów, z uwzględnieniem m.in. ich gotowości technicznej oraz zdolności eksploatacyjnej.

Pierwszym miernikiem gotowości pojazdu do pracy jest wskaźnik gotowości technicznej (WGT). Jest on określany jako iloraz liczby dni lub godzin, w których pojazd był gotowy do pracy (T_g) i liczby dni lub godzin, gdy zgodnie z planem pracy pojazd powinien być gotowy do jej wykonywania (T_{pg}). Można to opisać następującym wzorem:

$$WGT = T_g / T_{pg} \quad (25)$$

Drugim miernikiem jest wskaźnik wykorzystania pojazdu (A). Jest to iloraz wszystkich dni eksploatacji (D_e) do wszystkich dni, gdy pojazd powinien być gotowy do pracy (D_i). Jeżeli wskaźnik jest wysoki mamy do czynienia z optymalnym wykorzystywaniem floty pojazdów w planowanych zadaniach przewozowych.

W dalszej kolejności określany jest wskaźnik wykorzystania czasu pracy pojazdu (F). Obliczany jest on na podstawie ilorazu czasu jazdy (T_j) i całego czasu pracy (T_d).

Następnie określany jest wskaźnik przebiegu (K). Jest to iloczyn czasu jazdy (T_j) i średniej prędkości technicznej pojazdu (VT).

Bardzo istotnym jest również wskaźnik statyczny wykorzystania ładowności (C), który obliczany jest ilorazem przewiezonego ładunku w tonach (Q) przez ładowność pojazdu (q).

Powyższe wskaźniki w sposób wielowymiarowy wskazują na optymalne wykorzystanie floty pojazdów oraz wynikające z niego zwiększenie ich trwałości.

5.4. Realizacja eksperymentów obliczeniowych

W pierwszym kroku ze zbioru zadań T odrzuca się zadania niemożliwe do zrealizowania (zadania, w których zadany ładunek T_{il} jest większy niż ładowność jakiegokolwiek pojazdu ze zbioru V). Następnie heurystycznie poszukuje się jak najlepszego przydziału zadań do pojazdów.

W kolejnym kroku n razy powtarza się dla każdego zadania $T_i \in T$ następującą procedurę: ze zbioru pojazdów V wykluczamy samochody o ładowności mniejszej niż T_{il} . Następnie zadanie przewozowe przydzielane jest do losowo wybranego pojazdu (spośród tych, które są w stanie przewieźć dany ładunek).

Następnie, gdy otrzymano losowy przydział wszystkich zadań do pojazdów, dla każdego pojazdu heurystycznie wyszukuje się jak najlepszego sposobu wykonania przydzielonych mu w danej iteracji zadań.

Dalej dla każdego pojazdu V_i n razy powtarza się tworzenie:

- listy *lista_punktów* zawierającej tylko punkty początkowe dla wszystkich zadań przydzielonych do pojazdu,
- listy *trasa_przejazdu* stanowiącej reprezentację trasy przejazdu pojazdu V_i – na początku zawiera ona tylko punkt aktualnego położenia pojazdu V_{ipxy} .

Wartość zmiennej *bieżący_ładunek* wynosi 0.

Dopóki *lista_punktów* nie jest pusta powtarzane jest wybieranie losowego punktu z *lista_punktów*, natomiast jeśli wybrany punkt jest punktem końcowym zadania, dodaje się go jako kolejny punkt do listy *trasa_przejazdu*.

Jeśli wybrany punkt jest punktem początkowym zadania, sprawdza się czy pojazd aktualnie może przyjąć ładunek znajdujący się do odbioru w tym punkcie. Gdy ten warunek jest spełniony, dodawany jest jako kolejny punkt do listy *trasa_przejazdu*, a do *lista_punktów* dodawany jest odpowiadający mu punkt końcowy. Dla niespełnionego warunku losowany jest inny punkt i powraca się do poprzedniego kroku, usuwając wylosowany punkt z *lista_punktów*. Gdy na "liście punktów" nie ma już żadnych elementów (w trasie przejazdu, czyli na liście *trasa_przejazdu* są uwzględnione punkty początkowe i końcowe wszystkich przydzielonych zadań) obliczany jest koszt przejazdu wyznaczonej w ten sposób trasy:

$$\text{Cost} = Eu_{km} * d + Eu_h * t, \quad (26)$$

gdzie: d jest całkowitą długością wyznaczonej trasy oraz t jest całkowitym czasem jej przejazdu.

Następnie powtarzane jest losowanie nowej kolejności przejazdu. Spośród wszystkich wylosowanych w ten sposób kolejności przejazdu wybierana jest ta, dla której wartość *Cost* jest najmniejsza (jest to najkorzystniejsza znaleziona trasa przejazdu danego pojazdu przy danym przydziale zadań). Po zastosowaniu powyższej heurystyki dla wszystkich pojazdów, otrzymujemy zbiór najkorzy-

stniejszych kolejności przejazdów dla poszczególnych pojazdów przy danym podziale zadań.

$TCost$ jest całkowitym kosztem przejazdu wyznaczonych w bieżącej iteracji tras przez wszystkie pojazdy. Następnie algorytm powraca do punktu i, powtarza kroki i.-vii. n kolejnych razy, poczynając od losowego przydziału zadań do pojazdów. Spośród wszystkich tak wyznaczonych możliwości przydziału zadań do pojazdów wybierany jest przydział, w którym sumaryczny koszt przejazdu swoich tras przez wszystkie pojazdy $TCost$ jest najniższy.

W procedurze wyznaczania trasy pomiędzy dwoma punktami $A(x_1, y_1)$ i $B(x_2, y_2)$, gdzie x i y są odpowiednio długością i szerokością geograficzną, wykorzystuje się informacje o sieci drogowej, zakładając, że:

- sieć drogowa traktowana jest jako graf ważony,
- każdy odcinek drogi jezdnej w ramach sieci dróg traktowany jest jako krawędź grafu,
- każde skrzyżowanie lub koniec drogi traktowane jest jako wierzchołek grafu,
- graf jest spójny,
- każda krawędź grafu posiada wagę:
 - W_d – równą długości odcinka drogi reprezentowanego przez krawędź wyrażaną w kilogramach,
 - W_t – równą czasowi przejazdu odcinka drogi reprezentowanego przez krawędź (w h, z uwzględnieniem ograniczeń prędkości),
 - $W_c = W_d * Eu_{km} + W_t * Eu_h$.

Dla punktu A poszukiwany jest wierzchołek A' grafu, którego współrzędne są najbliższe współrzędnym punktu A . Analogiczną procedurę wykonuje się dla punktu B , znajdując wierzchołek B' . Następnie między wierzchołkami A' i B' znajduje się najkrótszą trasę z uwzględnieniem wag W_c poszczególnych krawędzi.

W wyznaczonej w ten sposób trasie suma wag W_d to odległość pomiędzy wierzchołkami A' i B' , suma wag W_t to czas przejazdu między tymi wierzchołkami, zaś suma wag C to „koszt” tego przejazdu, uwzględniający średnie zużycie części eksploatacyjnych.

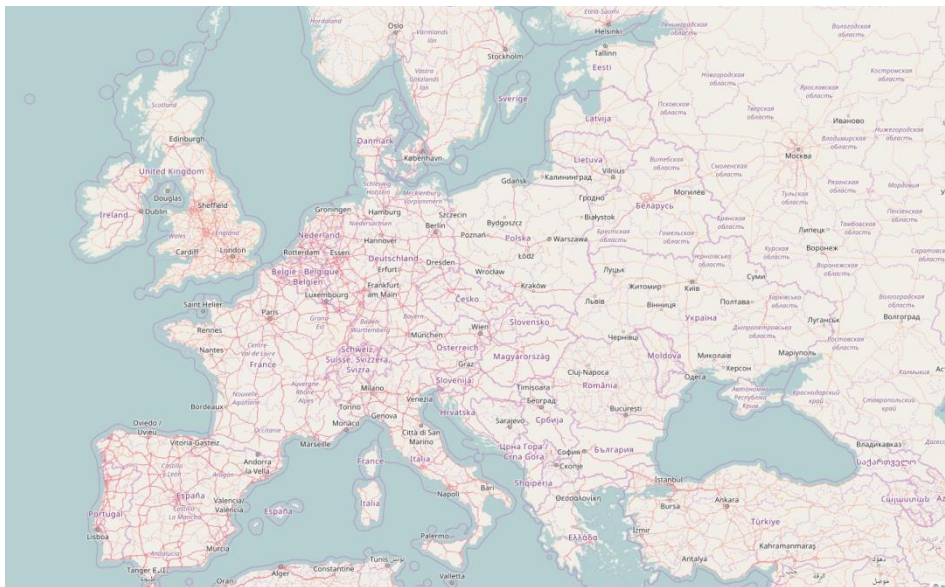
W wynikach końcowych otrzymujemy listę wszystkich pojazdów biorących udział w wykonaniu zadań. Dla każdego pojazdu są określone:

- lista punktów, które musi odwiedzić dany pojazd, uszeregowana w kolejności przejazdu,
- sumaryczna odległość przejazdu,
- sumaryczny czas przejazdu,

Na podstawie listy punktów przyporządkowanych do poszczególnych pojazdów oraz na podstawie danych wejściowych: Eu_{km} i Eu_h możemy następnie nanieść trasy poszczególnych pojazdów na mapę. W tym celu korzysta się z serwera danych przestrzennych, co będzie przedmiotem dokładnego opisu w dalszej części pracy. W algorytmie doboru racjonalnych parametrów eksploatacyjnych pojazdu zastoso-

wano mapy OpenStreetMap. Na potrzeby niniejszej pracy wykorzystano dane dla obszaru Polski. Mapa służy do prezentacji danych, w tym:

- oznaczenia lokalizacji punktów nadawczych/odbiorczych i pojazdów,
- zilustrowania tras przejazdu.



Rys. 5.2. Przykład mapy OpenStreetMap

OpenStreetMap korzysta z topologicznej struktury danych, uwzględniającej następujące typy danych:

- węzeł – reprezentuje punkt na powierzchni ziemi i posiada określoną pozycję geograficzną,
- droga – jest uporządkowaną listą węzłów (od 2 do 2000), które tworzą linię łamaną reprezentującą drogę,
- relacja – struktura będąca grupą węzłów i dróg. Przykładem relacji może być zakaz skrętu,
- tag – tag można przypisać węzłowi, drodze lub relacji. Służy do opisanie elementu do którego jest przypisany.

5.5. Routingowa baza danych

Baza ta służy do przechowywania szczegółowych danych o sieci dróg, niezbędnych do wyznaczania tras pomiędzy punktami. W niniejszej pracy wykorzystano bazę danych w standardzie SQL.

Graf, stanowiący matematyczny model sieci dróg, jest reprezentowany w bazie danych przez 2 tabele:

Tabela wierzchołków

- zawiera informacje o punktach, odpowiadających wierzchołkom grafu. każdy punkt jest opisany przez następujące wartości:
- identyfikator,
- liczba odniesień do tego wierzchołka istniejących w tabeli krawędzi,
- liczba odniesień do tego wierzchołka jako wierzchołka początkowego istniejących w tabeli krawędzi,
- liczba odniesień do tego wierzchołka jako wierzchołka końcowego istniejących w tabeli krawędzi,
- geometria punktu na mapie.

Na rysunku 5.3 pokazano fragment tabeli wierzchołków.

id	cnt	chk	ein	eout	the_geom
301442	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E61000000531D0B52F3A3140C43EA65AB07D4940
301443	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E61000004EB9C2BB5C38314043AED4B3207F4940
301444	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E6100000C15CE6CF123731403457BC47EC7E4940
301445	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E61000004C4B51D3D33631407CFABE6EC77E4940
301446	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E610000089EAAD81AD383140C9737D1F0E7F4940
301447	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E610000019C2D6112C373140543C8963B87E4940
301448	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E61000004FDF7C34E6393140C8D2872EA87E4940
301449	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E6100000E8D84125AE3931403E6F74DF7B7E4940
301450	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E610000074626AA6D63A3140B1790BDA9A7E4940
301451	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E61000009748B3C3A93831405479F1344F7F4940
301452	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E6100000EF8D210038383140C3BB5CC4777E4940
301453	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E61000006DCA70975838314048765BD8897E4940
301454	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E61000000F39C7CA79383140C32CB4739A7E4940
301455	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E610000002902452E4383140A941E268D87E4940
301456	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E61000004CA8E0F0823631403D714A8AD97E4940
301457	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E61000002B114D45CF383140E5492DEF057E4940
301458	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E610000027005A4E9D383140F8AAF0C2317E4940
301459	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E61000004D65F61ED3353140856E4095E47E4940
301460	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E6100000DEF64E1608363140ED574B4BF67E4940
301461	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E61000004FCFB8B1A03831407F98CE98937E4940
301462	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E61000007AE2395B406833403123BC3D08144B40
301463	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E6100000CA9F145223693340CB51DBE10A144B40
301464	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E6100000FF89DBB28D6733404A68812CFA134B40
301465	NULL	NULL	NULL	NULL	0101000020E610000024DF5B470B6833407242D774F3134B40

Rys. 5.3. Fragment tabeli wierzchołków

Tabela krawędzi (drog)

Tabela krawędzi zawiera szczegółowe informacje o krawędziach grafu, które reprezentują odcinki dróg. Każdy odcinek drogi jest opisany przez poniższe wartości:

- Id,
- Nazwa,
- Id wierzchołka początkowego,
- Id wierzchołka końcowego,
- Klasa drogi,
- Rodzaj drogi – wskazuje na co najmniej jeden rodzaj spośród następujących: piesza, rowerowa, jezdnia,
- Długość odcinka drogi [km],
- Maksymalna prędkość [km/h],
- Czas przejazdu od wierzchołka początkowego do końcowego,
- Czas przejazdu od wierzchołka końcowego do początkowego,
- Szerokość geograficzna punktu początkowego,
- Długość geograficzna punktu początkowego,
- Szerokość geograficzna punktu końcowego,
- Długość geograficzna punktu końcowego,
- Geometria drogi na mapie.

Na rysunku 5.4 pokazano fragment tabeli krawędzi.

id	osm_id	osm_name	osm_meta	osm_source_id	osm_target_id	clazz	flags	source	target	km	kmh
231583	44874728	Kolejowa	NULL	568922712	568922716	31	3	250483	250484	0.014919347	40
231584	44874728	Kolejowa	NULL	568922716	568922648	31	3	250484	250485	0.19130933	40
231585	44874728	Kolejowa	NULL	568922648	568922640	31	3	250485	250486	0.041977294	40
231586	44874728	Kolejowa	NULL	568922640	568922603	31	3	250486	250324	0.9293398	40
231587	44874731	Kolejowa	NULL	568922740	568922724	31	3	250487	250488	0.26381153	40
231588	44874731	Kolejowa	NULL	568922724	568922725	31	3	250488	250489	0.14736106	40
231589	44874733	Adama Mickiewicza	NULL	568922713	568922720	32	3	250490	250491	0.05792827	50
231590	44874733	Adama Mickiewicza	NULL	568922720	568922651	32	3	250491	250492	0.069372244	50
231591	44874734	Podzamcze	NULL	568922740	568922629	32	3	250487	250493	0.48829257	50
236301	45412591	984	NULL	577445140	577445115	21	1	255221	255222	1.592104	60
236302	45412591	984	NULL	577445115	577445082	21	1	255222	255223	1.0175856	60
236278	45412586	NULL	NULL	577446615	577446492	31	3	1111	255225	1.5206	40
236279	45412586	NULL	NULL	577446492	577446286	31	3	255225	255226	2.2302818	40
236280	45412586	NULL	NULL	577446286	577446303	31	3	255226	255227	0.908269	40
238352	45414191	NULL	NULL	577445140	2353659345	31	3	255221	257030	1.6831822	40
238363	45414192	Józefa Piłsudskiego	NULL	577445140	577446571	21	1	255221	257040	0.95793444	60
238364	45414192	Józefa Piłsudskiego	NULL	577446571	577450879	21	1	257040	257041	0.2886228	60
238365	45414192	Józefa Piłsudskiego	NULL	577450879	577450875	21	1	257041	257042	0.030327927	60
238366	45414192	Józefa Piłsudskiego	NULL	577450875	577450906	21	1	257042	257043	0.31708238	60
238367	45414192	Józefa Piłsudskiego	NULL	577450906	577450933	21	1	257043	257044	0.10237151	60
238368	45414192	Józefa Piłsudskiego	NULL	577450933	577450954	21	1	257044	257045	0.07958445	60
238369	45414193	Tadeusza Kościuszki	NULL	577451091	577451088	32	3	257046	257047	0.162711	50
238370	45414193	Tadeusza Kościuszki	NULL	577451088	577451052	32	3	257047	257048	0.15466154	50
238371	45414193	Tadeusza Kościuszki	NULL	577451052	577446639	32	3	257048	257049	0.6840657	50
238372	45414193	Tadeusza Kościuszki	NULL	577446639	577446642	32	3	257049	257050	0.06282637	50
238373	45414193	Tadeusza Kościuszki	NULL	577446642	577446621	32	3	257050	257051	0.7353602	50
238374	45414193	Tadeusza Kościuszki	NULL	577446621	577446538	32	3	257051	257052	0.77341694	50
238378	45414197	Wincenciego Witosa	NULL	577446571	1689175531	42	3	257040	257057	0.2811172	30
238381	45414202	Wałowa	NULL	1692199939	1692199936	31	3	1112	257060	0.014494354	40
238382	45414202	Wałowa	NULL	1692199936	577446616	31	3	257060	257061	0.0926676	40

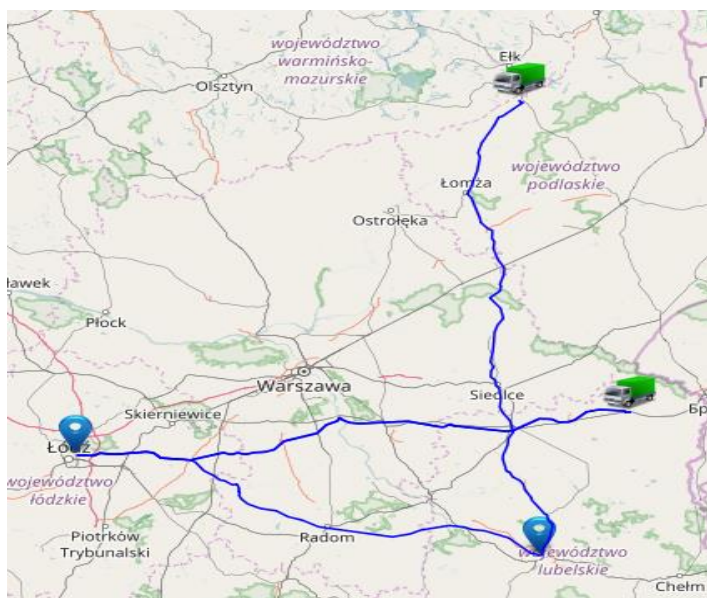
Rys. 5.4. Fragment tabeli krawędzi

5.6. Serwer danych przestrzennych

Geoserver jest open-source'owym serwerem, umożliwiającym przetwarzanie danych geoprzestrzennych. Może publikować dane pochodzące z wszystkich wiodących źródeł danych przestrzennych wykorzystujących otwarte standardy. W przypadku niniejszej rozprawy Geoserver wykorzystywany jest do przetworzenia informacji o wyznaczonych trasach przejazdu i generowania na ich podstawie warstw mapy ilustrujących te trasy. W praktyce, Geoserver zwraca obrazy w formacie *.png, z naniesioną linią przebiegu trasy. Tak wygenerowane obrazy są następnie naniesione na mapę drogową (OpenStreetMap). Proces generowania tras przebiega więc następująco:

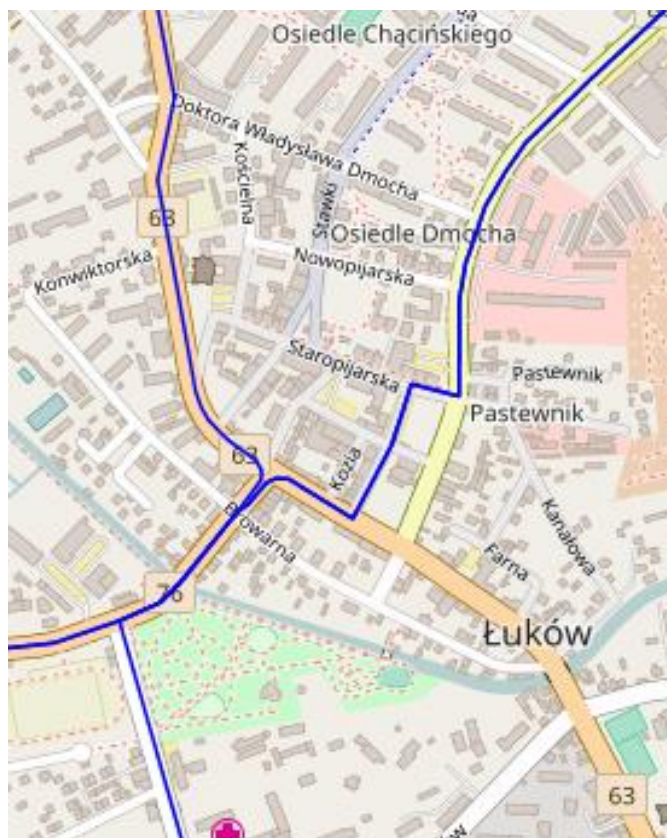
- obliczenie najkorzystniejszych tras dla poszczególnych samochodów na podstawie danych z bazy routingowej, zgodnie z metodyką opisaną w punkcie *Algorytm*,
- dla każdego kolejnego pojazdu przekazywane są do Geoservera kolejne pary punktów trasy, z żądaniem wyrysowania trasy o określonych parametrach między tą parą punktów,
- w odpowiedzi otrzymujemy kolejne fragmenty wyrysowanych tras w formacie *.png, które następnie nanosimy na mapę OpenStreetMap, jako kolejne jej warstwy.

Na rysunku 5.5 pokazano tworzenie tras przewozowych z uwzględnieniem Geoservera.



