

**WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA**  
**im. Jarosława Dąbrowskiego**

**WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ**



ROZPRAWA DOKTORSKA

**MODELOWANIE PROCESU UŻYTKOWANIA POJAZDÓW  
SAMOCHODOWYCH KATEGORII N1 W PRZEDSIĘBIORSTWACH  
TRANSPORTOWYCH**

mgr inż. Paulina Owczarek

Promotor:  
prof. dr hab. inż. Marian Brzeziński

Promotor pomocniczy:  
ppłk dr inż. Jarosław Zelkowski

Warszawa 2021

## Spis treści

<b>WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ</b> .....	<b>3</b>
<b>WSTĘP</b> .....	<b>6</b>
<b>1. GENEZA WYBORU TEMATU PRACY</b> .....	<b>9</b>
<b>2. ANALIZA LITERATURY W ASPEKTCIE UŻYTKOWANIA PS<sub>N1</sub></b> .....	<b>18</b>
2.1. Analiza techniczno-eksploatacyjna PS <sub>N1</sub> .....	18
2.2. Analiza użytkowania PS <sub>N1</sub> w systemie eksploatacji.....	37
2.3. Analiza metod modelowania procesu użytkowania PS <sub>N1</sub> w systemie eksploatacji.....	48
2.4. Podsumowanie.....	65
<b>3. CEL PRACY I