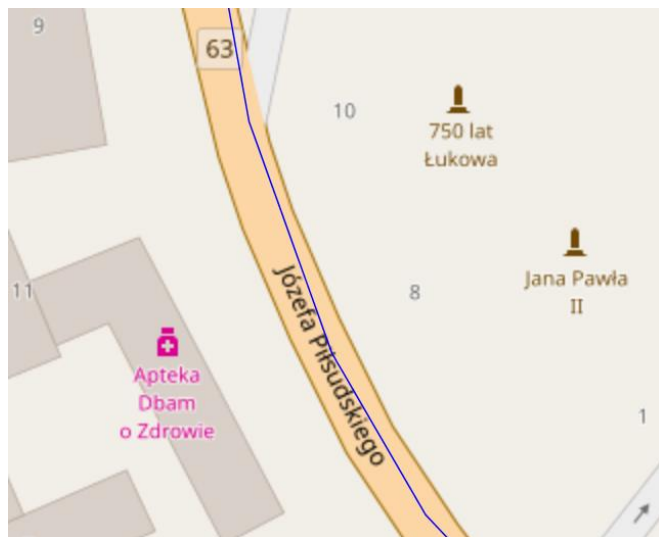
Rys. 5.5. Tworzenie tras przewozowych z uwzględnieniem Geoservera

Na rysunku 5.6 zaprezentowano możliwości jakie daje nam połączenie wyżej wymienionych narzędzi. Jest to przybliżenie z poprzedniego rysunku skrzyżowania się tras pojazdów, wykonujących zadania przewozowe. Można zwrócić uwagę, że algorytm w bardzo dokładny i szczegółowy sposób wybiera optymalne trasy na podstawie ich realnych długości oraz maksymalnych dozwolonych prędkości.



Rys. 5.6. Wykazanie szczegółów mapy Geoservera

Szczegółowość wyznaczanych tras na mapie jest na tyle duża, że są widoczne nr lokali, ważniejsze punkty w mieście czy numer trasy po jakiej porusza się pojazd (rys. 5.7). Daje to możliwość bardzo dokładnego rozlokowania punktów nadawczo-odbiorczych jak również pozycji pojazdów transportowych. W trakcie stosowania algorytmu przez firmę przewozową można dokładnie prześledzić trasy jakie wyznaczył program.



Rys. 5.7. Oznaczenia lokacji

5.7. Zapis zadania optymalizacyjnego w testach

Dodatkowo testowanie poprawności działania algorytmu oraz poprawność otrzymanych wyników przeprowadzono w programach matematycznych Scilab oraz Maxima, m.in. dla:

- najkrótszych tras przewozowych pomiędzy węzłami,
- odległości i sum powrotów pojazdów z rozpatrywanych węzłów,
- oceny podaży i popytu w węzłach,
- kalkulacji przebytej drogi przez środki transportu,
- opracowanego współczynnika „atrakcyjności”,
- aktualnej pozycji pojazdu.

Rezultaty obliczeń dla opracowanych symulacji potwierdziły możliwość otrzymania optymalnych wyników eksploatacji środków transportowych dla przyjętych kryteriów. W załącznikach: nr: 1, 2 i 3 przedstawiono przykładowe wyniki przeprowadzonej symulacji środków transportu (ST), znajdujących się w określonych węzłach (W), mających rozwieźć towar z węzłów o podanej podaży do węzłów z wyznaczonym popytem z uwzględnieniem przebytej drogi oraz powrotami do bazy.

5.7.1. Weryfikacja odległości i czasu pomiędzy dwoma punktami

Poniżej przedstawiono aplikację do weryfikacji odległości i czasu pomiędzy dwoma punktami na podstawie współrzędnych geograficznych. W górnym oknie dialogowym wprowadzamy formułę:

- "SELECT * FROM pgr_fromatob_dijkstra('hh_2po_4pgr', 21, 51, 20, 52, 'cost')"
- i otrzymujemy optymalny czas przebycia drogi pomiędzy dwoma punktami o wprowadzonych współrzędnych (21,51) i (20,52). Program wyświetla nam miejscowości i ulice, przez które jest poprowadzona optymalna droga wraz ze wskazaniem poszczególnych czasów w odcinkach składających się na trasę.

Zamieniając w poleceniu wyrażenie "cost" na "km" otrzymamy odpowiedź o długości optymalnej trasy na tym odcinku oraz wykaz punktów tego odcinka, przy zadanym kryterium.

Na rysunku 5.8 pokazano sposób weryfikacji odległości przejazdu pomiędzy dwoma punktami. Przyjęto na nim następujące oznaczenia:

- git integer – jest to numer identyfikacyjny punktu "id",
- heading double precision – precyzja wskazania punktu,
- costdouble precision – jest to czas przybycia pomiędzy dwoma punktami,
- geom geometry – zapis w dedykowanym formacie współrzędnych definiującym punkty.

SELECT * FROM pgr_fromatob_dijkstra('hh_2po_4pgr', 21, 51, 20, 52, 'km')

Okno wyjściowe

Dane wyjściowe						
	seq integer	gid integer	name text	heading double precision	cost double precision	geom geometry
21	21	1045302	Młodzawy	293.937154143421	0.0017229685	0102000020E61f
22	22	1045301	Młodzawy	293.813737740787	0.002131542	0102000020E61f
23	23	1044378	Legionów	296.206518806406	0.0026169752	0102000020E61f
24	24	1044379	Legionów	295.924048955072	0.0017334041	0102000020E61f
25	25	1044384	Legionów	297.300751089091	0.00022380581	0102000020E61f
26	26	1044383	Legionów	293.642337044781	0.0052114166	0102000020E61f
27	27	1044374	Legionów	294.292369450891	0.00041190107	0102000020E61f
28	28	1044375	Legionów	293.394016549206	0.002163042	0102000020E61f
29	29	7572	Legionów	292.906370732043	0.00536898	0102000020E61f
30	30	76676	Legionów	291.219834315586	0.003203091	0102000020E61f
31	31	1042968	Rondo Solidarność	317.010621847206	0.0005512782	0102000020E61f
32	32	516890	Legionów	319.012953177017	0.00055822683	0102000020E61f
33	33	711995	Legionów	287.19646978899	0.002149898	0102000020E61f
34	34	711994	Legionów	297.79819134167	0.0009552491	0102000020E61f
35	35	971338	Legionów	303.55914845732	0.0016656304	0102000020E61f
36	36	971337	Legionów	306.016208581233	0.0018254437	0102000020E61f
37	37	971336	Legionów	307.374103954184	0.0013626424	0102000020E61f
38	38	971335	Legionów	307.41106511645	0.00089855946	0102000020E61f
39	39	971334	Legionów	310.12199179142	0.0006256517	0102000020E61f
40	40	971341	Legionów	297.07043905445	0.00088601484	0102000020E61f
41	41	975474		342.123983000243	0.00056703	0102000020E61f
42	42	975444	Metalowców	357.360136617798	0.0029917762	0102000020E61f
43	43	975443	Metalowców	355.826525775077	0.0010006919	0102000020E61f
44	44	975442	Metalowców	357.610472239943	0.00059176	0102000020E61f
45	45	975441	Metalowców	356.71527803138	0.0009693596	0102000020E61f

Rys. 5.8. Weryfikacja odległości przejazdu pomiędzy dwoma punktami

6. IMPLEMENTACJA KOMPUTEROWA METODY RACJONALIZACJI PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH POJAZDU W ASPEKCIE JEGO TRWAŁOŚCI

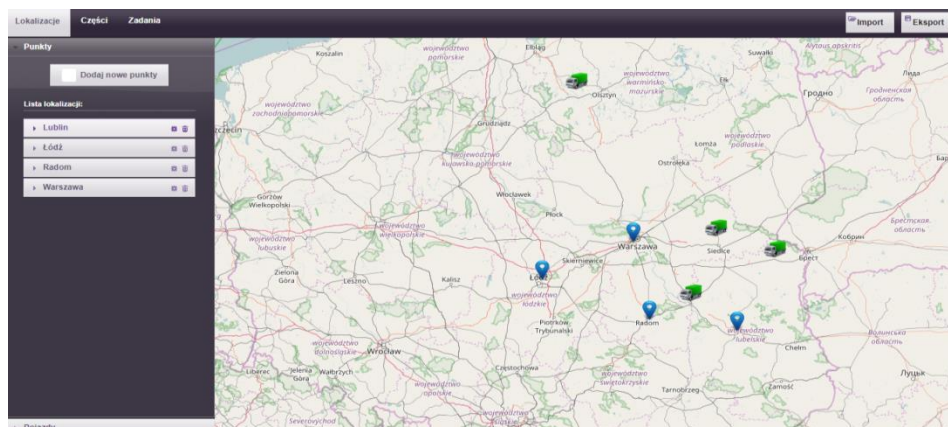
6.1. Opis interfejsów do wprowadzania danych oraz wizualizacji wyników

Na bazie opracowanej metody optymalizacji parametrów eksploatacyjnych pojazdu w aspekcie jego trwałości wykonano jej symulator w postaci programu komputerowego – aplikacja "Logistics". Program ten posiada interfejs do wprowadzania danych oraz wizualizację wyników.

Wprowadzanie danych zawiera działania do określenia:

- danych,
- parametrów wejściowych,
- zależności pomiędzy danymi,
- funkcji celu,
- zadań do wykonania,
- obiektów logicznych.

Na obliczenia składają się rozwiązywanie zadanych zadań optymalizacyjnych, w zależności od oczekiwanego wyniku oraz określonych kryteriów i ograniczeń. Prezentacja wyników wiąże się z wizualizacją rozwiązań przeprowadzonych kalkulacji. Po włączeniu aplikacji pokazuje się główny ekran z ostatnio wprowadzanymi zadaniami eksploatacji środków transportu (rys. 6.1)



Rys. 6.1. Wizualizacja aplikacji "Logistics"

Po lewej stronie aplikacji (patrz rys. 6.1) znajduje się interfejs obsługi. Są w nim odpowiednio zakładki otwierające okna do wprowadzenia danych, określenia ich parametrów oraz implementację zadań obliczeniowych. W zakładce lokalizacje znajdują się pola do wprowadzania i definiowania węzłów nadawczo-odbiorczych oraz pojazdów. Dla węzłów należy zaznaczyć jego lokalizację na mapie lub wprowadzić współrzędne. Identyczną operację należy wykonać z pojazdami. Wszystkie dodane punkty oraz węzły będą widoczne na mapie jak również w spisie obiektów.

Przy dodawaniu środka transportu należy na początku wskazać dane, które będą go charakteryzować (rys. 6.2).

Dodawanie nowego pojazdu [X]

Nazwa:

Rejestracja:

Ładowność (kg):

Prędkość techniczna (km/h):

Koszty eksploatacyjne (PLN/km):

Dotychczasowe koszty (PLN):

Przebieg (km):

Spalanie (l/100km):

Aktualna lokalizacja:
(Wprowadź współrzędne lub wskaż na mapie)

Wybierz ze zdefiniowanych... ▼

Status:

Rys. 6.2. Interfejs dodawania nowego pojazdu

Na dane te składają się :

- ładowność (optymalna) [kg],
- prędkość techniczna pojazdu [km/h],
- koszty eksploatacyjne [PLN/km],
- sumaryczny koszt dotychczasowej eksploatacji [PLN],
- sumaryczna ilość przejechanych kilometrów we wszystkich kursach, w których pojazd brał udział [km],
- średnie spalanie paliwa [l/km],
- miejsce przebywania pojazdu (współrzędne, lub definiowany punkt),
- określenie czasu i daty przebywania w danym węźle [czas – czas, węzeł,...],
- dostępność lub niedostępność pojazdu w danym kursie przewozowym.

W kolejnej zakładce "części" (rys. 6.3) można pojazdom nadać zużycie w %/km lub %/h ich podzespołów tj., nieskończoną listę części, które określają jego parametry eksploatacyjne.

W zależności jaka opcja zostanie wybrana – czy wyznaczanie trasy optymalnej do rozwoju ładunku czy analiza eksploatacji podzespołów pojazdu, algorytm wyznacza najkorzystniejszą trasę spełniającą narzucone warunki brzegowe.

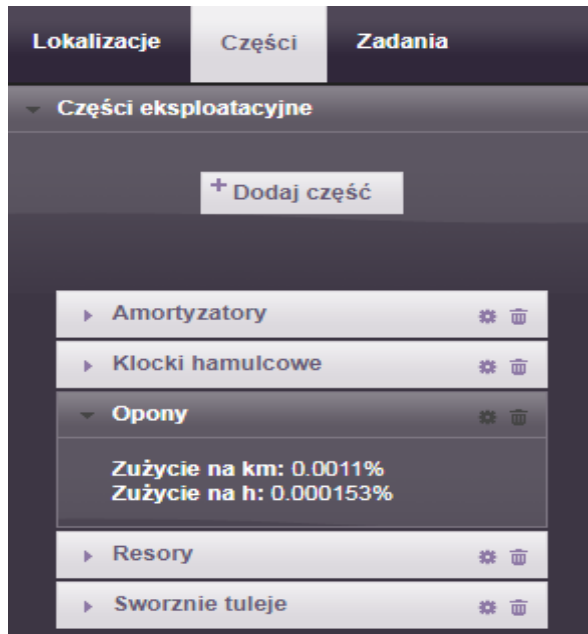
W analizie zużycia części pojazdów algorytm bada czy ich stopień zniszczenia został określony najkorzystniej w %/km lub %/h. W przypadku większego zużycia w %/km aplikacja będzie wyszukiwać najkrótsze trasy przejazdu, natomiast gdy zużycie części będzie większe w %/h – algorytm wybierze trasy najszybsze.

Takie wartości będą określane dla różnych współczynników i różnych podzespołów pojazdu. Istnieje zatem możliwość dodawania wartości wpływających na długość trasy i parametry eksploatacyjne (w tym przypadku widoczne będzie jakie parametry są optymalne w planowanym procesie przewozowym).

W przypadku, w którym na liście części jakie będą analizowane w zużyciu w trakcie zadań przewozowych będzie ich więcej niż jedna a ich kryteria względem wyboru długości trasy lub czasu przejazdu będą różne, wówczas algorytm wybiera trasę według średniej ważonej pomiędzy trasą najkrótszą i najszybszą.

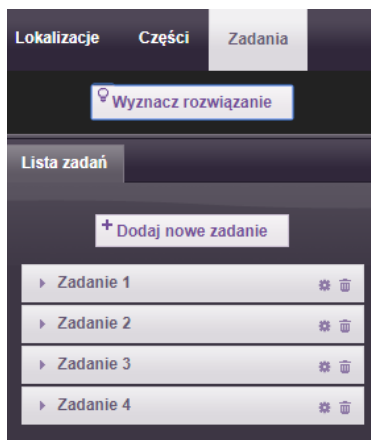
W konsekwencji – wartość zużycia części pomnożona przez określone współczynniki decydować będzie o oszczędnościach eksploatacyjnych.

Ze względu na te oszczędności algorytm określa optymalny przydział pojazdów do danego zadania przewozowego (wyznacza ile pojazdów i które mają maksymalny udział w procesie przewozowym).



Rys. 6.3. Interfejs dodawania części eksploatacyjnej

Planowanie tras przewozowych jest umieszczone w polu "zadania" (rys. 6.4).



Rys. 6.4. Zbiór zadań przewozowych

Jest to zbiór wszystkich zadań transportowych do zrealizowania przez dostępne pojazdy. Określa on, ile towaru mają przewieźć pojazdy, a także miejsca załadunku i rozładunku. Dzięki rozbiciu jednego zadania transportowego na poszczególne podzadania możliwe jest oszacowanie i zaprojektowanie czy

w danym kursie, z wykorzystaniem dostępnych środków transportu ładunek zostanie dostarczony w wyznaczone miejsce, i co najważniejsze o wyznaczonej porze (o ile istnieje taka potrzeba). Daje to możliwość symulowania rzeczywistych warunków w trakcie przyjmowania do realizacji określonego zadania przewozowego. W większości dostępnych metod wyznaczania najbardziej optymalnej trasy dla przewozu ładunku liczy się sumaryczny czas i długość przebytych dróg do końcowej realizacji zadania. Nie są w nich brane pod uwagę narzucone kolejności podzadań, a obliczenia wykonywane są globalnie. Co prawda, zostaną wyznaczone rozwiązania optymalne, jednakże może się tak zdarzyć, że zadanie, które powinno zostać wykonane w pierwszej kolejności (dla spełnienia warunku brzegowego, np. terminu dostawy) zostanie zrealizowane w obliczeniach końcowych. Obliczenia takie będą optymalne, ale w rzeczywistości niefunkcjonalne.

Na elementy planowania zadania przewozowego składają się:

- obliczanie odległości [km],
- planowanie i wizualizacja trasy [km, czas, PLN],
- trasa najkrótsza, najtańsza, najszybsza,
- porównanie wszystkich możliwości pod kątem czasu/odległości/kosztów,
- możliwość ręcznej modyfikacji trasy,
- możliwość ręcznego dodawania opóźnienia dla trasy [czas lub %-owego],
- planowanie kolejności przejazdu dla wszystkich samochodów biorących udział w zadaniu,
- zużycie zdefiniowanych części,
- uwzględnienie:
 - ilości ładunku do przewiezienia [kg],
 - ładowności pojazdów [kg],
 - możliwości doładowania pojazdu w trakcie kursu,
 - położenia i ilości pojazdów gotowych do pracy,
 - czasu pracy kierowców,
 - ograniczenie pustych przebiegów,
 - minimalizacja czasu pracy,
- wyznaczenie:
 - koszty przewozowe i eksploatacyjne [PLN/km],
 - optymalna ilość pojazdów do zadania transportowego,
 - wielokrotne uruchomienie algorytmu i porównanie rozwiązań.

Dodatkowo czas postoju jest dodawany do czasu przejazdu i pokazywany jako wartości zsumowane, albo jako poszczególne informacje: czas przejazdu „x”, w tym czas jazdy „y”, a czas postoju „z”. W tym przypadku chodzi o ustawowe czasy pracy kierowców. Algorytm uwzględniając to w obliczeniach, wskazuje gdzie kierowca będzie się znajdował w danym czasie, co pozwoli podjąć decyzję czy go przypisać do kolejnego zadania przewozowego.

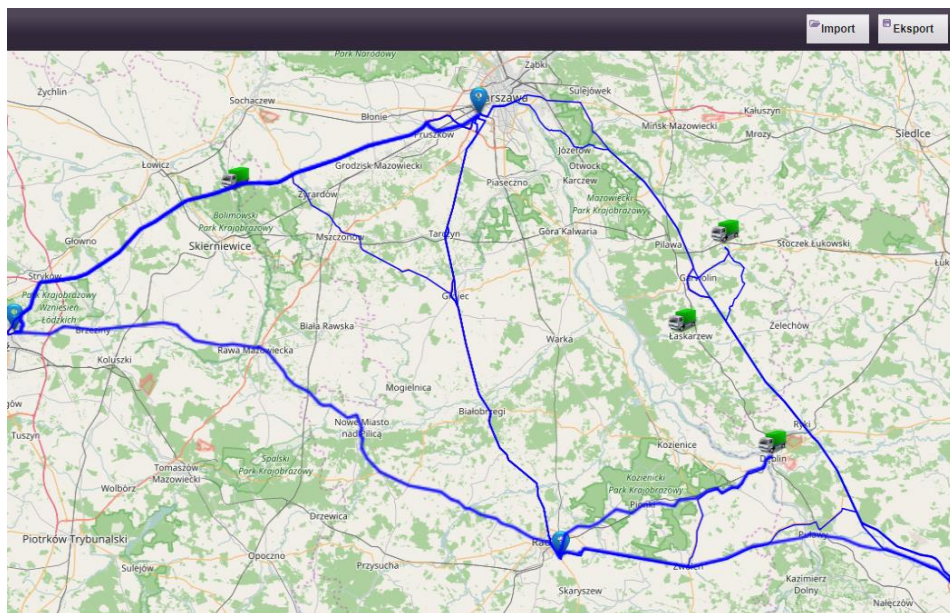
Maksymalny czas prowadzenia pojazdu jest liczony zgodnie z ustawą pomiędzy odpoczynkami od prowadzenia pojazdów i nie może przekraczać 9 godzin. Niezależnie od rodzaju pojazdu, kierowca zobowiązany jest do przymusowej przerwy po 4,5 godzinach ciągłej jazdy. Odpoczynek trwa 45 minut i może być rozłożony na dwie przerwy: 15 i 30 minut. Na rysunku 6.5 przedstawiono wizualizację obliczeń.

Punkty Pojazdy Przydzielono ☒ Pokaż trasę Dystans: 630.029 km Czas jazdy: 7:09 Całkowity czas pracy: 9:39 Koszt eksploatacji: 666.21 PLN Zużycie paliwa: 90.85 l Zużycie części: Amortyzatory 6.065% Trasa przejazdu: 21.696,51.957 → Lublin → Warszawa → Łódź → Warszawa ☒ Pokaż trasę pojazdu Volvo Dystans: 605.649 km Czas jazdy: 8:55 Całkowity czas pracy: 9:39 Koszt eksploatacji: 666.21 PLN Zużycie paliwa: 90.85 l Zużycie części: Amortyzatory 6.065% Trasa przejazdu: 21.696,51.957 → Lublin → Lublin → Warszawa → Radom → Warszawa → Łódź ☒ Pokaż trasę pojazdu Mercedes Dystans: 526.158 km Czas jazdy: 8:01 Całkowity czas pracy: 8:46 Koszt eksploatacji: 736.62 PLN Zużycie paliwa: 115.75 l Zużycie części: Amortyzatory 5.270% ☒ Pokaż trasę pojazdu Mercedes Dystans: 684.519 km Czas jazdy: 11:22 Całkowity czas pracy: 23:07 Koszt eksploatacji: 958.33 PLN Zużycie paliwa: 150.59 l Zużycie części: Amortyzatory 6.857% Trasa przejazdu: 21.842,51.563 → Lublin → Lublin → Łódź → Warszawa → Warszawa → Warszawa → Łódź → Radom ☒ Pokaż trasę pojazdu Volvo 2 Dystans: 140.269 km Czas jazdy: 2:22 Zaktualizuj pozycje Zamknij Zaktualizuj pozycje pojazdów	Przydzielono zadania ☒ Pokaż trasę Dystans: 630.029 km Czas jazdy: 7:09 Całkowity czas pracy: 9:39 Koszt eksploatacji: 666.21 PLN Zużycie paliwa: 90.85 l Zużycie części: Amortyzatory 6.065% Trasa przejazdu: 21.696,51.957 → Lublin → Warszawa → Łódź → Warszawa ☒ Pokaż trasę pojazdu Volvo Dystans: 605.649 km Czas jazdy: 8:55 Całkowity czas pracy: 9:39 Koszt eksploatacji: 666.21 PLN Zużycie paliwa: 90.85 l Zużycie części: Amortyzatory 6.065% Trasa przejazdu: 21.696,51.957 → Lublin → Lublin → Warszawa → Radom → Warszawa → Łódź ☒ Pokaż trasę pojazdu Mercedes Dystans: 526.158 km Czas jazdy: 8:01 Całkowity czas pracy: 8:46 Koszt eksploatacji: 736.62 PLN Zużycie paliwa: 115.75 l Zużycie części: Amortyzatory 5.270% ☒ Pokaż trasę pojazdu Mercedes Dystans: 684.519 km Czas jazdy: 11:22 Całkowity czas pracy: 23:07 Koszt eksploatacji: 958.33 PLN Zużycie paliwa: 150.59 l Zużycie części: Amortyzatory 6.857% Trasa przejazdu: 21.842,51.563 → Lublin → Lublin → Łódź → Warszawa → Warszawa → Warszawa → Łódź → Radom ☒ Pokaż trasę pojazdu Volvo 2 Dystans: 140.269 km Czas jazdy: 2:22 Zaktualizuj pozycje Zamknij Zaktualizuj pozycje pojazdów	Przydzielono zadania ☒ Pokaż trasę pojazdu Volvo Dystans: 523.857 km Czas jazdy: 5:48 Całkowity czas pracy: 6:32 Koszt eksploatacji: 576.24 PLN Zużycie paliwa: 78.58 l Zużycie części: Amortyzatory 0.582% Trasa przejazdu: 21.696,51.957 → Lublin → Lublin → Warszawa → Warszawa → Łódź → Łódź → Warszawa ☒ Pokaż trasę pojazdu Mercedes Dystans: 453.887 km Czas jazdy: 5:46 Całkowity czas pracy: 6:30 Koszt eksploatacji: 635.44 PLN Zużycie paliwa: 99.86 l Zużycie części: Amortyzatory 0.512% Trasa przejazdu: 21.842,51.563 → Radom → Warszawa → Łódź → Łódź → Radom → Radom ☒ Pokaż trasę pojazdu Volvo 2 Dystans: 114.145 km Czas jazdy: 1:33 Całkowity czas pracy: 1:33 Koszt eksploatacji: 125.56 PLN Zużycie paliwa: 17.12 l Zużycie części: Amortyzatory 0.130% Trasa przejazdu: 21.565,51.791 → Radom → Lublin Zaktualizuj pozycje pojazdów

Rys. 6.5. Prezentacja wyników obliczeń algorytmu

Powyższy przykład zestawienia końcowych wyników obliczeń przedstawia możliwość wyświetlania różnych wariantów rezultatów obliczeń, co pozwala je ze sobą zestawić w dowolnym porównaniu. Jest to niezwykle istotne dla zobrazowania wyników obliczeń dla tras najkrótszych, najszybszych czy najbardziej optymalnych względem zdefiniowanych części poddanych eksploatacji.

Tabele obliczeń zaprezentowane na rysunku 6.5 są jednocześnie wizualizowane na mapie (rys. 6.6), na której są wprowadzone punkty nadawczo-odbiorcze, pojazdy biorące udział w przewozie ładunków oraz różne kombinacje połączeń tras wyznaczonych przez algorytm. W zależności od kryterium jakie zostało postawione, trasy są definiowane w taki sposób aby optymalizować parametry eksploatacyjne pojazdów.



Rys. 6.6. Wizualizacja wygenerowanych tras przewozowych

Aplikacja daje również możliwość importowania i eksportowania wyników obliczeń. Można przez to symulować optymalizację parametrów eksploatacyjnych pojazdu dla różnych wariantów i przy różnych kryteriach.

6.2. Zapis kodu programistycznego

W podrozdziale tym przedstawiono opis najważniejszych funkcjonalności zapisów kodu programistycznego dla kluczowych zadań algorytmu na podstawie, których powstała aplikacja "Logistics":

- kod źródłowy rozmieszczenia dróg,
- kod źródłowy wyboru optymalnych pojazdów i przypisanych im zadań,
- kod źródłowy sprawdzania optymalnej ładowności pojazdu,
- kod źródłowy – zużywanie części eksploatacyjnych wg czasu lub długości przebytej drogi,
- kod źródłowy sprawdzający czas pracy kierowców,
- kod źródłowy sprawdzający popyt i podaż punktów nadawczo-odbiorczych.

Na rysunku 6.7 przedstawiono zapis kodu zamieszczonego na serwerze SQL, który zawiera realne informacje na temat tras przewozowych. Algorytm używa go w celu określania realnych danych o drogach w celu obliczenia optymalnych tras przewozowych dla pojazdów.

```
$BODY$
DECLARE
    sql      text;
    rec      record;
    source   integer;
    target   integer;
    point    integer;
BEGIN
    -- Find nearest node
    EXECUTE 'SELECT id::integer FROM hh_2po_4pgr_vertices_pgr
              ORDER BY the_geom <-> ST_GeometryFromText(''POINT('
              || x1 || ' ' || y1 || ')'',4326) LIMIT 1' INTO rec;
    source := rec.id;

    EXECUTE 'SELECT id::integer FROM hh_2po_4pgr_vertices_pgr
              ORDER BY the_geom <-> ST_GeometryFromText(''POINT('
              || x2 || ' ' || y2 || ')'',4326) LIMIT 1' INTO rec;
    target := rec.id;

    -- Shortest path query (TODO: limit extent by BBOX)
    seq := 0;
    sql := 'SELECT id, geom_way, osm_name, hh_2po_4pgr.cost, source, target,
                  ST_Reverse(geom_way) AS flip_geom FROM ' ||
            'pgr_dijkstra(''SELECT id, source::int, target::int, '
            || quote_ident(costCol) || '::float AS cost FROM '
            || quote_ident(tbl) || ' ', '
            || source || ', ' || target
            || ', false, false), '
            || quote_ident(tbl) || ' WHERE id2 = id ORDER BY seq';

    -- Remember start point
    point := source;

    FOR rec IN EXECUTE sql
    LOOP
        -- Flip geometry (if required)
        IF ( point != rec.source ) THEN
            rec.geom_way := rec.flip_geom;
            point := rec.source;
        ELSE
            point := rec.target;
        END IF;

        -- Calculate heading (simplified)
        EXECUTE 'SELECT degrees( ST_Azimuth(
                    ST_StartPoint('' ' || rec.geom_way::text || '''),
                    ST_EndPoint('' ' || rec.geom_way::text || ''') ) )'
            INTO heading;
```

Rys. 6.7. Kod źródłowy rozmieszczenia dróg

Rysunek 6.8 przedstawia przypisywanie pojazdom transportowym zadań przewożenia towarów. Generowana jest lista zadań, lista optymalnych pojazdów, które zostały do nich przypisane, a także tablica odległości pomiędzy punktami nadawczo-odbiorczymi i środków transportowych. Po dokonaniu obliczeń algorytm określa optymalne rozwiązania, biorąc pod uwagę pojazdy spełniające warunek posiadania wystarczającej ładowności. W tym kroku istnieją takie pojazdy, gdyż we wcześniejszych obliczeniach zostały wykluczone zadania niemożliwe do wykonania.

```

168 function assignTasks($tasks, $vehicles, $distanceTable){
169     $coordsConnector=$GLOBALS["coordsConnector"];
170     /*
171     dostaje:
172     - uszeregowaną listę zadań [id] [load] [start_point[lon][lat]]
173       [end_point[lon][lat]]
174     - listę pojazdów [id] [capacity] [point[lon][lat]]
175     - tablicę odległości
176     zwraca:
177     - przydział zadań do samochodów:
178       "id_samochodu": {
179         "routes": {
180           0: {lat: x, lon: y},
181           1: ...
182         },
183         "tasks": {},
184         "dist": ,
185         "vehicle": {vehicle_data},
186         "total cost": ,
187       }
188     */
189     $bestAssigns = array();
190     for($i=0; $i<100; $i++) {
191         // losowo przypisujemy zadania do samochodów
192         $assigns=array();
193         $totalCost = 0;
194         foreach($tasks as $task){
195             // bierzemy pod uwagę tylko te samochody, które mają wystarczającą
196             // ładowność (jakiś ma na pewno, bo wcześniej usunęliśmy zadania niemożliwe
197             // do wykonania)
198             $matchingVehiclesArray = array();
199             foreach($vehicles as $vehicleId=>$vehicle) {
200                 if($vehicle["capacity"]>=$task["load"]) {
201                     $matchingVehiclesArray[$vehicleId] = $vehicle;
202                 }
203             }
204             $carId = array_rand($matchingVehiclesArray);
205             if($assigns[$carId] == null) {

```

Rys. 6.8. Kod źródłowy wyboru optymalnych pojazdów i przypisanych im zadań

Następnie wyszukiwane są optymalne rozwiązania do realizacji przypisanych zadań transportowych dla pojazdów (rys. 6.9). Możliwe jest również, że takie rozwiązanie zostało wygenerowane w poprzednich obliczeniach. Wówczas algorytm wykorzystuje wcześniejsze obliczenia. W kolejnym kroku porównywane są ze sobą wygenerowane rozwiązania i wybierane najlepsze. W ostatnim kroku algorytm rejestruje informację o sumarycznym koszcie zadania oraz kolejności punktów, przez które należy się przemieścić w celu wygenerowania rozwiązania najbardziej optymalnego.

W przypadku niezapewnienia wykorzystania optymalnej ładowności pojazdu, algorytm wyznacza punkty pośrednie, w których można dokonać załadunku.

Następnie wyniki obliczeń są rejestrowane w tablicy optymalnych rozwiązań.

```

205         $assigns[$carId] = array();
206         $assigns[$carId]["tasks"] = array();
207     }
208     $assigns[$carId]["tasks"][] = $task["id"];
209
210 }
211 // dla każdego samochodu szukamy najkorzystniejszego sposobu zrealizowania
212 // przydzielonych zadań
213 foreach($assigns as $vehicleId => $assign){
214     /**
215     TODO[optymalizacja]: jeśli taki przydział już się pojawił we
216     wcześniejszych iteracjach głównej pętli, to pobieramy gotowy wynik
217     */
218     $carCheapestWay = cheapestWay($assign["tasks"], $vehicleId, $tasks,
219     $vehicles, $distanceTable);
220     $assigns[$vehicleId]["routes"] = $carCheapestWay["route"];
221     $assigns[$vehicleId]["cost"] = $carCheapestWay["cost"];
222     $assigns[$vehicleId]["time"] = $carCheapestWay["time"];
223     $assigns[$vehicleId]["dist"] = $carCheapestWay["dist"];
224     $assigns[$vehicleId]["vehicle"] = $vehicles[$vehicleId];
225     $totalCost += $carCheapestWay["cost"];
226
227 //jeśli dotychczasowe najlepsze rozwiązanie jest droższe niż bieżące, lub
228 //bieżące jest pierwszym znalezionym to podstawiamy je jako dotychczas najlepsze
229 if(empty($bestAssigns) || $bestAssigns["total_cost"] > $totalCost) {
230     $bestAssigns["assigns"] = $assigns;
231     $bestAssigns["total_cost"] = $totalCost;
232 }
233
234 return $bestAssigns["assigns"];
235 }
236
237 function cheapestWay($tasksIds, $vehicleId, $tasks, $vehicles, $distanceTable) {
238     //zwraca sumaryczny koszt i uszeregowaną w najkorzystniejszy sposób listę punktów
239     // (z uwzględnieniem możliwości doładunku)
240     $coordsConnector=GLOBALS["coordsConnector"];
241     if(count($tasksIds) == 0) return null;

```

Rys. 6.9. Kod źródłowy wyboru optymalnych pojazdów i przypisanych im zadań cd.

Weryfikacja optymalnej ładowności pojazdu (rys. 6.10) odbywa się w następujący sposób: na samym początku są wybierane do potencjalnych zadań przewozowych pojazdy posiadające odpowiednią ładowność. Pojazdy nie spełniające warunku są w danym kroku oczekujące do weryfikacji w następnym kroku. Następnie są wyszukiwane optymalne zadania dla pojazdów spełniających warunek ładowności i mieszczących się w ramach czasowych do wykonania przewozu zadanego ładunku. Gdy wszystkie warunki dla danego środka transportu zostały spełnione jest on przypisywany do tablicy rozwiązań. Czynność ta jest powtarzana do momentu pełnego i optymalnego przydzielenia środków transporowych, spełniających warunek ładowności do wskazanego zadania przewozowego. Dzięki takiemu działaniu są rozpatrywane wszystkie pojazdy spełniające warunki narzucone przez algorytm, co gwarantuje optymalne rozwiązania i skuteczność metody.

```

192 |                                     $assigns=array();
193 |                                     $totalCost = 0;
194 |                                     foreach($tasks as $task){
195 |                                         // bierzemy pod uwagę tylko te samochody, które mają
                                         wystarczającą ładowność (jakiś ma na pewno, bo
                                         wcześniej usunęliśmy zadania niemożliwe do wykonania)
196 |                                         $matchingVehiclesArray = array();
197 |                                         foreach($vehicles as $vehicleId=>$vehicle) {
198 |                                             if($vehicle["capacity"]>=$task["load"]) {
199 |                                                 $matchingVehiclesArray[$vehicleId] = $vehicle;
200 |                                             }
201 |                                         }
202 |
203 |                                         $carId = array_rand($matchingVehiclesArray);
204 |                                         if($assigns[$carId] == null) {
205 |                                             $assigns[$carId] = array();
206 |                                             $assigns[$carId]["tasks"] = array();
207 |                                         }
208 |                                         $assigns[$carId]["tasks"][ ] = $task["id"];
209 |
210 |                                     }
211 |                                     // dla każdego samochodu szukamy najkorzystniejszego
                                         sposób zrealizowania przydzielonych zadań
212 |                                     foreach($assigns as $vehicleId => $assign){
213 |                                         /**
214 |                                         TODO[optymalizacja]: jeśli taki przydział już się
                                         pojawił we wcześniejszych iteracjach głównej pętli,
                                         to pobieramy gotowy wynik
215 |                                         ***/
216 |                                         $carCheapestWay = cheapestWay($assign["tasks"],
                                         $vehicleId, $tasks, $vehicles, $distanceTable);
217 |                                         $assigns[$vehicleId]["routes"] = $carCheapestWay[
                                         "route"];

```

Rys. 6.10. Kod źródłowy sprawdzania optymalnej ładowności pojazdu

Rysunek 6.11 przedstawia najważniejszą część zapisu kodu źródłowego, określającą zależność wyboru drogi z kryterium długości trasy lub z kryterium czasu w odniesieniu do zużywania się podzespołów pojazdu. Odpowiadają za to wartości "data-use-per-km" oraz "data-use-per-h" (wiersz 370, 371, rys. 6.11). Jeżeli w programie zaznaczymy opcję optymalizacji trasy względem zużycia wskazanego podzespołu, wówczas program automatycznie sprawdzi jego wartości w odniesieniu do czasu i długości drogi. W przypadku gdy zużycie będzie większe w odniesieniu do długości trasy algorytm będzie wybierał trasy krótsze. Jeżeli zużycie będzie większe w stosunku do czasu – algorytm wybiera najszybszą trasę przewozową.

```

355 width: 400,
356 buttons: [
357     {
358         text: "Oblicz",
359         click: function() {
360             $( this ).dialog( "close" );
361             $( "#process_tasks_dialog" ).dialog( "open" );
362             $( "#process_tasks_progressbar" ).progressbar({
363                 value: false
364             });
365             var averUseKm = 0;
366             var averUseH = 0;
367             var count = 0;
368             var partsArray = [];
369             $.each( $( "#process_tasks_criteria_dialog"
370                 input[type=checkbox]:checked" ), function(){
371                 useKm = parseFloat($(this).attr("data-use-per-km"));
372                 useH = parseFloat($(this).attr("data-use-per-h"));
373                 name = $(this).attr("data-part-name");
374                 averUseKm += useKm;
375                 averUseH += useH;
376                 count++;
377                 partsArray.push([name, useKm, useH]);
378             });
379             if(count != 0){
380                 averUseKm = averUseKm/count;
381                 averUseH = averUseH/count;
382             }
383             console.log(averUseKm+" "+averUseH);
384             processTasks(averUseKm, averUseH, partsArray);
385         }
386     ]
387 );
388 $( "#process_tasks_dialog" ).dialog({
389     autoOpen: false,
390     modal: true,

```

Rys. 6.11. Kod źródłowy – zużywanie części eksploatacyjnych wg czasu lub długości drogi

Funkcja "Jobtime" w opracowanym algorytmie weryfikuje czas pracy kierowców i weryfikuje ich ustawowe nieprzekroczenie (rys. 6.12). W wierszu 240 (patrz rys. 6.12) zawarta jest funkcja wskazująca pierwszą przerwę po 4,5 godzinach jazdy, trwającą 45 minut. Poprzedni wiersz określa, że maksymalny czas prowadzenia pojazdu, liczony pomiędzy odpoczynkami od prowadzenia pojazdów, nie może przekraczać 9 godzin. Począwszy od wiersza 244 (rys. 6.12) pokazane są funkcje, odpowiadające za warunek, iż w ciągu tygodnia (poniedziałek 00.00 – niedziela 23.59) dopuszczalny jest dwukrotnie dzienny czas kierowania pojazdem wynoszący 10 godzin. Jeżeli powyższe warunki nie ograniczają pojazdu, wówczas jest on brany pod uwagę w tablicy obecnych zadań. Jeżeli zaś te warunki nie są spełnione, to praca kierowcy podlega ustawowej przerwie i po niej pojazd powraca do stanu gotowości przewozowej.

```

224 |         click: function() {
225 |             resultDialogOnClose(this);
226 |         }
227 |     }
228 | }
229 | });
230 |
231 | for(task in tasks) {
232 |     routes = tasks[task]["routes"];
233 |     stringId = Math.random().toString(36).substr(2, 5);
234 |
235 |     timeH = parseInt( tasks[task]["time"] );
236 |     timeMin = Math.floor( (tasks[task]["time"] - timeH) * 60 );
237 |
238 |     timeHTemp = timeH + (timeMin/60);
239 |     jobTime = timeHTemp + (Math.ceil(timeHTemp/9) - 1) * 11;
240 |     jobTime += Math.ceil(Math.ceil(Math.ceil(timeHTemp/4.5) -
241 |         1)/2) * 45)/60;
242 |
243 |     jobTimeH = parseInt( jobTime );
244 |     jobTimeMin = Math.floor( (jobTime - jobTimeH) * 60 );
245 |     if(jobTimeMin<10) {
246 |         jobTimeMin = "0" + jobTimeMin;
247 |     }
248 |     if(timeMin<10) {
249 |         timeMin = "0" + timeMin;
250 |     }
251 |
252 |     routeText = $('<div class="task_vehicle_route"><b>Trasa
253 |     przejazdu:</b><br></div>');
254 |     routeConnector = '<span class="ui-icon
255 |     ui-icon-arrowthick-1-e"></span>';
256 |     routePoints = [];
257 |
258 |     for(i=0; i< tasks[task]["routes"].length; i++) {
259 |         if(i>0) $(routeText).append(routeConnector);
260 |         var routePoint = $('<span>' + tasks[task]["routes"][i]

```

Rys. 6.12. Kod źródłowy sprawdzający czas pracy kierowców

Na rysunku 6.14 pokazano dalszą część sprawdzania przez program popytu i podaży punktów nadawczo-odbiorczych. Szacowany jest w niej koszt przejazdu od ostatniego punktu z tablicy trasy do następnego punktu, wytypowanego przez algorytm. W kolejnym kroku sprawdzane jest czy czas odpowiada kryteriom zadania, jeżeli tak to jest on przypisywany do tworzonej tablicy trasy. W tym momencie algorytm buduje optymalną trasę dodając do siebie kolejno węzły, które wyznaczyły ścieżkę przewozu towarów z zapewnieniem spełnienia warunków popytu i podaży. Po tym działaniu jest dodawany odpowiadający wyznaczonej trasie punkt końcowy, w którym ma być zakończone zadanie przewozowe. Następnie porównywana jest wielkość przewożonego ładunku do wielkości ładunku wytypowanego w danym zadaniu. W kolejnym etapie jest szacowany koszt przejazdu pomiędzy ostatnim punktem z tablicy trasy a wyznaczonym punktem końcowym. W przypadku niespełnienia tych warunków są zwiększane kursy dla danego pojazdu i czasu do kolejno wylosowanych punktów odbiorczych. Na kroku końcowym, wyznaczony punkt jest wykluczany z tablicy punktów (węzłów) i przypisany do tablicy trasy.

```

342      $currentCost += $distanceTable[$currentRoute[count(
343      $currentRoute)-1]["lon"].$coordsConnector.
344      $currentRoute[count($currentRoute)-1]["lat"]][$tasks[
345      $point["task_id"]]["end_point"]["lon"].
346      $coordsConnector.$tasks[$point["task_id"]]["end_point"
347      ]["lat"]]["cost"];
348      //zwiększamy dystans
349      $currentDist += $distanceTable[$currentRoute[count(
350      $currentRoute)-1]["lon"].$coordsConnector.
351      $currentRoute[count($currentRoute)-1]["lat"]][$tasks[
352      $point["task_id"]]["end_point"]["lon"].
353      $coordsConnector.$tasks[$point["task_id"]]["end_point"
354      ]["lat"]]["distance"];
355      //zwiększamy czas
356      $currentTime += $distanceTable[$currentRoute[count(
357      $currentRoute)-1]["lon"].$coordsConnector.
358      $currentRoute[count($currentRoute)-1]["lat"]][$tasks[
359      $point["task_id"]]["end_point"]["lon"].
360      $coordsConnector.$tasks[$point["task_id"]]["end_point"
361      ]["lat"]]["time"];
362      // wylosowany punkt usuwamy z tablica_punktów i
363      dodajemy go do tablica_trasy
364      unset($pointsArray[$point["task_id"]."_end"]);
365      $currentRoute[] = array("lon"=>$tasks[$point["task_id"
366      ]]["end_point"]["lon"], "lat"=>$tasks[$point["task_id"
367      ]]["end_point"]["lat"]);

```

Rys. 6.14. Kod źródłowy sprawdzający popyt i podaż punktów nadawczo-odbiorczych cd.

7. WERYFIKACJA WYNIKÓW EKSPERYMENTALNYCH Z RZECZYWISTYMI NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO PRZEDSIĘBIORSTWA TRANSPORTOWEGO

7.1. Badanie systemu eksploatacji pojazdów z wykorzystaniem jego symulatora

Do symulacji zadań przewozowych wykorzystano rzeczywiste dane eksploatacyjne pojazdów taboru samochodowego firmy transportowej, która przewozi materiały budowlane o strukturze jednorodnej. Pojazdy i ich zadania przewozowe uwzględnione do testów to SCANIA 94D w ilości 10 sztuk. Pojazdy te wyposażone są w silniki diesla o pojemności 9 l. i mocy 260 KM. Dopuszczalna masa całkowita pojazdu wynosi 18 t., natomiast maksymalna masa załadunkowa 10,2 t.

Koszty eksploatacyjne pojazdu określono na podstawie danych z firmy, na które składają się: zużycie paliwa na 100 km/h, cykliczne przeglądy pojazdów wykonywane co 20 tys. km oraz gruntowniejszy przegląd wykonywany co 60 tys. km. Koszty eksploatacyjne składają się z: zużycia paliwa określonego na średnim poziomie 22l/100km (dla zadań przewozowych, odbywających się w terenie miejskim wynosi – 25l/100 km, natomiast w trasie – 16l/100km) dane dla SCANIA 94D. Natomiast MAN 12225 – średnie 20l/100km, miasto 22l/100km, trasa – 15l/100km. Przy średniej cenie za olej napędowy na poziomie 4,3 zł zaokrąglony koszt przewozu na dystansie 1 km wynosi uwzględniając tylko paliwo 1 zł.

Na przegląd pojazdów, wykonywany co 20 tys. km, składa się wymiana oleju silnikowego (ok. 25 l.), wymiana filtrów powietrza oraz filtrów olejowych. Według dokumentacji firmy, koszt przeglądu pojazdu oscyluje w okolicach 670 zł brutto.

Dodatkowo w kosztach eksploatacyjnych floty pojazdów uwzględniono obligatoryjny przegląd wykonywany w wymaganym, szerszym zakresie co 60 tys. km. Dotyczy on wymiany oleju silnikowego, filtrów powietrza oraz filtrów olejowych. Dodatkowo należy serwisować tylni most oraz skrzynię biegów, gdzie wymienia się kompleksowo oleje oraz filtry. Według kosztorysu firmy cały koszt przeglądu został oszacowany na poziomie 1170 zł. brutto.

Ponadto w kosztach eksploatacyjnych pojazdów zawarto serwis poduszek lub resorów amortyzujących wykonywany co 60 tys. km. Dla niniejszego przypadku uwzględniono wymianę sworzni wraz z tulejami resorowymi. Koszt ostatniej naprawy wynosił 2940 zł brutto (części + wymiana).

Kluczowym elementem podlegającym zużyciu podczas procesu eksploatacji są opony środków transportu. Dla omawianego zagadnienia opony wymagają wymiany co 90 tys. km. Pojazd posiada 3 osie dlatego wymagane jest zaopatrzenie

w sześć sztuk opon. Wymiana jednej opony kosztuje ok 1700 zł brutto. Sumarycznie daje to koszt na poziomie 10300 zł brutto.

Kolejnymi uwzględnionymi podzespołami eksploatacyjnymi, wymienianymi okresowo są klocki hamulcowe oraz czujniki ich zużycia. Serwis wykonuje się co 150 tys. km a koszty części oraz pracy wynoszą 2200 zł brutto.

Co 20 tys. km wykonuje się również nabijanie centralnego smarowania układów pojazdu. Koszt tej procedury wynosi 80 zł. Tabela 7.1 zawiera sumaryczne zestawienie obowiązkowych przeglądów technicznych.

Tabela 7.1. Zestawienie obowiązkowych przeglądów technicznych

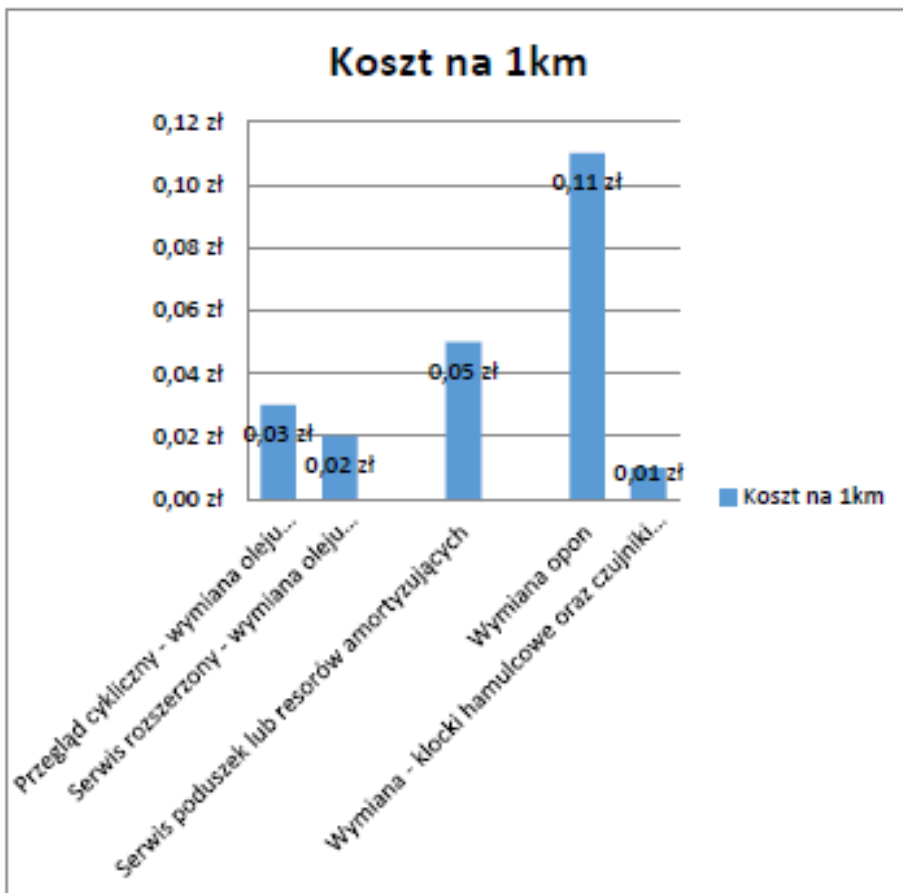
Lp.	Rodzaj napraw głównych	Okres wymiany	Cena za całość (brutto)	Koszt na 1 km
1	Przeгляд cykliczny – wymiana oleju silnikowego filtry powietrza oraz filtry olejowe	co 20 tys. km	670 zł	0,03 zł
2	Serwis rozszerzony – wymiana oleju silnikowego, filtrów powietrza oraz filtrów tylnego mostu oraz skrzyni biegów	co 60 tys. km	1170zł	0,02 zł
3	Serwis poduszek lub resorów amortyzujących + wymiana sworzni wraz z tulejami resorowymi	co 60 tys. km	2940zł	0,05 zł
4	Wymiana opon	co 90 tys. km	10300 zł	0,11 zł
5	Wymiana – klocki hamulcowe oraz czujniki ich zużycia	co 150 tys. km	2200 zł	0,01 zł
6	Łączny koszt przeglądów okresowych na 1 km			0,22 zł

Powyższe zestawienie ukazuje koszty jakie ponosi firma transportowa na obsługę jednego środka transportu w rozliczeniu za jeden przebyty kilometr.

Są to koszty nieuwzględniające ceny paliwa, ponoszone na realizację zadań przewozowych. Łącznie koszt eksploatacyjny za jeden kilometr wraz z paliwem wynosi około 1,32 zł–1,40 zł. Kalkulacja ta została oparta o model bezawaryjnego funkcjonowania pojazdu transportowego, gdyż zdarzenia losowe są ciężkie do przewidzenia i oszacowania. Dzięki takiemu założeniu możliwe zostało wyizolowanie doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdów, wpływających na ich trwałość w wykonanej pracy w danym czasie, a następne zestawienie ich

z całościowymi kosztami obsługi pojazdów oraz zaobserwowaniu zależności pomiędzy nimi.

Na rysunku 7.1 pokazano składowe kosztów eksploatacji pojazdów w firmie transportowej.



Rys. 7.1. Składowe kosztów eksploatacji pojazdów w firmie transportowej na 1 km

Na fotografii 7.2 pokazano flotę pojazdów biorących udział w przewozach i w symulacji obliczeń dokonanych przez opracowany algorytm.

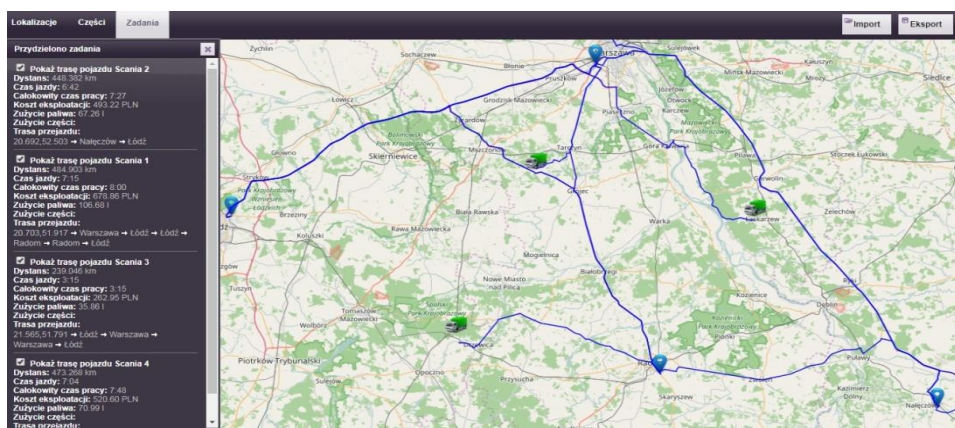


Rys. 7.2. Wizualizacja taboru pojazdów transportowych w firmie transportowej

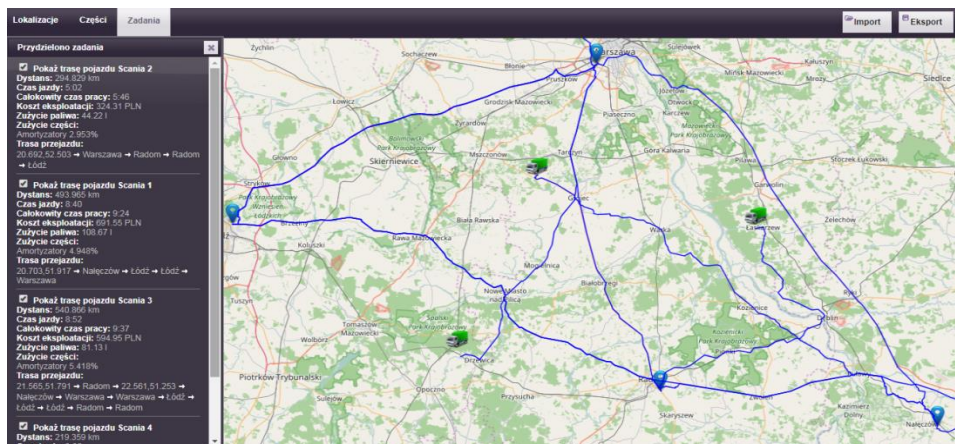
Przeprowadzone testy i badania zostały wykonane w oparciu o prawdziwe dane technologiczne i kosztowe z wykonanych tras przewozowych przez pojazdy firmy transportowej. Wykorzystano przy tym zestawienia z dzienników jazdy oraz zapisy tachografów kierowców. Na tej podstawie dokładnie wyznaczono jakie trasy były wykonywane (odczytane zostały punkty nadawczo-odbiorcze, jak również pośrednie), w jakim czasie, ile ładunku i gdzie został przewieziony. Kluczowymi danymi były informacje określające, które parametry eksploatacyjne w jakich warunkach wpływały na ogólną kondycję techniczną pojazdów. Prześladowano oddzielnie czasy pracy kierowców jak i czas jazdy pojazdów. Dla szczegółowego zweryfikowania parametrów eksploatacyjnych zostały przeanalizowane drogi przebyte w stanie ładownym oraz pustym. Przeprowadzono weryfikację czasu potrzebnego na załadunek, wyładunek pojazdów i przerwy dla kierowców.

Następnie wykorzystując dane wejściowe z firmy przeprowadzono symulację parametrów eksploatacyjnych pojazdów i ich wykorzystania w zadaniach przewozowych. Mając dane rzeczywiste i wyliczone na ich podstawie wszystkie wartości eksploatacyjne, kosztowe, obsługowe, współczynniki (scharakteryzowane i przedstawione w dalszej części pracy), zostały wykonane badania z użyciem algorytmu. Algorytm posiada dwie główne metody pomiarowe z uwzględnieniem narzuconych warunków ograniczających. Trwałość elementów pojazdów była uzależniona w nich od kryterium ładowności, czasu przejazdu oraz długości trasy. Dla obiektywnego badania przyjęto taką samą liczbę dni gotowości do pracy wszystkich pojazdów. Pierwsza metoda pomiarowa zakładała szybsze zużywanie się części w czasie co skutkowało takim wyznaczaniem tarasy by droga była możliwie najszybsza dla zapewnienia największej trwałości części. Drugi przypadek wyznaczał zużywanie się części w zależności od długości przebytej drogi dlatego wyniki obliczeń wskazywały optymalnie krótką trasę. Następnie wyniki zostały porównane na wykresach.

Na rysunkach 7.3 oraz 7.4 zostały zobrazowane wyniki wyznaczania trasy. Rysunek 7.3 przedstawia symulację eksploatacji pojazdu, gdy części zużywają się szybciej w aspekcie czasu przejazdu. W tym przypadku algorytm obliczył optymalne wykorzystanie ładowności pojazdów w taki sposób, aby trasa dla kryterium czasu była szybsza przez co stała się dłuższa do przebycia. W przypadku drugim kryterium było większe zużywanie się podzespołów pojazdów w aspekcie długości przebytej drogi. Dla tego warunku algorytm wyznaczył drogę krótszą, z uwzględnieniem parametrów eksploatacyjnych, ale niejednokrotnie wolniejszą (rys. 7.4).



Rys. 7.3. Wyznaczenie trasy szybszej, ale dłuższej



Rys. 7.4. Wyznaczenie trasy wolniejszej, ale krótszej

W tabelach 7.2, 7.3, 7.4 przedstawiono dane techniczne i eksploatacyjne uzyskane z rzeczywistych tras przewozowych wykonanych w firmie. Informacje te posłużyły do dalszych obliczeń wskaźników eksploatacyjnych floty pojazdów.

Tabela 7.2. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów (informacje z firmy transportowej)

Pojazd:	Dni gotow. do pracy (Dgt)	Dni eksploatacji (De)	Liczba dni inwentaryzacyjnych (Di)	Pokonana trasa [km] (K)	Max Predktech. [km/h]	Średnia prędk. [km/godz.]	Czas jazdy [godz.] (Tj)
Scania1	85	83	90	46489	80	74	627,84
Scania2	82	80	90	41632,5	80	57	736,13
Scania3	90	90	90	45384,7	80	47	974,52
Scania4	84	83	90	47714,3	80	72	662,59
Scania5	85	84	90	46035,5	80	63	725,98
Scania6	89	87	90	48752,5	80	75	652,15
Scania7	83	82	90	45537,2	80	53	854,46
Scania8	80	80	90	44330,6	80	53	835,89
Scania9	81	78	90	42525,1	80	50	842,2
Scania10	85	83	90	49170,6	80	55	891,65
				457572		59	7803,41

Tabela 7.3. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów cd. tabeli 7.2

Czas pracy [godz.] (Td)	Średnie spalanie [l/100 km]	Ładowność [t.] (q)	Przewieziony towar [t.] (Q)	Zużycie paliwa [l.]	Koszt eksploatacyjny [zł]	Przebieg Ładowny [km] (Kl)	Wsk. wyk. przeb. (B)
710,84	20,3	10,2	2593,3	9415,45	62760,17	24597,38	0,7
816,32	21,7	10,2	2506,65	9054,56	56203,86	23587,59	0,71
1064,3	21,8	10,2	2753,34	9902,57	61269,37	23797,82	0,65
745,59	21,6	10,2	2564,82	10285,4	64414,33	25928,09	0,73
809,79	20	10,2	2599,02	9211,94	62147,87	26786,11	0,76
739,45	20,2	10,2	2722,51	9861,8	65815,83	26578,38	0,73
936,55	20,4	10,2	2539,5	9309,68	61475,2	24693,17	0,79
915,47	21,4	10,2	2452,26	9478,82	59846,36	25118,46	0,71
920,38	20,9	10,2	2471,85	8893,96	57408,86	25192,26	0,75
974,74	21,2	10,2	2600,41	10400,4	66380,36	24438,79	0,7
8633,4			25803,6	95814,6	617722,22	25071,81	0,72

Tabela 7.4. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów cd. tabeli 7.3

Wskaźnik gotowości technicznej (WGT)	Wskaźnik wykorzystania taboru (A)	Wskaźnik wykorzystania czasu pracy (F)	Wsk. statyczny sumaryczny wykorzystania ładowności (C)	Wskaźnik statyczny wykorzystania ładowności (S)
76%	0,92	0,88	0,25	254,25
91%	0,89	0,9	0,25	245,75
86%	1	0,92	0,27	269,94
90%	0,92	0,89	0,25	251,45
86%	0,93	0,9	0,25	254,81
91%	0,97	0,88	0,27	266,91
76%	0,91	0,91	0,25	248,97
89%	0,88	0,91	0,24	240,42
89%	0,87	0,92	0,24	242,34
78%	0,92	0,91	0,25	254,94
85%	92%	0,9	0,25	252,98

W kolejnych tabelach 7.5, 7.6 oraz 7.7 zaprezentowane zostały wyniki obliczeń algorytmu z kryterium zużywania się części w czasie.

Tabela 7.5. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów (wyniki obliczeń algorytmu)

Pojazd:	Dni gotow. do pracy (Dgt)	Dni eksploatacji (De)	Liczba dni inwentaryzacyjnych (Di)	Pokonana trasa [km] (K)	Max Predk. tech. [km/h]	Średnia prędk. [km/godz.] (VT)	Czas jazdy [godz.] (Tj)
Scania1	83	83	90	39877	80	51	780,41
Scania2	88	86	90	45426,8	80	56	816,44
Scania3	88	85	90	43450,7	80	69	629,14
Scania4	81	78	90	36040,2	80	51	703,74
Scania5	84	80	90	36312,8	80	49	740,51
Scania6	90	89	90	45510,2	80	66	689,44
Scania7	82	80	90	43673,7	80	81	537,58
Scania8	81	78	90	39686,8	80	55	722,83
Scania9	84	84	90	42513,7	80	57	749,74
Scania10	83	81	90	38873,4	80	63	619,33
				411365,4		59	6989,16

Tabela 7.6. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów (wyniki obliczeń algorytmu) cd. tabeli 7.5

Czas pracy (Td) [godz.]	Średnie spalanie [l/100 km]	Ładowność [t.] (q)	Przewieziony towar [t.] (Q)	Zużycie paliwa [l.]	Koszt eksploatacyjny [zł.]	Przebieg ładowny [km] (Kł)	Wsk. wyk. przeb. (B)
863,27	20,9	10,2	3400,49	8341	53833,97	26 665,01	0,67
902,53	20	10,2	3607,25	9104,87	61326,21	30 490,57	0,83
713,95	21	10,2	3582,52	9119,12	58658,43	29 130,04	0,76
781,57	20,6	10,2	3306,25	7417,04	48654,31	24 121,98	0,85
820,8	21,2	10,2	3438,2	7715,81	49022,29	24 324,12	0,86
778	21,5	10,2	3665,27	9800,75	61438,78	30 436,56	0,78
617,68	21,3	10,2	3325,5	9305,96	58959,49	29 189,78	0,83
800,41	21,1	10,2	3289	8392,06	53577,25	26 702,48	0,79
833,46	20,4	10,2	3446,19	8670,62	57393,5	28 470,21	0,82
700,51	20,7	10,2	3367,92	8047,96	52479,12	26 112,38	0,75
7812,19			34428,59	85915,17	555343,35	274 482,21	0,68

Tabela 7.7. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów (wyniki obliczeń algorytmu) cd. tabeli 7.6

Wskaźnik gotowości technicznej (WGT)	Wskaźnik wykorzystania taboru (A)	Wskaźnik wykorzystania czasu pracy (F)	Wskaźnik statyczny sumarycznego wykorzystania ładowności (C)	Wskaźnik statyczny wykorzystania ładowności (S)
92%	0,92	0,9	0,33	333,38
98%	0,96	0,9	0,35	353,65
97%	0,94	0,88	0,35	351,23
90%	0,86	0,9	0,32	324,14
93%	0,89	0,9	0,34	337,08
99%	0,98	0,89	0,36	359,34
90%	0,89	0,87	0,33	326,03
89%	0,86	0,9	0,32	322,45
93%	0,93	0,9	0,34	337,86
91%	0,9	0,88	0,33	330,19
93%	0,91	0,89	0,34	337,54

W dalszej części, w tabelach 7.8, 7.9, 7.10 zostały zamieszczone dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów, których praca była symulowana z kryterium zużywania się części zależnej od długości przebytej drogi.

Tabela 7.8. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów (wyniki obliczeń algorytmu)

Pojazd:	Dni gotow. do pracy (Dgt)	Dni eksploatacji (De)	Liczba dni inwentaryzacyjnych (Di)	Pokonana trasa [km] (K)	Max Predktech. [km/h]	Średnia prędk. [km/godz.] (VT)	Czas jazdy [godz.] (Tj)
Scania1	83	82	90	36629,1	80	35	1045,89
Scania2	88	86	90	35124,2	80	36	982,61
Scania3	88	84	90	35630,9	80	40	882,46
Scania4	81	81	90	38656,3	80	59	657,45
Scania5	84	81	90	40083	80	57	704,29
Scania6	90	89	90	39844,8	80	50	793
Scania7	82	78	90	36673,3	80	43	845,28
Scania8	81	80	90	37552,5	80	40	927,87
Scania9	84	83	90	37460,4	80	45	832,7
Scania10	83	79	90	36378,2	80	42	865,35
				374032,6		44	8536,89

Tabela 7.9. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów (wyniki obliczeń algorytmu) cd. tabeli 7.8

Czas pracy (Td) [godz.]	Średnie spalanie [l/100 km]	Ładowność [t.] (q)	Przewieziony towar [t.] (Q)	Zużycie paliwa [l.]	Koszt eksploatacyjny [zł]	Przebieg ładowny (Kl)	Wsk. wyk. przeb. (B)
1128,32	21,2	10,2	3230,46	7773,46	49449,23	24597,38	0,83
1068,53	21,5	10,2	3156,34	7535,47	47417,62	23587,59	0,83
966,43	20,9	10,2	3134,71	7436,46	48101,76	23797,82	0,7
738,46	20,8	10,2	2892,97	8052,5	52186,02	25928,09	0,76
784,97	20,2	10,2	3008,43	8093,46	54112,05	26786,11	0,68
881,8	21,1	10,2	3207,11	8425,9	53790,44	26578,38	0,7
923,16	20,8	10,2	2909,81	7628,92	49508,9	24693,17	0,78
1007,89	20,4	10,2	2877,87	7645,54	50695,86	25118,46	0,71
916,01	21,7	10,2	3015,41	8114,29	50571,54	25192,26	0,68
944,69	20,2	10,2	2946,93	7339,98	49110,55	24438,79	0,84
9360,27			30380,05	78045,99	504943,96	25071,81	0,75

Tabela 7.10. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów (wyniki obliczeń algorytmu) cd. tabeli 7.9

Wskaźnik gotowości technicznej (WGT)	Wskaźnik wykorzystania taboru (A)	Wskaźnik wykorzystania czasu pracy (F)	Wsk. statyczny sumaryczny wykorzystania ładowności (C)	Wskaźnik statyczny wykorzystania ładowności (S)
92%	0,92	0,93	0,32	316,71
98%	0,95	0,92	0,31	309,45
97%	0,93	0,91	0,31	307,32
90%	0,9	0,89	0,28	283,62
93%	0,9	0,9	0,29	294,94
99%	0,99	0,9	0,31	314,42
90%	0,87	0,92	0,29	285,28
89%	0,89	0,92	0,28	282,14
93%	0,93	0,91	0,30	295,63
91%	0,88	0,92	0,29	288,91
93%	0,91	0,91		297,84

Powyższe tabele zawierają dane techniczne i eksploatacyjne dla trzech przypadków omówionych w pierwszej części przypadków. Do gruntownego potwierdzenia słuszności i skuteczności metody dodatkowo posiłkowano się wskaźnikami używanymi w eksploatacji transportu.

W tym celu wykorzystano m.in.:

- wskaźnik gotowości technicznej, wyrażony w %i określony ilorazem liczby dni, w którym pojazd jest gotowy do pracy do liczby dni inwentarzowych, w jakich został on zaplanowany do pracy:

$$At = \frac{Dgt}{Di} \quad (27)$$

- wskaźnik wykorzystania taboru czyli iloraz liczby dni, w którym pojazd był eksploatowany do liczby dni inwentarzowych:

$$A = \frac{De}{Di} \quad (28)$$

- wskaźnik wykorzystania czasu pracy kierowcy, jest to stosunek czasu jazdy kierowcy do całego czasu jego pracy:

$$F = \frac{T_j}{T_d} \quad (29)$$

- wskaźnik prędkości technicznej – jest średnią prędkością techniczną pojazdu, jest to stosunek przebiegu ogółem do czasu jazdy kierowcy:

$$V_t = \frac{K}{T_j} \quad (30)$$

- wskaźnik przebiegu ogółem czyli sumaryczną pokonaną trasę pojazdu, obliczany jako iloczyn prędkości technicznej i czasu jazdy:

$$K = V_t * T_j \quad (31)$$

- wskaźnik statyczny sumarycznego wykorzystania ładowności, jest sumą mas przewożonego ładunku podzieloną przez ładowność pojazdu:

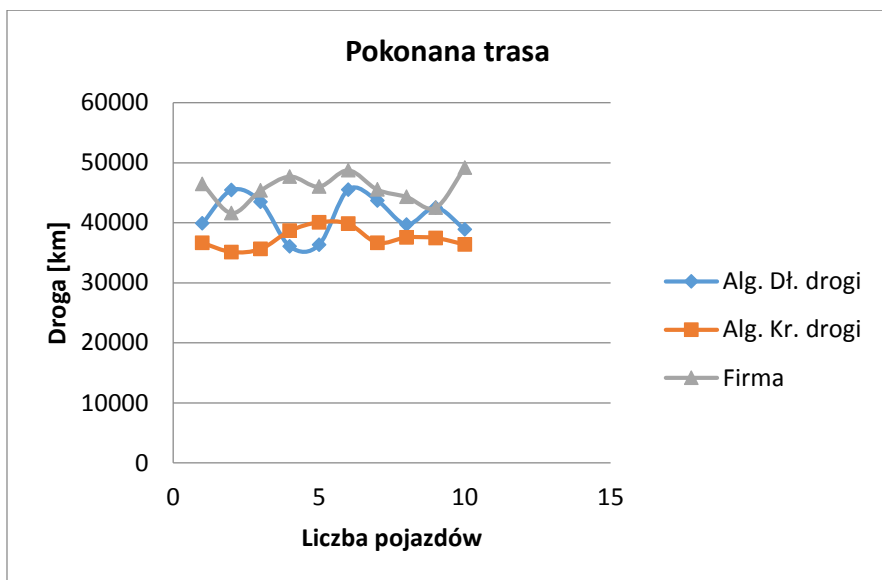
$$C = \frac{\sum Q}{q} \quad (32)$$

- Wskaźnik wykorzystania przebiegu, iloraz przebiegu ładownego do przebiegu ogólnego:

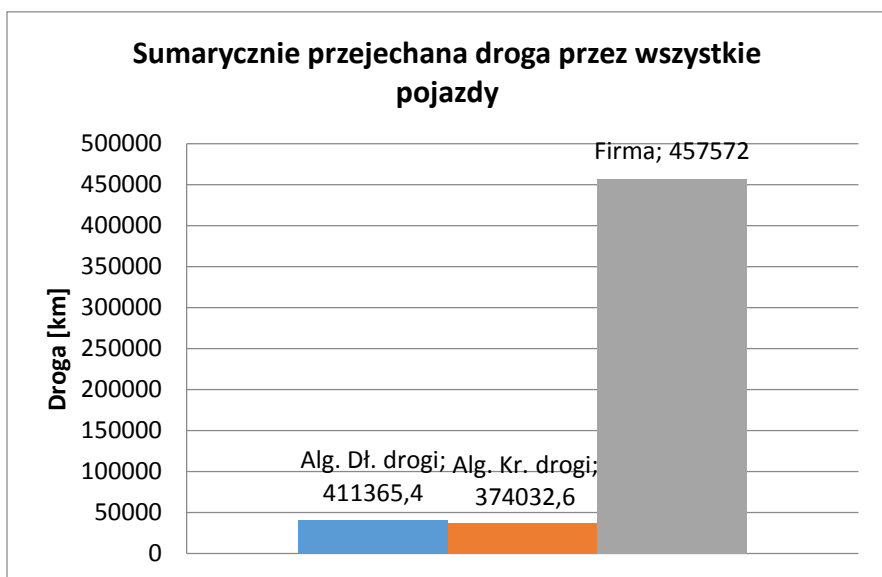
$$B = \frac{K_l}{K} \quad (33)$$

7.2. Interpretacja wyników badań

W rezultacie przeprowadzonych eksperymentów obliczeniowych można zauważyć, że proces eksploatacji pojazdów przy warunkach krótszego czasu zużycia części przekłada się na pokonywaną dłuższą drogę i większe koszty eksploatacyjne. Natomiast w przypadku odwrotnym algorytm przez krótszą drogę generuje mniejsze koszty eksploatacyjne. W obu przypadkach wyniki algorytmu są bardziej racjonalne niż wyniki rzeczywiste, zarejestrowane w firmie transportowej. Zobrazowano to na rysunkach 7.5–7.13, gdzie dla krótszego czasu zastosowano skrót "Alg. Dł. drogi", a dłuższego "Alg. Kr. drogi":

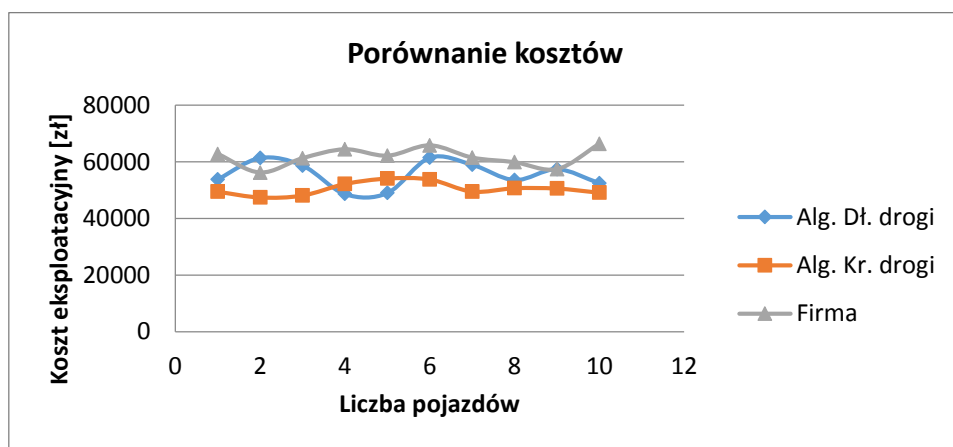


Rys. 7.5. Porównanie przebytej drogi dla pojazdów w zależności od przyjętego kryterium czasu lub przebytej odległości



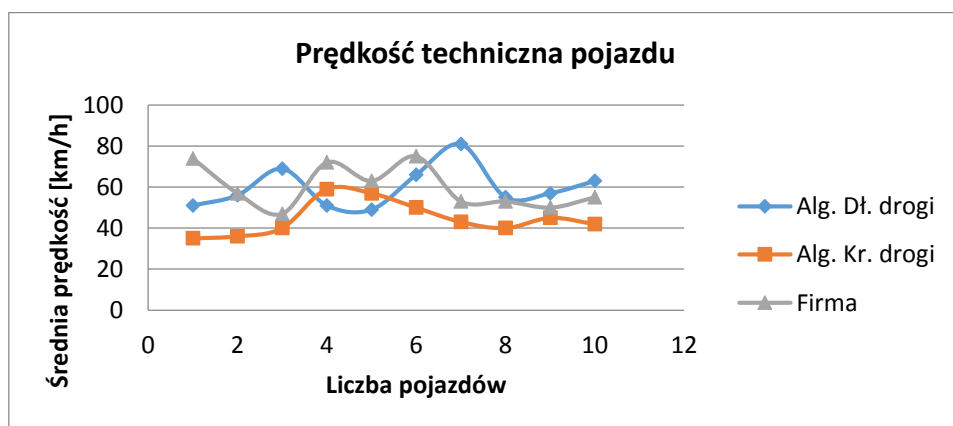
Rys. 7.6. Sumaryczne zestawienie przebytych długości tras przez wszystkie pojazdy

Jak można zauważyć na poniższym wykresie (rys. 7.7) poniesione koszty eksploatacyjne są tożsame z przebytą drogą transportową i warunkami brzegowymi opracowanego algorytmu.



Rys. 7.7. Wykaz kosztów eksploatacyjnych

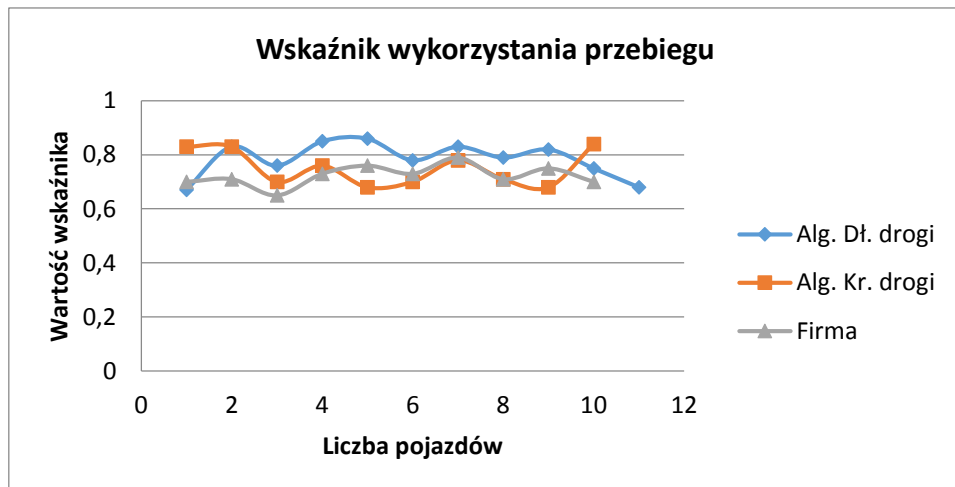
Rysunek 7.8 przedstawia wykresy średniej prędkości technicznej pojazdów. Brak zbliżonej do siebie stałej prędkości i zauważalna szeroka rozbieżność dla wszystkich przypadkach są spowodowane odmiennymi rejonami transportowymi, w których pojazdy wykonywały usługi przewozowe. Pewne wyznaczone zadania przewozowe realizowane są tylko w określonych rejonach dróg, które ograniczone są dozwoloną prędkością jazdy. Jednakże zauważalna jest tendencja wzrostowa dla "niebieskiego" algorytmu, który zakładał, że czas jest głównym parametrem eksploatacyjnym dla pojazdów transportowych.



Rys. 7.8. Wykresy średnich prędkości technicznych

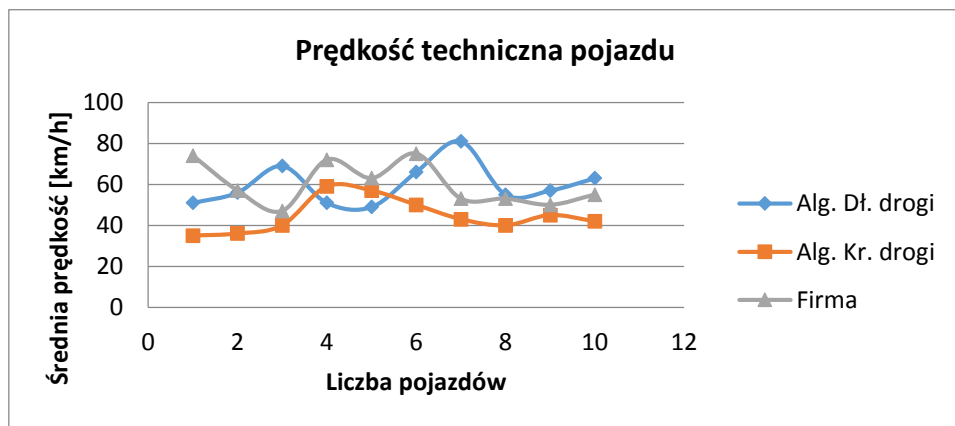
Na rysunku 7.9 przedstawione są wskaźniki wykorzystania przebiegu pojazdów. Charakteryzują one przewóz ładunku z wykorzystaniem optymalnego przebiegu z maksymalną ładownością. Wykres dowodzi, że firma transportowa

miała problem z osiągnięciem optymalnego przebiegu w stanie ładownym. Należy podkreślić, że opracowany algorytm, w zależności od zadanych parametrów eksploatacyjnych, znajduje rozwiązanie racjonalne.



Rys. 7.9. Wskaźniki wykorzystania przebiegu pojazdów

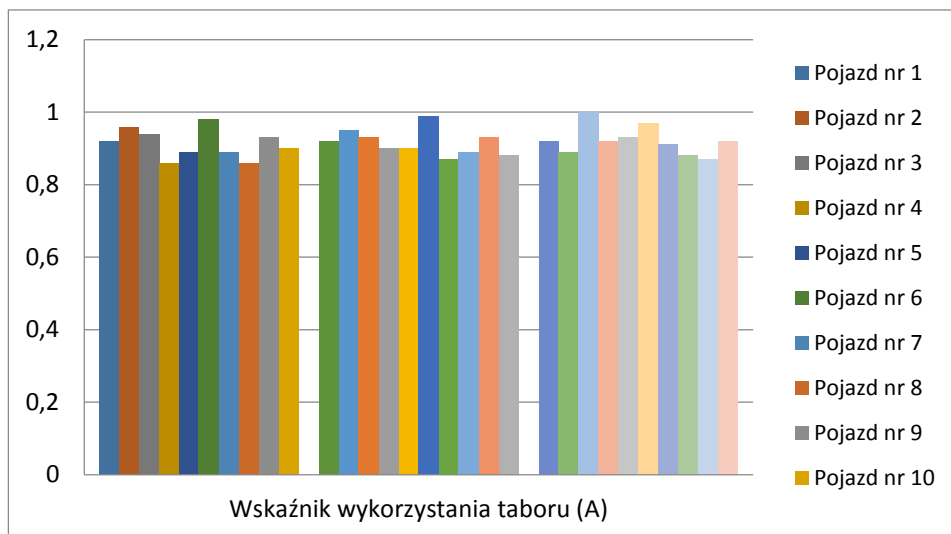
Rysunek 7.10 przedstawia wartości wskaźnika gotowości technicznej pojazdów w funkcji czasu, funkcji oraz dane uzyskane z firmy transportowej.



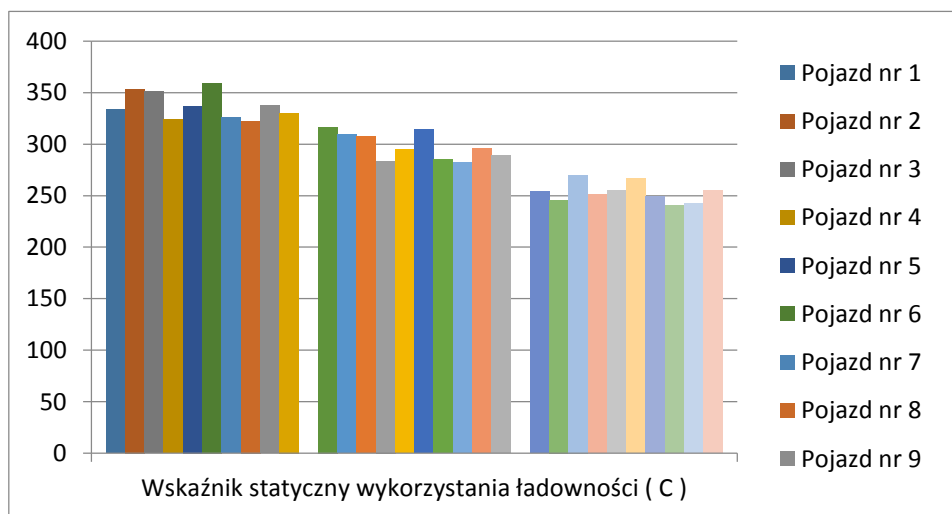
Rys. 7.10. Porównanie wskaźników gotowości technicznej

Rysunek 7.11 przedstawia zestawienie obliczonych wskaźników wykorzystania taboru pojazdów oraz danych firmy. W tym przypadku wartości są do siebie zbliżone gdyż symulacje algorytmu odbyły się w warunkach zbliżonych do rzeczywistych, charakterystycznych dla firmy. Z rysunku 7.11 wynika, że w trzech

przypadkach był maksymalnie wykorzystywany tabor pojazdów, jednakże różnice są widoczne w ilości wykonanej pracy, wykorzystaniu parametrów eksploatacyjnych czy zachowaniu większej trwałości pojazdów.



Rys. 7.11. Zestawienie wskaźników wykorzystania taboru pojazdów



Rys. 7.12. Wykaz statycznych wskaźników wykorzystania ładowności

Rysunek 7.12 charakteryzuje wykorzystanie ładowności pojazdów w przewozie ładunków. Określając ten wskaźnik, algorytm miał za zadanie wyznaczyć dłuższe

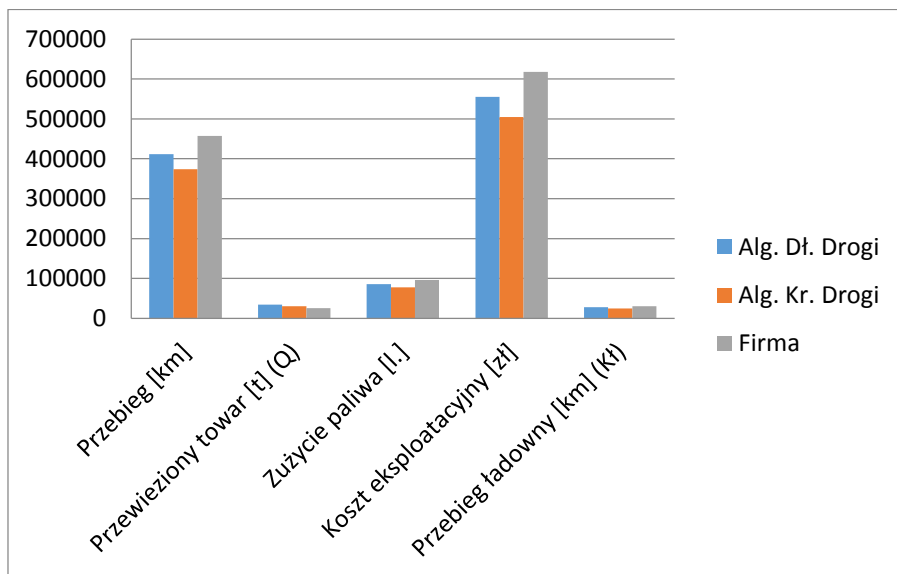
kursy w krótszym czasie. W rezultacie – pojazdy miały możliwość „zasilić w ładunek” więcej punktów odbiorczych.

Poniższa tabela 7.11 przedstawia zestawienie kosztów eksploatacyjnych dla trzech różnych wariantów: kryterium czasu, kryterium drogi oraz dane rzeczywiste z firmy. Porównano przebieg w stosunku do przewiezionego towaru, przebiegu ładownego, zużycia paliwa i łącznych kosztów eksploatacyjnych.

Tabela 7.11. Zestawienie kosztów eksploatacyjnych dla różnych wariantów

Wariant:	Przebieg [km]	Przewieziony towar [t.] (Q)	Zużycie paliwa [l.]	Koszt eksploatacyjny [zł]	Przebieg ładowny [km]
Alg. Dł. Drogi	411365,4	34428,59	85915,17	555343,35	27564,31
Alg. Kr. Drogi	374032,6	30380,05	78045,99	504943,96	25071,81
Firma	457572	25803,66	95814,68	617722,22	30619,47295

Na rysunku 7.13 pokazano koszty eksploatacyjne pojazdów w zależności od ich dobranych parametrów eksploatacyjnych. Można zauważyć, że racjonalne dobieranie parametrów eksploatacyjnych przyniesie niższe koszty eksploatacyjne, dłuższą i wydajniejszą pracę pojazdu w tej samej jednostce czasu. Dla porównania pokazano trzy warianty realizacji kursów: krótszy czas ale dłuższa droga, krótsza droga ale dłuższy czas oraz wariant kursów realizowanych przez firmę transportową.



Rys. 7.13. Wpływ kosztów eksploatacyjnych na parametry przewozowe

Tabela 7.12 obrazuje procentowe zużycie wybranych części podczas eksploatacji pojazdów samochodowych. W tym celu porównano ze sobą trzy, opisane wyżej, warianty eksploatacji. Ze względu na to, że wszystkie przypadki realizowały te same zadania transportowe, z tą samą ilością dni gotowości do pracy i tą samą ilością dostępnych środków transportu, o takiej samej ładowności można było uśrednić, dla każdego zadania, łącznie wykonany przebieg pojazdów. Dla poszczególnych wariantów obliczeń przebieg wynosił:

- dla rzeczywistych danych, uzyskanych z firmy transportowej 45757,2 km,
- w przypadku symulacji z kryterium wyszukiwania krótszych tras 37403,27 km,
- w przypadku symulacji z kryterium wyszukiwania szybszych ale dłuższych tras 41136,53 km.

Jak można zauważyć, dla wszystkich cyklicznych działań serwisowych największe zużycie procentowe wskazanych części otrzymano przy braku stosowania przez firmę transportową narzędzi do optymalnego dobierania parametrów eksploatacyjnych pojazdów i planowania zadań przewozowych. W tym przypadku zużycie części dla przeglądu wykonywanego co 20 tys. km wynosiło 228,79%, co oznaczało blisko 2/3 czasu, który pozostał do trzeciego przeglądu. W przypadku przeglądu co 60 tys./km do następnego przeglądu pozostało 22,21%, dla 90 tys. km – 49,16% ,a dla wymiany części co 150 tys. km – 69,34%.

Symulacja kursów z kryterium krótkich tras pokazała dużo mniejsze zużycie części i wynosiło ono odpowiednio: dla okresu wymiany co 20 tys. km – 187,02% (dobiega drugi przegląd), co 60 tys. km – 63,59%, co 90 tys. km – 41,56% i co 150 tys. km – 25,06%.

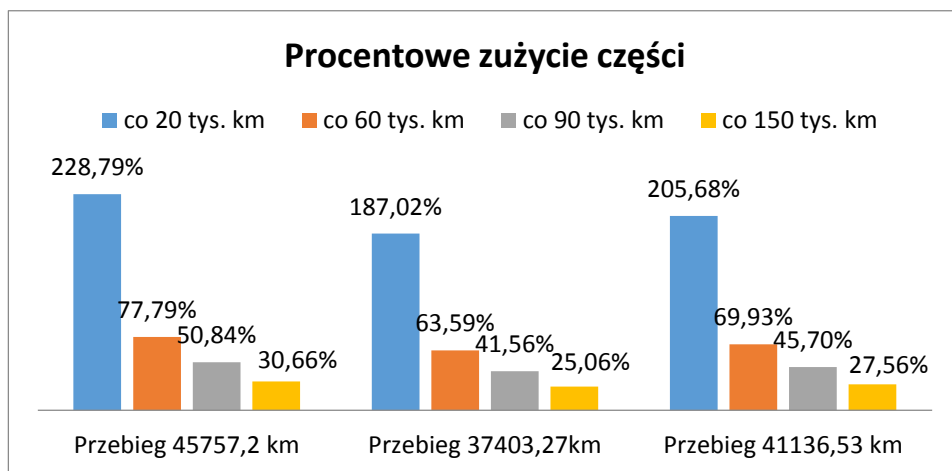
Ostatni przypadek obliczeń zużycia części pojazdów dotyczył symulacji kursów szybszych ale często dłuższych. Wyniki tej symulacji są następujące: dla okresu wymiany co 20 tys. km – zużycie części 205,68%, przy wymianie co 60 tys. km – 69,93%, przy wymianie co 90 tys. km – 45,70%, natomiast przy wymianie co najdłuższy przebieg wynoszący 150 tys. km – 27,56%.

Tabela 7.12. Procentowe zużycie części podczas eksploatacji pojazdów

Rodzaj napraw głównych	Okres wymiany	Zużycie części w % na 1 km	Sumaryczne % zużycie części przy całkowitych średnich przebiegach		
			Przebieg 45757,2 km	Przebieg 37403,27 km	Przebieg 41136,53 km
Przegląd cykliczny – wymiana oleju silnikowego filtry powietrza oraz filtry olejowe	co 20 tys. km	0,005%	228,79%	187,02%	205,68%

Serwis rozszerzony – wymiana oleju silnikowego, filtrów powietrza oraz filtrów	co 60 tys. km	0,0017%	77,79%	63,59%	69,93%
Serwis poduszek lub resorów amortyzujących + wymiana sworzni wraz z tulejami resorowymi	co 60 tys. km	0,0017%	77,79%	63,59%	69,93%
Wymiana opon	co 90 tys. km	0,0011%	50,84%	41,56%	45,70%
Wymiana – klocki hamulcowe oraz czujniki ich zużycia	co 150 tys. km	0,00067%	30,66%	25,06%	27,56%

Na rysunku 7.14 zobrazowano, opisane wyżej, wyniki badań nad zużyciem części pojazdu, wpływającym na jego trwałość:



Rys. 7.14. Procentowe zużycie wybranych części eksploatacyjnych w trzech wariantach zarządzania flotą samochodową

Wyniki badań symulacyjnych, w których otrzymano średni przebieg 37403,27 km oraz 41136,53 km są niższe od przebiegu 45757,2 km, uzyskanego przez firmę nie stosującą narzędzi do zarządzania procesem transportowym i obsługą techniczną pojazdów, z uwzględnieniem odpowiedniego doboru parametrów eksploatacyjnych. Badania wykazały, że zużywanie części w krótszym czasie skutkować

będzie wyborem szybszych tras, zazwyczaj dłuższych, czego zaletą będzie optymalny czas wykonania zadań przewozowych oraz większa ilość przewożonego ładunku. Szybsza droga utożsamiana jest zazwyczaj z krótszą drogą. Opracowany algorytm, dzięki korzystaniu z realnych danych o trasach, bierze pod uwagę ograniczenia prędkości, które znajdują się na drogach niższej klasy. Ponadto opierając się na kryterium poprawy trwałości pojazdu ze względu na zużycie części w jednostce przebytej drogi, algorytm wyszukuje drogi krótsze, jednakże obarczone ograniczeniami prędkości. W tym przypadku czas pracy będzie większy, a koszt eksploatacyjny będzie niższy przy mniejszej ilości przewiezionego ładunku. Należy również zaznaczyć, że wyniki symulacji bezpośrednio zależą od przyjętych parametrów eksploatacyjnych, topografii dróg po jakich realizowane są zadania przewozowe, jak również odległości punktów nadawczo-odbiorczych od siebie, co rzutuje na ilość przewiezionego ładunku w jednostce czasu. Należy zaznaczyć, że metoda badawcza zaimplementowana w opracowany algorytm daje możliwość definiowania dowolnych podzespołów i części pojazdów, których zużycie ma zostać sparametryzowane w zależności od przyjętych warunków brzegowych w jednostce czasu lub przebytej drogi.

WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

Celem zaprezentowanych badań było przedstawienie metody optymalizacji parametrów eksploatacyjnych pojazdu w aspekcie jego trwałości, skierowanej do przedsiębiorstw zajmujących się transportem towarów jednorodnych. Przeprowadzone badania dowodzą, że optymalizacja parametrów eksploatacyjnych pojazdu w celu zwiększenia jego czasu racjonalnego użytkowania jest w pełni zasadna przy wykorzystaniu opracowanego algorytmu. Dla poprawnego opracowania algorytmu niezbędna była znajomość zadań optymalizacyjnych do wykonania oraz przyjmowanych kryteriów ograniczających.

W związku z tym rozpoznano optymalny dobór parametrów eksploatacyjnych względem:

- czasu na dostarczenie towaru,
- wydajnego wykorzystania ładowności pojazdu,
- racjonalnego eksploataowania jednostki transportowej.

Zidentyfikowano zapis ograniczeń działania metody względem funkcji kryteriów optymalizacji parametrów eksploatacyjnych pojazdów.

Wyniki te pozwoliły na sformułowanie metody optymalizacji parametrów użytkowania taboru samochodowego w celu zwiększenia ich niezawodności i wydajności w trakcie realizacji zadań transportowych.

W celu uzyskania powyższych założeń część praktyczna pracy pokazała dobór optymalnych parametrów eksploatacyjnych, gwarantujący większą niezawodność pojazdów transportowych.

Analizę metody optymalizacji parametrów eksploatacyjnych pojazdu w aspekcie jego trwałości zaprezentowanej w rozprawie wykonano na podstawie rzeczywistych danych, uzyskanych z przedsiębiorstwa transportowego. Zaletą metody jest jej uniwersalność, która pozwala na stosowanie jej w dowolnym przedsiębiorstwie transportowym, przy różnej wielkości floty pojazdów, zajmujących się przewożeniem materiałów jednorodnych. Dodatkowo algorytm nie posiada ograniczeń współrzędnych geograficznych i topografii tras przewozowych, na których odbywa się rozwójka ładunków. Dzięki zastosowaniu realnych map posiadających rzeczywiste trasy przewozowe nie ma ograniczeń na stosowanie algorytmu w kraju jak i poza jego granicami. Metoda pomaga w podejmowaniu strategicznych decyzji w optymalnym wykorzystaniu taboru pojazdów w firmie przewozowej, w momencie dużej ilości zleceń realizowanych w tym samym czasie.

Podsumowując, bezpośrednimi efektami badań nad doborem parametrów eksploatacyjnych są:

- optymalne wykorzystanie ładowności pojazdu,
- eliminacja przeładowania oraz zwiększenie „współczynnika wykorzystania ładowności pojazdu” – poprawa stosunku liczby kilometrów przejechanych z ładunkiem do ogólnej liczby przejechanych kilometrów,
- minimalizacja czasu pracy oraz pustych przebiegów,
- zwiększenie niezawodności i trwałości eksploatacyjnej pojazdów,
- wydłużenie racjonalnej eksploatacji – obniżenie kosztu jednostkowego pojazdu transportowego,
- zmniejszenie zbędnych postojów, częstości procesu odnowy, czasów przebywania pojazdów w naprawach głównych, bieżących oraz okresowych,
- nasilenie wykorzystania pojazdów transportowych,
- zwiększenie poziomu eksploatacji przewozowej,
- zwiększenie zapasu trwałości pojazdów.

Po przeprowadzeniu badań nad przedstawioną metodą optymalizacji parametrów eksploatacyjnych pojazdu w aspekcie jego trwałości można stwierdzić, że w/w problem pozostaje naukowo otwartym. Wydaje się, że w przyszłości problematyka ta powinna dotyczyć:

- opracowania metody zapewniającej optymalny transport materiałów niejednorodnych,
- połączenie aplikacji z systemem GPS dla obrazowania i monitorowania aktualnego położenia pojazdów,
- dodanie do kosztów eksploatacji kosztów przeglądów okresowych podzielonych na podstawowe grupy układów: zawieszenia (podwozia), napędowego i przeniesienia napędu, układu jezdnego, osprzętu eklektycznego, itp.,
- uwzględnienie kosztów osobowych (diety) i ubezpieczeń.

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1.1. Diagnostyczne sterowanie systemem eksploatacji maszyn	15
Rys. 1.2. Model systemu eksploatacji maszyn	16
Rys. 1.3. Podsystemy systemu eksploatacji	17
Rys. 1.4. Model systemu użytkowania z uwzględnieniem otoczenia	17
Rys. 1.5. Liniowy model systemu użytkowania z uwzględnieniem otoczenia	18
Rys. 1.6. Model systemu zamknięty i otwarty	18
Rys. 1.7. Model systemu zamknięty i otwarty. Intensywność uszkodzeń	20
Rys. 2.1. Fazy istnienia maszyny	24
Rys. 5.1. Schemat budowy i zasady działania algorytmu	55
Rys. 5.2. Przykład mapy OpenStreetMap	62
Rys. 5.3. Fragment tabeli wierzchołków	63
Rys. 5.4. Fragment tabeli krawędzi	64
Rys. 5.5. Tworzenie tras przewozowych z uwzględnieniem Geoservera	65
Rys. 5.6. Wykazanie szczegółów mapy Geoservera	66
Rys. 5.7. Oznaczenia lokacji	67
Rys. 5.8. Weryfikacja odległości przejazdu pomiędzy dwoma punktami	68
Rys. 6.1. Wizualizacja aplikacji "Logistics"	69
Rys. 6.2. Interfejs dodawania nowego pojazdu	70
Rys. 6.3. Interfejs dodawania części eksploatacyjnej	72
Rys. 6.4. Zbiór zadań przewozowych	72
Rys. 6.5. Prezentacja wyników obliczeń algorytmu	74
Rys. 6.6. Wizualizacja wygenerowanych tras przewozowych	75
Rys. 6.7. Kod źródłowy rozmieszczenia dróg	76
Rys. 6.8. Kod źródłowy wyboru optymalnych pojazdów i przypisanych im zadań	77
Rys. 6.9. Kod źródłowy wyboru optymalnych pojazdów i przypisanych im zadań cd.	78
Rys. 6.10. Kod źródłowy sprawdzania optymalnej ładowności pojazdu	79
Rys. 6.11. Kod źródłowy – zużywanie części eksploatacyjnych wg czasu lub długości drogi	80
Rys. 6.12. Kod źródłowy sprawdzający czas pracy kierowców	81
Rys. 6.13. Kod źródłowy sprawdzający popyt i podaż punktów nad.-odb.	82
Rys. 6.14. Kod źródłowy sprawdzający popyt i podaż punktów nad.-odb. cd.	83
Rys. 7.1. Składowe kosztów eksploatacji pojazdów w firmie transportowej na 1 km	87
Rys. 7.2. Wizualizacja taboru pojazdów transportowych w firmie transportowej	88
Rys. 7.3. Wyznaczenie trasy szybszej, ale dłuższej	89
Rys. 7.4. Wyznaczenie trasy wolniejszej, ale krótszej	89
Rys. 7.5. Porównanie przebytej drogi dla pojazdów w zależności od przyjętego kryterium czasu lub przebytej odległości	96
Rys. 7.6. Sumaryczne zestawienie przebytych długości tras przez wszystkie pojazdy	96
Rys. 7.7. Wykaz kosztów eksploatacyjnych	97
Rys. 7.8. Wykresy średnich prędkości technicznych	97
Rys. 7.9. Wskaźniki wykorzystania przebiegu pojazdów	98

Rys. 7.10. Porównanie wskaźników gotowości technicznej	98
Rys. 7.11. Zestawienie wskaźników wykorzystania taboru pojazdów	99
Rys. 7.12. Wykaz statycznych wskaźników wykorzystania ładowności	99
Rys. 7.13. Wpływ kosztów eksploatacyjnych na parametry przewozowe	100
Rys. 7.14. Procentowe zużycie wybranych części eksploatacyjnych w trzech wariantach zarządzania flotą samochodową	102

WYKAZ TABEL

Tabela 2.1. Rodzaje obsługi urządzeń technicznych	29
Tabela 7.1. Zestawienie obowiązkowych przeglądów technicznych	86
Tabela 7.2. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów (informacje z firmy transportowej)	90
Tabela 7.3. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów cd. tabeli 7.2.....	90
Tabela 7.4. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów cd. tabeli 7.3	91
Tabela 7.5. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów (wyniki obliczeń algorytmu)...	91
Tabela 7.6. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów (wyniki obliczeń algorytmu) cd. tabeli 7.5	92
Tabela 7.7. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów (wyniki obliczeń algorytmu) cd. tabeli 7.6	92
Tabela 7.8. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów (wyniki obliczeń algorytmu)...	93
Tabela 7.9. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów (wyniki obliczeń algorytmu) cd. tabeli 7.8.....	93
Tabela 7.10. Dane techniczne i eksploatacyjne pojazdów (wyniki obliczeń algorytmu) cd. tabeli 7.9	94
Tabela 7.11. Zestawienie kosztów eksploatacyjnych dla różnych wariantów	100
Tabela 7.12. Procentowe zużycie części podczas eksploatacji pojazdów	101

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Rais, F. Alvelos, M.S. Carvalho, *New mixed integer-programming model for the pickup-and-delivery problem with transshipment*, *European Journal of Operational Research*, Vol. 235, Issue 3, 2014.
- [2] Aczel A.D., *Statystyka w zarządzaniu*, PWN, Warszawa 2000.
- [3] Adamiec P. Dziubiński J., Filipczyk J. *Technologia napraw pojazdów samochodowych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [4] Ambroziak T., Pyza D, Ratkiewicz A., *Wybrane aspekty wyboru operatora usług logistycznych*, *Prace Naukowe Politechniki Radomskiej „Transport”* nr 1(21)/2005. II Konferencja Naukowo-Techniczna, Logistyka, Systemy Transportowe, Bezpieczeństwo w Transporcie, Szczyrk 2005.
- [5] Ambroziak T., Pyza D, Ratkiewicz A., *System obsługi technicznej przedsiębiorstw transportowych*, *Wybrane Zagadnienia Logistyki Stosowanej*. Rocznik 2005, nr 2. VIII Konferencja Logistyki Stosowanej „Total Logistic Management”, Zakopane 2004.
- [6] Anderson Ch., *The Long Tail: Why the Future of Business is Selling Less of More*, Hyperion, 2006.
- [7] Ball D., Schleifer A., *Decision Making under Uncertainty*, Course Technology, Albany 1995.
- [8] Ballou R. H., DISPLAN, A Multiproduct Plant/Warehouse Location Model with Nonlinear Inventory Cost, *Journal of Operations Management* 5, Vol. 1, 1984.
- [9] Barber E., *How to measure the ‘value’ in value chains*, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 38, No. 9, 2008.
- [10] Basiewicz T., Gołaszewski A., Rudziński L., *Infrastruktura Transportu*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
- [11] Beaujon G. Turnquist M., *A Model for Fleet Sizing and Vehicle Allocation* *Transportation Science*, Vol. 25, No. 1, 1991.
- [12] Bergmann R., Rawlings C., *Transport management. Future directions: redefining the role of transport*, W: Gattorna J. (ed.): *Strategic supply chain alignment. Best practice in supply chain management*, Gower Publishing Limited, Oxon 1998.
- [13] Bocheński C., *Badania kontrolne samochodów*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000.
- [14] Borshchev A. Fillipov A., *From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools* The 22nd International Conference of the System Dynamics Society, 2004.
- [15] Bradley S., Hax A., Magnanti T., *Applied Mathematical Programming*, Addison-Wesley Publishing, San Francisco 1977.
- [16] Burnewicz J., Grzywacz W., *Ekonomika transportu*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 1989.

- [17] Całczyński A., *Metody optymalizacyjne w obsłudze transportowej rynku*, PWE, Warszawa 1992.
- [18] Całczyński A., Śleszyński Z., *Współzależnie sprzężone modele lokalizacji ośrodków dystrybucji i rozwózki towarów*, Prace Naukowe WSI w Radomiu, Nr 1, Radom 1996.
- [19] Ceder A., Stern H., *Deficit Function Bus Scheduling with Deadheading Trip Insertion for Fleet Size Reduction*, Transportation Science, Vol. 15, No. 4, 1981.
- [20] Çetinkaya C., Karaoglan I., Gökçen H., *Two-stage vehicle routing problem with arc time windows: A mixed integer programming formulation and a heuristic approach*, European Journal of Operational Research, Vol. 230, Issue 3, 2013.
- [21] Christopher M., *Logistyka i zarządzanie łańcuchem dostaw*, Polskie Centrum Doradztwa Logistycznego, Drelów 2000.
- [22] Ciesielski M., Długosz J., Gołębska E., *Zarządzanie przedsiębiorstwem transportowym*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 1996.
- [23] Cisowski T., *Identyfikacja kolejowych łańcuchów dostaw węgla*, Technika Transportu Szynowego, Nr 5/2013.
- [24] Cisowski T., *Ocena eksploatacji autobusów miejskich na podstawie parametru złożoności ich marszruty*, Autobusy, Nr 6/2016.
- [25] Cisowski T., *Racjonalizacja rozwózki/zwózki towarów z jednym portem lotniczym uwzględniająca czynnik czasu*, Autobusy, Nr 6/2016.
- [26] Cisowski T., *Strategia rozwoju zdolności przepustowych korytarzy transportowych*, Logistyka Nr 3/2015.
- [27] Cisowski T., *Wybór marszruty przewozu w transporcie kolejowym*, Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, 2008.
- [28] Cisowski T., *Wybrane modele i algorytmy zarządzania strugami wagonów towarowych*, Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, 2009.
- [29] Cisowski T., *Zarządzanie potokami drobnicy w warunkach niepełnej informacji*, Logistyka, Nr 3/2013.
- [30] Cisowski T.: *Efektywność funkcjonowania środków komunikacji miejskiej*, Logistyka Nr 3/2015.
- [31] Cvpko J., Cypko E., *Podstawy technologii i organizacji napraw pojazdów mechanicznych*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1989.
- [32] Cygan Z., *Kierunki rozwoju nauk o eksploatacji systemów technicznych*, Materiały II Międzynarodowej Konferencji Eksploatacji 2000 nt. „Metody doskonalenia działalności eksploatacyjno-ekonomicznej przedsiębiorstw” Wyd. Wyższej Szkoły Ekonomiczno-Informatycznej w Warszawie, Warszawa 2000.
- [33] Czyżak P., Żak J., *Optymalizacja wielokryterialna systemu eksploatacji pojazdów*, Materiały VII Krajowego Sympozjum Eksploatacji Obiektów Technicznych, Porąbka-Kozubnik, Zeszyt 5, 1993.

- [34] Dejax P., Crainic T., A Review of Empty Flow and Fleet Management Models in Freight Transportation, *Transportation Science*, Vol. 21, No. 4, 1987.
- [35] Dembińska-Cyran J., Gubała M., *Podstawy zarządzania transportem w przykładach*, Biblioteka Logistyka, Poznań 2003.
- [36] Drożdziel P., Caban J., Kalašová A., *Inteligentne pojazdy w transporcie drogowym*, LOGISTYKA, Nr 6, 2014.
- [37] Drożdziel P., Komsta H., Caban J., *Transport drogowy w gospodarce Polski*, LOGISTYKA, Nr 6, 2014.
- [38] Drożdziel P., Komsta H., Krzywonos L., *Analiza intensywności użytkowania pojazdów w firmie transportowej*, LOGISTYKA, Nr 3, 2011.
- [39] Drożdziel P., Komsta H., Krzywonos L., *Repair costs and the intensity of vehicle use*, *TRANSPORT PROBLEMS*, No. 3, vol. 8, 2013.
- [40] Fagerholt K., *Optimal Fleet Design in a Ship Routing Problem*, *International Transactions in Operational Research*, Vol. 6, No. 5, 1999.
- [41] Fawcett S.E., Magnan G.M., *The rhetoric and the reality of supply chain integration*, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 32, No. 6, 2002.
- [42] Fijałkowski J., *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
- [43] Fishburn P. C., *Utility theory for decision-making*, Wiley, New York 1970.
- [44] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., *Inżynieria ruchu drogowego – Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008.
- [45] Gałczyński A., *Metody optymalizacyjne w obsłudze transportowej rynku*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1992.
- [46] Gertsbakh I., Gurevich Y., *Constructing an Optimal Fleet for a Transportation Schedule*, *Transportation Science*, Vol. 11, No. 2, 1977.
- [47] Gołębska E., *Kompendium wiedzy o logistyce*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Poznań 2001.
- [48] Gołębska E., *Logistyka jako zarządzanie łańcuchem dostaw*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Poznań 1994.
- [49] Grabowski W., *Programowanie matematyczne*, PWE, Warszawa 1980.
- [50] Gutenbaum J., *Podstawy modelowania matematycznego*, Wydawnictwo WSISiZ, Warszawa 2001.
- [51] Gutenbaum J., *Modelowanie matematyczne systemów*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa – Łódź 1990.
- [52] Hao C., Yue Y., *Optimization on Combination of Transport Routes and Modes on Dynamic Programming for a Container Multimodal Transport System*, *Procedia Engineering*, Vol. 137, 2016.
- [53] Hillier F., Lieberman G., *Introductory Operations Research*. McGraw-Hill, New York, 1990.
- [54] Ignasiak E., *Badania operacyjne*, PWE, Warszawa 1997.
- [55] Ignasiak E., *Badania operacyjne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2001.

- [56] Jakubowski L., *Technologia prac ładunkowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
- [57] Jastriebow A., Wciślik M., *Optymalizacja – teoria, algorytmy i ich realizacja w MATLAB-ie*, Wyd. PŚ, Kielce 2004.
- [58] Jtinemann R., *Verkehrder Zukimftnurnit Logistik*, Verkehrs Rundschau, Nr 49, 1994.
- [59] Konieczny J., *Inżynieria systemów działania*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1983.
- [60] Kopańska-Bródka D., Dudzińska R., *Modele liniowe badań operacyjnych w zadaniach*, Wyd. ŚWSZ, Katowice 2005.
- [61] Koralewski G., Wrona J., Wrona R., *Badania autobusu miejskiego w warunkach jego użytkowania*, Autobusy, Nr 11, 2016.
- [62] Koralewski G., Wrona R., *Modelowanie ruchu autobusu miejskiego dla celów optymalizacji układu napędowego*, LOGISTYKA, Nr 3, 2014.
- [63] Koralewski G., Wrona R., *Ocena wpływu czynników eksploatacyjnych na algorytmy przełączania biegów autobusów miejskich*, LOGISTYKA, Nr 4, 2015.
- [64] Koralewski G., Wrona R., *Eksperymentalna weryfikacja modelu ruchu autobusu miejskiego w badaniach drogowych*, LOGISTYKA, Nr 3, 2014.
- [65] Koślacz P., *Nowoczesne pakiety komputerowe w procesie podejmowania decyzji*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 1998.
- [66] Kostreva M., Ogryczak W., *Linear Optimization with Multiple Equitable Criteria*, RAIRO-Operations Research, Vol. 33, 1999.
- [67] Koźniewska I., Włodarczyk M., *Modele odnowy, niezawodności i masowej obsługi*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1978.
- [68] Kozubski J., *Badania operacyjne i ich zastosowanie w transporcie*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1980.
- [69] Kramarenko G., *Eksploatacja techniczna pojazdów*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1989.
- [70] Krawczyk S., *Metody ilościowe w logistyce przedsiębiorstwa*, Wydawnictwo C. H. Beck, Warszawa 2001.
- [71] Krawczyk S., *Metody ilościowe w planowaniu działalności przedsiębiorstwa*, Wydawnictwo C. H. Beck, Warszawa 2001.
- [72] Kubicki J., Kuriata A., *Problemy logistyczne w modelowaniu systemów transportowych*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000.
- [73] Kubicki J., *Transport w logistyce a logistyka w transporcie*, Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Transport w logistyce. Łańcuch logistyczny”, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia 2003.
- [74] Lambert D.M., Cooper M.C., Pagh J.D., *Supply chain management: implementation issues and research opportunities*, The International Journal of Logistics Management, Vol. 9, No. 2, 1998.

- [75] Larischev O. L, Moshkovich H. M., *An approach to ordinal classification problems*, International Transactions on Operation Research, Vol. 138, N,o. 3, 1994.
- [76] Leszczyński J., *Modelowanie systemów i procesów transportowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
- [77] Libura M., Sikorski J., *Wykłady z matematyki dyskretnej*, Cz. I Kombinatoryka, Cz. II Teoria grafów, Wydawnictwo WSISiZ. Warszawa 2002.
- [78] Litman T., *Evaluating Accessibility fot Transportation Planning*, Measuring People's Ability to Reach Desired Goods and Activities, Victoria Transport Policy Institute, 2014.
- [79] Longwic R., Durczak T., Sander P., Lotko W., Górski K., *Analiza przyczyn uszkodzeń turbosprężarek samochodowych*, Tts Technika Transportu Szynowego, Nr 12, 2015.
- [80] Longwic R., Lotko A., Lotko M., *Different multidimensional exploratory techniques in classifying variables into qualitative criteria of spare parts selection for passenger cars*, Advances In Science And Technology Research Journal, Nr 31, Vol. 10, 2016.
- [81] Longwic R., Szydło K., *Analiza możliwości oceny zużycia eksploatacyjnego wybranych elementów dźwigu osobowego na podstawie przebiegu przyspieszeń kabiny*, Tts Technika Transportu Szynowego, Nr 12, 2015.
- [82] M. C. Pires, E. M. Frazzon., *On the research of linear programming solving methods for non-hierarchical spare parts supply chain planning*, IFAC-PapersOnLine, Vol. 49, Issue 30, 2016.
- [83] M.S. Pishvae, S.A. Torabi., *A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 161, Issue 20, 2010.
- [84] Management Science 2003.
- [85] Marszałek S., *Ekonomia, organizacja i zarządzanie w transporcie*, Śląska Wyższa Szkoła Zarządzania, Katowice 2002.
- [86] Maryański A., *Stacje obsługi samochodów. Projektowanie i modernizacja*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 1981.
- [87] Mazur T., Małek A., *Zarządzanie eksploatacją, systemów technicznych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1979.
- [88] Mendyk E., *Ekonomika transportu*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Logistyki, Poznań 2009.
- [89] *Metody doskonalenia działalności eksploatacyjno-ekonomicznej przedsiębiorstw*, II Międzynarodowa Konferencja Eksploatacja 2000, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomiczno-Informatycznej, Warszawa 2000.
- [90] Michalski R., Niziński S., *Podstawy eksploatacji obiektów technicznych*, Akademia Rolniczo Techniczna. Wydawnictwo ATR, Olsztyn 1997.
- [91] Mikołajczyk Z., *Techniki organizatorskie w rozwiązywaniu problemów zarządzania*, PWN, Warszawa 2004.

- [92] Młynarski S., Sowa A., Żmuda W., *System eksploatacji pojazdów w dużym przedsiębiorstwie komunikacji miejskiej*, Nr 4, Logistyka, 2014.
- [93] Mrozek B., Mrozek Z., *MATLAB: leksykon kieszonkowy*, Helion, 2005.
- [94] Mula J., Peidro D., Díaz-Madroñero M., Vicens E., *Mathematical programming models for supply chain production and transport planning*, European Journal of Operational Research, Vol. 204, Issue 3, 2010.
- [95] Naslund D., Hulthen H., *Supply chain management integration: a critical analysis*, Benchmarking: An International Journal 2012.
- [96] Nelissen D., *Logistische Dienstleistungszentren*, Materiały firmy DauberIngenieur-Gesellschaft MBH na sympozjum Logistics Poland 1991.
- [97] Niewczas A., Ludew R., Rosiński W., *Technologia naprawy pojazdów*, Wyższa Szkoła Inżynierska w Radomiu, Radom 1996
- [98] Niziński S., Rychlik A., *Model diagnostyczny złożonego obiektu technicznego*, Biuletyn WAT, Vol. 60, Nr 1, 2011.
- [99] Niziński St. (red), *Diagnostyka samochodów osobowych i ciężarowych*, Dom wydawniczy Bellona. Warszawa 1999.
- [100] Niziński St., Żółtowski B., *Modelowanie procesów eksploatacji maszyn*, Akademia Techniczno-Rolnicza, Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej, Bydgoszcz – Sulejówek 2002.
- [101] Niziński St., Żółtowski B., *Zarządzanie eksploatacją obiektów technicznych za pomocą rachunku kosztów*, Uniwersytet Warmińsko – Mazurski, Akademia Techniczno-Rolnicza, Olsztyn – Bydgoszcz 2002.
- [102] Niziński St., Żółtowski B.: „*Informatyczne Systemy zarządzania eksploatacją obiektów technicznych*”, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Akademia Techniczno-Rolnicza, Olsztyn – Bydgoszcz 2001.
- [103] Nowak J., *Wprowadzenie do matematycznego formułowania problemów decyzyjnych*, Instytut Badań Naukowych, Warszawa 1999.
- [104] Nozick L. Turnquist M., *A two-echelon inventory allocation and distribution center location analysis*, Transportation Research Part E 37 2001.
- [105] Nykowski I., *Programowanie liniowe*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1980.
- [106] *Optimierungsmethoden für Sammel- und Verteilstrukturen*-Frankfurt am günstigsten -Transportmarkt, Nr 1/2, 1999.
- [107] Ortúzar J. de D., Willumsen L. G., *Modeling transport, second edition*, John Wiley & Sons West Sussex, England 1998.
- [108] Orzełowski S., *Technologia napraw pojazdów samochodowych*, WSiP, Warszawa 1984.
- [109] Pawełczyk M., *Advisor – pakiet do badań symulacyjnych pojazdów autonomicznych*, Zeszyty Naukowe serii: Transport nr 1(21) Politechniki Radomskiej, 2005.
- [110] Pawełczyk M., *Akumulacja energii w transporcie szynowym*, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej, Nr 2(61), 2006.

- [111] Pawełczyk M., *Badanie dynamiki układu: Koło z płaskim miejscem – szyna*, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, Politechnika Warszawska, Nr 1(68), 2008.
- [112] Pawełczyk M., *Diagnostyka uszkodzeń podzespołów lokomotywy elektrycznej z wykorzystaniem metody magnetycznej pamięci metalu*, Zeszyty Naukowe Nr 1(21) Politechniki Radomskiej serii: Transport, 2005.
- [113] Pawełczyk M., *Zastosowanie ogniw paliwowych w transporcie*, Konferencja “Logitrans 2006” Logistyka Nr 3, 2006.
- [114] Pawlak P. i inni, *Wpływ zmian sieci drogowej na pracę przewozową wykonywaną przez przedsiębiorstwo*, 6420/ZBE, Instytut Transportu Samochodowego, 2015.
- [115] Piasecki St., *Ekometria. Optymalizacja systemów obsługi technicznej*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 1972.
- [116] Piasecki St., *Oplacalność uruchomienia produkcji nowych wyrobów*, Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne, Warszawa, Lublin 2003.
- [117] Piasecki St., *Optymalizacja systemów obsługi technicznej*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1972.
- [118] Piasecki St., *Optymalizacja systemów przewozowych*, Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1973.
- [119] Piasecki St., *Organization of transport of parcel cargoes*, Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 1996.
- [120] Poirier C. Ch., *The Supply Chain Manager's Problem-Solver: Maximizing the Value of Collaboration and Technology*, St. Lucie Press and CRC Press LLC, 2003.
- [121] Pyza D., Ambroziak T., *O pewnych aspektach modelowania wybranych parametrów systemu technicznego dla potrzeb operatora usług transportowych*, Międzynarodowa Konferencja Naukowa Logistyka i Zarządzanie w Systemach Transportowych 2005, Szczecin 2005.
- [122] Pyza D., *Metoda wyboru optymalnej struktury organizacyjno-technologicznej systemu obsługi technicznej*, Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Transport XXI wieku. Warszawa 2004.
- [123] Pyza D., *O pewnych aspektach optymalizacji systemu obsługi technicznej przedsiębiorstwa transportowego*, I Międzynarodowa Konferencja Naukowo Techniczna Systemy Logistyczne – Teoria i Praktyka, Warszawa 2005.
- [124] Pyza D., Poznański J., *Optymalizacja systemu obsługi technicznej przedsiębiorstwa transportowego*. I Międzynarodowa Konferencja Naukowo Techniczna Systemy Logistyczne – Teoria i Praktyka, Warszawa 2005.
- [125] Pyza D., Ratkiewicz A., *Wybrane aspekty modelowania systemu obsługi technicznej przedsiębiorstwa transportowego*, Międzynarodowa XIII Konferencja Naukowo Techniczna Produkcja i Zarządzanie w Hutnictwie,

- Szczyrk 2005. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej Seria Metalurgia Nr 49, Częstochowa, 2005.
- [126] Rodier C. J., Abraham J. E., Johnston R. A., Hunt J. D., *Anatomy of induced travel using an integrated land use and transportation model in the Sacramento region*, Federal Highway Administration, 2000.
 - [127] Roy B.: „Wielokryterialne wspomaganie decyzji”, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1990.
 - [128] Rydzkowski W., Wojewódzka-Król K. (Red.), *Transport*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1998.
 - [129] Sawik T., *Badania operacyjne dla inżynierów zarządzania*, Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków 1998.
 - [130] Seidler J., Badach A., Molisz W., *Metody rozwiązywania zadań optymalizacji*, WNT, Warszawa 1980.
 - [131] Shiftan Y., Ben-Akiva M., de Jong G., Hakkert S., Simmonds D., *Evaluation of externalities in transport projects*, Institute of Transport Studies, University of Leeds.
 - [132] Skalka J. M., Bouyssson D., Bernabeu Y. A., *Electre III et IV. Aspects méthodologiques et guide d'utilisation*, Université de Paris-Dauphine, Document du Lamsade, No 25, Paris 1986.
 - [133] Skowronek Cz., Sarjusz-Wolski Z., *Logistyka w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa 2008.
 - [134] Skowronek Cz., Sarjusz-Wolski Z., *Logistyka w przedsiębiorstwie*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2002.
 - [135] Smalko Z.: *Podstawy eksploatacji technicznej pojazdów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998.
 - [136] Stadnicki J., *Teoria i praktyka rozwiązywania zadań optymalizacji z przykładami zastosowań technicznych*, WNT Warszawa 2006.
 - [137] *Sterowanie i optymalizacja procesów transportowych i produkcyjnych*, Seminarium Naukowe – zbiór referatów, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji, Oddz. Krakowski, Politechnika Krakowska, Zakopane, czerwiec 1988.
 - [138] Steuer R., *Multiple Criteria Optimization, Theory, Computation and Application*, John Wiley & Sons, New York, 1986.
 - [139] Swink M., Narasimhan R., Wang C., *Managing beyond the factory walls: effects of four types of strategic integration on manufacturing plan performance*, Journal of Operations Management 2007.
 - [140] Sysło M., Deo N., Kowalik J., *Algorytmy optymalizacji dyskretniej z programami w języku Pascal*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
 - [141] Szarata A., *Modelowanie podróży wzbudzonych oraz tłumionych zmianą stanu infrastruktury transportowej*, Politechnika Krakowska, Seria Inżynieria Lądowa, Monografia 439, Kraków 2013.

- [142] Taniguchi E. Noritake M. Yamada T. Izumitani T., *Optimal size and location planning of public logistics terminals*, Transportation Research Part E 35, 1999.
- [143] Thill J-C., Kim M., *Trip making, induced travel demand, and accessibility*, J Geograph Syst, Springer-Verlag, 2005.
- [144] Topolska K., Topolski M., Janicki M., Kolanek C., *Using Computer Methods to Identify the Factors Affecting the Management of an Urban Parking Lot*. Business Challenges in the Changing Economic Landscape – Vol 2. Proceeding of the 14th Eurasia Business and Economics Society Conference, 2016.
- [145] Topolska K., Topolski M., *Ude of mergers and genetic fuzzy classifiers in the task of cotntrollingtraffic light .*, Logistyka 6/2014.
- [146] Topolski M., Topolska K., *Komputerowe algorytmy wspomagające planowanie sprzedaży w przedsiębiorstwach produkcyjnych.*, Logistyka 6/2014.
- [147] Towill D.R., Childerhouse P., *Simplified material flow holds the key to supply chain integration*, The International Journal of Management Science – Omega, 31/2003.
- [148] Trzaskalik T., *Metody i zastosowania badań operacyjnych*, Wyd. Absolwent, Łódź 1997.
- [149] Trzaskalik T., *Wprowadzenie do badań operacyjnych z komputerem*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2003.
- [150] Turnquist M., Jordan W., *Fleet Sizing under Production Cycles and Uncertain Travel Times*, Transportation Science, Vol. 20, no. 4, 1986.
- [151] Uzdowski M., Abramek K. F., Garczyński K., *Eksploracja techniczna i naprawa*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2003.
- [152] Wang Y., Ma X., Li Z., Liu Y., Xu M., Wang Y., *Profit distribution in collaborative multiple centers vehicle routing problem*, Journal of Cleaner Production, Vol. 144, 2017.
- [153] Willoughby B. Uyeno D., *Resolving splits in location/allocation modeling: a heuristic procedure for transit center decisions*, Transportation Research Part E 37, 2001.
- [154] Wilson J. Robin., *Wprowadzenie do teorii grafów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
- [155] Witkowski J., *Zarządzanie łańcuchem dostaw*, PWE, Warszawa 2010.
- [156] Wojciechowski Ł. Cisowski T. Pazowski P., *Synthesis of decision models and algorithms in manufacturing systems*, Theory and practice of industrial and production engineering:: Trans Tech Publications, Applied Mechanics and Materials, Switzerland 2015.
- [157] Wooldridge M., *Reasoning about Rational Agents*, The Mit Press, 2000.
- [158] Xiao Y., Konak A., *A genetic algorithm with exact dynamic programming for the green vehicle routing & scheduling problem*, Journal of Cleaner Production, 2016.

- [159] Żak J., *Techniki badań operacyjnych stosowane do zarządzania eksploatacją pojazdów*, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, seria Maszyny Robocze i Pojazdy, Nr 34, Poznań 1995.
- [160] Zhalechian M., Tavakkoli-Moghaddam R., Rahimi Y., Jolai F., *An interactive possibilistic programming approach for a multi-objective hub location problem: Economic and environmental design*, Applied Soft Computing, Vol. 52, 2017.

Załącznik nr 1

Przykładowe rezultaty symulacji obliczeń dla zweryfikowania poprawności obliczeń algorytmu:

Maxima session 1 / 6

```
(%i1) load("C:/Documents and Settings/bicker/Pulpit/algorytmnaj.mac");
(%o1) C:/Documents and Settings/Alg/Pulpit/algorytm_opt.mac
(%i2) Dane();
(%o2) 0
(%i3) PrintInfo();
ST1= W1 ST2= W2 ST3= W3 ST4= W4
PodazW3= 20 PodazW5= 15 PopytW6= 10 PopytW7= 10 PopytW8= 15
Suma przejechanej odległości= 0
(%o3) 0
(%i4) MoveST("ST1 z W1",W1W2+W2W3,W1W5,W2W4+W3W2+W2W4);
ST1 z W1 Dla W3 do W6 44.640000000000001
ST1 z W1 Dla W3 do W7 53.280000000000001
ST1 z W1 Dla W3 do W8 57.600000000000001
ST1 z W1 Dla W5 do W6 60.479999999999997
ST1 z W1 Dla W5 do W7 65.879999999999995
ST1 z W1 Dla W5 do W8 61.560000000000002
(%o4) 61.560000000000002
(%i5) MoveST("ST2 z W2",W2W3,W2W5,W1W4+W3W2+W2W4);
ST2 z W2 Dla W3 do W6 33.840000000000003
ST2 z W2 Dla W3 do W7 42.479999999999997
ST2 z W2 Dla W3 do W8 46.799999999999997
ST2 z W2 Dla W5 do W6 47.520000000000003
ST2 z W2 Dla W5 do W7 52.920000000000002
ST2 z W2 Dla W5 do W8 48.600000000000001
(%o5) 48.600000000000001
(%i6) MoveST("ST3 z W3",0,W3W5,W1W4+W2W4);
ST3 z W3 Dla W3 do W6 16.559999999999999
ST3 z W3 Dla W3 do W7 25.199999999999999
ST3 z W3 Dla W3 do W8 29.52
ST3 z W3 Dla W5 do W6 43.200000000000003
ST3 z W3 Dla W5 do W7 48.600000000000001
ST3 z W3 Dla W5 do W8 44.280000000000001
(%o6) 44.280000000000001
(%i7) MoveST("ST4 z
W4",W4W2+W2W3,W4W5,W1W4+W2W4+W3W2+W2W4);
ST4 z W4 Dla W3 do W6 48.240000000000002
```

ST4 z W4 Dla W3 do W7 56.880000000000003
 ST4 z W4 Dla W3 do W8 61.200000000000003
 ST4 z W4 Dla W5 do W6 60.479999999999997
 Maxima session 2 / 6
 ST4 z W4 Dla W5 do W7 65.879999999999995
 ST4 z W4 Dla W5 do W8 61.560000000000002
 (%o7) 61.560000000000002
 (%i8) Print("Rejs wykonuje ST3 W3->W6 = 8km");
 (%o8) Print Rejs wykonuje ST3 W3->W6 = 8km
 (%i9) ST3:"W6";
 (%o9) W6
 (%i10) Update("W3","W6",8);
 ST1= W1 ST2= W2 ST3= W6 ST4= W4
 PodazW3= 15 PodazW5= 15 PopytW6= 5 PopytW7= 10 PopytW8= 15
 Suma przejechanej odległości= 8
 (%o10) 8
 (%i11) MoveST("ST1 z W1",W1W2+W2W3,W1W5,W2W4+W6W2+W2W4);
 ST1 z W1 Dla W3 do W6 41.759999999999998
 ST1 z W1 Dla W3 do W7 50.399999999999999
 ST1 z W1 Dla W3 do W8 54.719999999999999
 ST1 z W1 Dla W5 do W6 56.159999999999997
 ST1 z W1 Dla W5 do W7 61.560000000000002
 ST1 z W1 Dla W5 do W8 57.240000000000002
 (%o11) 57.240000000000002
 (%i12) MoveST("ST2 z W2",W2W3,W2W5,W1W4+W6W2+W2W4);
 ST2 z W2 Dla W3 do W6 30.960000000000001
 ST2 z W2 Dla W3 do W7 39.600000000000001
 ST2 z W2 Dla W3 do W8 43.920000000000002
 ST2 z W2 Dla W5 do W6 43.200000000000003
 ST2 z W2 Dla W5 do W7 48.600000000000001
 ST2 z W2 Dla W5 do W8 44.280000000000001
 (%o12) 44.280000000000001
 (%i13) MoveST("ST3 z W6",W6W3,W6W5,W1W4+W2W4);
 ST3 z W6 Dla W3 do W6 22.32
 ST3 z W6 Dla W3 do W7 30.960000000000001
 ST3 z W6 Dla W3 do W8 35.280000000000001
 ST3 z W6 Dla W5 do W6 37.799999999999997
 ST3 z W6 Dla W5 do W7 43.200000000000003
 ST3 z W6 Dla W5 do W8 38.880000000000003
 (%o13) 38.880000000000003
 (%i14) MoveST("ST4 z
 W4",W4W2+W2W3,W4W5,W1W4+W2W4+W6W2+W2W4);
 ST4 z W4 Dla W3 do W6 45.359999999999999

Maxima session 3 / 6

ST4 z W4 Dla W3 do W7 54.0

ST4 z W4 Dla W3 do W8 58.32

ST4 z W4 Dla W5 do W6 56.159999999999997

ST4 z W4 Dla W5 do W7 61.560000000000002

ST4 z W4 Dla W5 do W8 57.240000000000002

(%o14) 57.240000000000002

(%i15) Print("Rejs wykonuje ST3 W6->W3->W6 = 16km");

(%o15) Print Rejs wykonuje ST3 W6->W3->W6 = 16km

(%i16) ST3:"W6";

(%o16) W6

(%i17) Update("W3","W6",16);

ST1= W1 ST2= W2 ST3= W6 ST4= W4

PodazW3= 10 PodazW5= 15 PopytW6= 0 PopytW7= 10 PopytW8= 15

Suma przejechanej odległości= 24

(%o17) 24

(%i18) MoveST("ST1 z W1",W1W2+W2W3,W1W5,W2W4+W6W2+W2W4);

ST1 z W1 Dla W3 do W7 50.399999999999999

ST1 z W1 Dla W3 do W8 54.719999999999999

ST1 z W1 Dla W5 do W7 61.560000000000002

ST1 z W1 Dla W5 do W8 57.240000000000002

(%o18) 57.240000000000002

(%i19) MoveST("ST2 z W2",W2W3,W2W5,W1W4+W6W2+W2W4);

ST2 z W2 Dla W3 do W7 39.600000000000001

ST2 z W2 Dla W3 do W8 43.920000000000002

ST2 z W2 Dla W5 do W7 48.600000000000001

ST2 z W2 Dla W5 do W8 44.280000000000001

(%o19) 44.280000000000001

(%i20) MoveST("ST3 z W6",W6W3,W6W5,W1W4+W2W4);

ST3 z W6 Dla W3 do W7 30.960000000000001

ST3 z W6 Dla W3 do W8 35.280000000000001

ST3 z W6 Dla W5 do W7 43.200000000000003

ST3 z W6 Dla W5 do W8 38.880000000000003

(%o20) 38.880000000000003

(%i21) MoveST("ST4 z

W4",W4W2+W2W3,W4W5,W1W4+W2W4+W6W2+W2W4);

ST4 z W4 Dla W3 do W7 54.0

ST4 z W4 Dla W3 do W8 58.32

ST4 z W4 Dla W5 do W7 61.560000000000002

ST4 z W4 Dla W5 do W8 57.240000000000002

Maxima session 4 / 6

(%o21) 57.240000000000002

(%i22) Print("Rejs wykonuje ST3 W6->W3->W6->W7 = 28km");

```

(%o22) Print Rejs wykonuje ST3 W6->W3->W6->W7 = 28km
(%i23) ST3:"W7";
(%o23) W7
(%i24) Update("W3","W7",28);
ST1= W1 ST2= W2 ST3= W7 ST4= W4
PodazW3= 5 PodazW5= 15 PopytW6= 0 PopytW7= 5 PopytW8= 15
Suma przejechanej odległości= 52
(%o24) 52
(%i25) MoveST("ST1 z W1",W1W2+W2W3,W1W5,W2W4+W7W5+W5W4);
ST1 z W1 Dla W3 do W7 54.71999999999999
ST1 z W1 Dla W3 do W8 59.03999999999999
ST1 z W1 Dla W5 do W7 68.04000000000000
ST1 z W1 Dla W5 do W8 63.71999999999999
(%o25) 63.71999999999999
(%i26) MoveST("ST2 z W2",W2W3,W2W5,W1W4+W7W5+W5W4);
ST2 z W2 Dla W3 do W7 43.92000000000000
ST2 z W2 Dla W3 do W8 48.24000000000000
ST2 z W2 Dla W5 do W7 55.07999999999998
ST2 z W2 Dla W5 do W8 50.75999999999998
(%o26) 50.75999999999998
(%i27) MoveST("ST3 z W7",W7W6+W6W3,W7W5,W1W4+W2W4);
ST3 z W7 Dla W3 do W7 39.60000000000000
ST3 z W7 Dla W3 do W8 43.92000000000000
ST3 z W7 Dla W5 do W7 48.60000000000000
ST3 z W7 Dla W5 do W8 44.28000000000000
(%o27) 44.28000000000000
(%i28) MoveST("ST4 z
W4",W4W2+W2W3,W4W5,W1W4+W2W4+W7W5+W5W4);
ST4 z W4 Dla W3 do W7 58.32
ST4 z W4 Dla W3 do W8 62.64000000000000
ST4 z W4 Dla W5 do W7 68.04000000000000
ST4 z W4 Dla W5 do W8 63.71999999999999
(%o28) 63.71999999999999
(%i29) Print("Rejs wykonuje ST3 W7->W6->W3->W6->W7 = 40km");
(%o29) Print Rejs wykonuje ST3 W7->W6->W3->W6->W7 = 40km
(%i30) ST3:"W7";
(%o30) W7
Maxima session 5 / 6
(%i31) Update("W3","W7",40);
ST1= W1 ST2= W2 ST3= W7 ST4= W4
PodazW3= 0 PodazW5= 15 PopytW6= 0 PopytW7= 0 PopytW8= 15
Suma przejechanej odległości= 92
(%o31) 92

```

```

(%i32) MoveST("ST1 z W1",W1W2+W2W3,W1W5,W2W4+W7W5+W5W4);
ST1 z W1 Dla W5 do W8 63.71999999999999
(%o32) 63.71999999999999
(%i33) MoveST("ST2 z W2",W2W3,W2W5,W1W4+W7W5+W5W4);
ST2 z W2 Dla W5 do W8 50.759999999999998
(%o33) 50.759999999999998
(%i34) MoveST("ST3 z W7",W7W6+W6W3,W7W5,W1W4+W2W4);
ST3 z W7 Dla W5 do W8 44.280000000000001
(%o34) 44.280000000000001
(%i35) MoveST("ST4 z
W4",W4W2+W2W3,W4W5,W1W4+W2W4+W7W5+W5W4);
ST4 z W4 Dla W5 do W8 63.71999999999999
(%o35) 63.71999999999999
(%i36) Print("Rejs wykonuje ST3 W7->W5->W8 = 26km");
(%o36) Print Rejs wykonuje ST3 W7->W5->W8 = 26km
(%i37) ST3:"W8";
(%o37) W8
(%i38) Update("W5","W8",26);
ST1= W1 ST2= W2 ST3= W8 ST4= W4
PodazW3= 0 PodazW5= 10 PopytW6= 0 PopytW7= 0 PopytW8= 10
Suma przejechanej odległości= 118
(%o38) 118
(%i39) MoveST("ST1 z W1",W1W2+W2W3,W1W5,W2W4+W8W4);
ST1 z W1 Dla W5 do W8 46.439999999999998
(%o39) 46.439999999999998
(%i40) MoveST("ST2 z W2",W2W3,W2W5,W1W4+W8W4);
ST2 z W2 Dla W5 do W8 33.479999999999997
(%o40) 33.479999999999997
(%i41) MoveST("ST3 z W8",W8W5+W5W3,W8W5,W1W4+W2W4);
ST3 z W8 Dla W5 do W8 39.960000000000001
(%o41) 39.960000000000001
(%i42) MoveST("ST4 z W4",W4W2+W2W3,W4W5,W1W4+W2W4+W8W4);
ST4 z W4 Dla W5 do W8 46.439999999999998
(%o42) 46.439999999999998
Maxima session 6 / 6
(%i43) Print("Rejs wykonuje ST2 W2->W5->W8 = 18km");
(%o43) Print Rejs wykonuje ST2 W2->W5->W8 = 18km
(%i44) ST2:"W8";
(%o44) W8
(%i45) Update("W5","W8",18);
ST1= W1 ST2= W8 ST3= W8 ST4= W4
PodazW3= 0 PodazW5= 5 PopytW6= 0 PopytW7= 0 PopytW8= 5
Suma przejechanej odległości= 136

```

```

(%o45) 136
(%i46) MoveST("ST1 z W1",W1W2+W2W3,W1W5,W8W4+W8W4);
ST1 z W1 Dla W5 do W8 44.280000000000001
(%o46) 44.280000000000001
(%i47) MoveST("ST2 z W2",W2W3,W2W5,W1W4+W8W4);
ST2 z W2 Dla W5 do W8 33.479999999999997
(%o47) 33.479999999999997
(%i48) MoveST("ST2 z W8",W8W5+W5W3,W8W5,W1W4+W8W4);
ST2 z W8 Dla W5 do W8 37.799999999999997
(%o48) 37.799999999999997
(%i49) MoveST("ST3 z W8",W8W5+W5W3,W8W5,W1W4+W8W4);
ST3 z W8 Dla W5 do W8 37.799999999999997
(%o49) 37.799999999999997
(%i50) MoveST("ST4 z W4",W4W2+W2W3,W4W5,W1W4+W8W4+W8W4);
ST4 z W4 Dla W5 do W8 44.280000000000001
(%o50) 44.280000000000001
(%i51) Print("Rejs wykonuje ST2 W8->W5->W8 = 22km");
(%o51) Print Rejs wykonuje ST2 W8->W5->W8 = 22km
(%i52) ST2:"W8";
(%o52) W8
(%i53) Update("W5","W8",22);
ST1= W1 ST2= W8 ST3= W8 ST4= W4
PodazW3= 0 PodazW5= 0 PopytW6= 0 PopytW7= 0 PopytW8= 0
Suma przejechanej odległ_ci= 158
(%o53) 158
(%i54) Razem:Droga+W1W4+W8W4+W8W4;
(%o54) 179
(%i55)

```

Załącznik nr 2

Poniżej przedstawiono przykładowe obliczenia dla powrotów środków transportowych po wykonaniu zadań przewozowych do bazy:

```

min(Wst->Wnad)+min(Wnad->Wodb)+min(Wodb->Wbaza)+suma    powrotów
wszystkich pozostałych
wyniki wychodzą|| najlepiej
**/
Dane()=(
/* implementacja węzłów */
W1W2:10, W1W5:14, W1W4:5,

```

W2W1:10, W2W3:12, W2W6:8, W2W5:7, W2W4:10,
W3W2:12, W3W7:25, W3W6:8, W3W5:15,
W4W1:5, W4W2:10, W4W5:9, W4W8:8,
W5W8:11, W5W4:9, W5W1:14, W5W2:7, W5W3:15, W5W6:10, W5W7:15,
W6W2:8, W6W3:8, W6W7:12, W6W5:10,
W7W3:25, W7W6:12, W7W5:15, W7W8:32,
W8W4:8, W8W5:11, W8W7:32,

/*implementacja najkrótszych tras przewozowych pomiędzy węzłami nadawczymi i odbiorczymi */

TrasaW3W6:W3W6,
TrasaW3W7:W3W6+W6W7,
TrasaW3W8:W3W5+W5W8,
TrasaW5W6:W5W6,
TrasaW5W7:W5W7,
TrasaW5W8:W5W8,

/* implementacja podaży i popytu węzłów */

PodazW3:20, PodazW5:15,
PopytW6:10, PopytW7:10, PopytW8:15,

/*implementacja węzłów w których przebywają ST*/

ST1:"W3", ST2:"W3", ST3:"W3", ST4:"W3",

/*implementacja odległości powrotów z węzłów odbiorczych*/

PowrotW6:W6W2+W2W4, PowrotW7:W7W5+W5W4, PowrotW8:W8W4,

/*przejechana odległość*/

Droga:0

)\$

/******
***/*

MoveST(Message,WtoWnad3,WtoWnad5,Suma):=(
if PodazW3>0 and PopytW6>0 then Link1(Message,WtoWnad3,Suma),
if PodazW3>0 and PopytW7>0 then Link2(Message,WtoWnad3,Suma),
if PodazW3>0 and PopytW8>0 then Link3(Message,WtoWnad3,Suma),
if PodazW5>0 and PopytW6>0 then Link4(Message,WtoWnad5,Suma),
if PodazW5>0 and PopytW7>0 then Link5(Message,WtoWnad5,Suma),
if PodazW5>0 and PopytW8>0 then Link6(Message,WtoWnad5,Suma)

)\$

Link1(msg,doW3,S)=(
Ppow: (W6W5+W7W5+W8W5)/(PowrotW6+PowrotW7+PowrotW8),
Result:(doW3+TrasaW3W6+S)*Ppow,

```

    print(msg, "Dla W3 do W6", float(Result))
)$
Link2(msg,doW3,S):=(
    Ppow:(W6W5+W7W5+W8W5)/(PowrotW6+PowrotW7+PowrotW8),
    Result:(doW3+TrasaW3W7+S)*Ppow,
    print(msg, "Dla W3 do W7", float(Result))
)$
Link3(msg,doW3,S):=(
    Ppow:(W6W5+W7W5+W8W5)/(PowrotW6+PowrotW7+PowrotW8),
    Result:(doW3+TrasaW3W8+S)*Ppow,
    print(msg, "Dla W3 do W8", float(Result))
)$
Link4(msg,doW5,S):=(
    Ppow:(TrasaW3W6+TrasaW3W7+TrasaW3W8)/(PowrotW6+PowrotW7+Po
wrotW8),
    Result:(doW5+TrasaW5W6+S)*Ppow,
    print(msg, "Dla W5 do W6", float(Result))
)$
Link5(msg,doW5,S):=(
    Ppow:(TrasaW3W6+TrasaW3W7+TrasaW3W8)/(PowrotW6+PowrotW7+Po
wrotW8),
    Result:(doW5+TrasaW5W7+S)*Ppow,
    print(msg, "Dla W5 do W7", float(Result))
)$
Link6(msg,doW5,S):=(
    Ppow:(TrasaW3W6+TrasaW3W7+TrasaW3W8)/(PowrotW6+PowrotW7+Po
wrotW8),
    Result:(doW5+TrasaW5W8+S)*Ppow,
    print(msg, "Dla W5 do W8", float(Result))
)$
/*****
*****/
Update(Wnad,Wodb,Trasa):=(
    Droga:Droga+Trasa,
    if Wnad="W3" then PodazW3:PodazW3-5,
    if Wnad="W5" then PodazW5:PodazW5-5,
    if Wodb="W6" then PopytW6:PopytW6-5,
    if Wodb="W7" then PopytW7:PopytW7-5,
    if Wodb="W8" then PopytW8:PopytW8-5,
    PrintInfo()
)$
/*****
*****/

```

```
PrintInfo():=(
    print("ST1=",ST1,"ST2=",ST2,"ST3=",ST3,"ST4=",ST4),
    print("PodazW3=",PodazW3,"PodazW5=",PodazW5,"PopytW6=",PopytW6,"
PopytW7=",PopytW7,"PopytW8",PopytW8),
    print("Suma przejechanej odległości=",Droga)
)$
```

Załącznik nr 3

Przykład symulacji obliczeń rozwózki towarów z węzłów nadawczych i odbiorczych z uwzględnieniem ilości przewożonego towaru i pokonanego dystansu:

```
ST1=>W1 ST2=>W2 ST3=>W3 ST4=>W4
PodazW3=20 PodazW5=15 PopytW6=10 PopytW7=10 PopytW8=15
Suma przejechanej odległości=0
```

```
ST1 z W1 Dla W3 do W6 57.600000
ST1 z W1 Dla W3 do W7 70.560000
ST1 z W1 Dla W3 do W7 63.360000
ST1 z W1 Dla W5 do W6 79.920000
ST1 z W1 Dla W5 do W7 91.800000
ST1 z W1 Dla W5 do W8 70.200000
```

```
ST2 z W2 Dla W3 do W6 46.800000
ST2 z W2 Dla W3 do W7 59.760000
ST2 z W2 Dla W3 do W7 52.560000
ST2 z W2 Dla W5 do W6 66.960000
ST2 z W2 Dla W5 do W7 78.840000
ST2 z W2 Dla W5 do W8 57.240000
```

```
ST3 z W3 Dla W3 do W6 29.520000
ST3 z W3 Dla W3 do W7 42.480000
ST3 z W3 Dla W3 do W7 35.280000
ST3 z W3 Dla W5 do W6 62.640000
ST3 z W3 Dla W5 do W7 74.520000
ST3 z W3 Dla W5 do W8 52.920000
```

```
ST4 z W4 Dla W3 do W6 61.200000
ST4 z W4 Dla W3 do W7 74.160000
ST4 z W4 Dla W3 do W7 66.960000
```

ST4 z W4 Dla W5 do W6 79.920000
ST4 z W4 Dla W5 do W7 91.800000
ST4 z W4 Dla W5 do W8 70.200000

Rejs wykonuje ST3 W3->W6 = 8km

ST1=>W1 ST2=>W2 ST3=>W6 ST4=>W4
PodazW3=15 PodazW5=15 PopytW6=5 PopytW7=10 PopytW8=15
Suma przejechanej odległości=8

=====

ST1 z W1 Dla W3 do W6 54.720000
ST1 z W1 Dla W3 do W7 67.680000
ST1 z W1 Dla W3 do W7 60.480000
ST1 z W1 Dla W5 do W6 75.600000
ST1 z W1 Dla W5 do W7 87.480000
ST1 z W1 Dla W5 do W8 65.880000

ST2 z W2 Dla W3 do W6 43.920000
ST2 z W2 Dla W3 do W7 56.880000
ST2 z W2 Dla W3 do W7 49.680000
ST2 z W2 Dla W5 do W6 62.640000
ST2 z W2 Dla W5 do W7 74.520000
ST2 z W2 Dla W5 do W8 52.920000

ST3 z W6 Dla W3 do W6 35.280000
ST3 z W6 Dla W3 do W7 48.240000
ST3 z W6 Dla W3 do W7 41.040000
ST3 z W6 Dla W5 do W6 57.240000
ST3 z W6 Dla W5 do W7 69.120000
ST3 z W6 Dla W5 do W8 47.520000

ST4 z W4 Dla W3 do W6 58.320000
ST4 z W4 Dla W3 do W7 71.280000
ST4 z W4 Dla W3 do W7 64.080000
ST4 z W4 Dla W5 do W6 75.600000
ST4 z W4 Dla W5 do W7 87.480000
ST4 z W4 Dla W5 do W8 65.880000

Rejs wykonuje ST3 W6->W3->W6 = 16km

ST1=>W1 ST2=>W2 ST3=>W6 ST4=>W4
PodazW3=10 PodazW5=15 PopytW6=0 PopytW7=10 PopytW8=15

Suma przejechanej odległości=24

=====

ST1 z W1 Dla W3 do W7 67.680000

ST1 z W1 Dla W3 do W7 60.480000

ST1 z W1 Dla W5 do W7 87.480000

ST1 z W1 Dla W5 do W8 65.880000

ST2 z W2 Dla W3 do W7 56.880000

ST2 z W2 Dla W3 do W7 49.680000

ST2 z W2 Dla W5 do W7 74.520000

ST2 z W2 Dla W5 do W8 52.920000

ST3 z W6 Dla W3 do W7 48.240000

ST3 z W6 Dla W3 do W7 41.040000

ST3 z W6 Dla W5 do W7 69.120000

ST3 z W6 Dla W5 do W8 47.520000

ST4 z W4 Dla W3 do W7 71.280000

ST4 z W4 Dla W3 do W7 64.080000

ST4 z W4 Dla W5 do W7 87.480000

ST4 z W4 Dla W5 do W8 65.880000

Rejs wykonuje ST3 W6->W3->W6->W7 = 28km

ST1=>W1 ST2=>W2 ST3=>W7 ST4=>W4

PodazW3=5 PodazW5=15 PopytW6=0 PopytW7=5 PopytW8=15

Suma przejechanej odległości=52

=====

ST1 z W1 Dla W3 do W7 72.000000

ST1 z W1 Dla W3 do W7 64.800000

ST1 z W1 Dla W5 do W7 93.960000

ST1 z W1 Dla W5 do W8 72.360000

ST2 z W2 Dla W3 do W7 61.200000

ST2 z W2 Dla W3 do W7 54.000000

ST2 z W2 Dla W5 do W7 81.000000

ST2 z W2 Dla W5 do W8 59.400000

ST3 z W7 Dla W3 do W7 56.880000

ST3 z W7 Dla W3 do W7 49.680000

ST3 z W7 Dla W5 do W7 74.520000

ST3 z W7 Dla W5 do W8 52.920000

ST4 z W4 Dla W3 do W7 75.600000

ST4 z W4 Dla W3 do W7 68.400000

ST4 z W4 Dla W5 do W7 93.960000

ST4 z W4 Dla W5 do W8 72.360000

Rejs wykonuje ST3 W7->W5->W8 = 26km

ST1=>W1 ST2=>W2 ST3=>W8 ST4=>W4

PodazW3=5 PodazW5=10 PopytW6=0 PopytW7=5 PopytW8=10

Suma przejechanej odległości=78

=====

ST1 z W1 Dla W3 do W7 60.480000

ST1 z W1 Dla W3 do W7 53.280000

ST1 z W1 Dla W5 do W7 76.680000

ST1 z W1 Dla W5 do W8 55.080000

ST2 z W2 Dla W3 do W7 49.680000

ST2 z W2 Dla W3 do W7 42.480000

ST2 z W2 Dla W5 do W7 63.720000

ST2 z W2 Dla W5 do W8 42.120000

ST3 z W8 Dla W3 do W7 61.200000

ST3 z W8 Dla W3 do W7 54.000000

ST3 z W8 Dla W5 do W7 70.200000

ST3 z W8 Dla W5 do W8 48.600000

ST4 z W4 Dla W3 do W7 64.080000

ST4 z W4 Dla W3 do W7 56.880000

ST4 z W4 Dla W5 do W7 76.680000

ST4 z W4 Dla W5 do W8 55.080000

Rejs wykonuje ST2 W2->W5->W8 = 18km

ST1=>W1 ST2=>W8 ST3=>W8 ST4=>W4

PodazW3=5 PodazW5=5 PopytW6=0 PopytW7=5 PopytW8=5

Suma przejechanej odległości=96

=====

ST1 z W1 Dla W3 do W7 59.040000

ST1 z W1 Dla W3 do W7 51.840000

ST1 z W1 Dla W5 do W7 74.520000
ST1 z W1 Dla W5 do W8 52.920000

ST2 z W8 Dla W3 do W7 59.760000
ST2 z W8 Dla W3 do W7 52.560000
ST2 z W8 Dla W5 do W7 68.040000
ST2 z W8 Dla W5 do W8 46.440000

ST3 z W8 Dla W3 do W7 59.760000
ST3 z W8 Dla W3 do W7 52.560000
ST3 z W8 Dla W5 do W7 68.040000
ST3 z W8 Dla W5 do W8 46.440000

ST4 z W4 Dla W3 do W7 62.640000
ST4 z W4 Dla W3 do W7 55.440000
ST4 z W4 Dla W5 do W7 74.520000
ST4 z W4 Dla W5 do W8 52.920000

Rejs wykonuje ST2 W8->W5->W8 = 22km

ST1=>W1 ST2=>W8 ST3=>W8 ST4=>W4
PodazW3=5 PodazW5=0 PopytW6=0 PopytW7=5 PopytW8=0
Suma przejechanej odległości=118

=====

ST1 z W1 Dla W3 do W7 59.040000

ST2 z W8 Dla W3 do W7 59.760000

ST3 z W8 Dla W3 do W7 59.760000

ST4 z W4 Dla W3 do W7 62.640000

Rejs wykonuje ST1 W1->W2->W3->W6->W7 = 42km

ST1=>W7 ST2=>W8 ST3=>W8 ST4=>W4
PodazW3=0 PodazW5=0 PopytW6=0 PopytW7=0 PopytW8=0
Suma przejechanej odległości=160

=====

Razem z powrotami do bazy = 200km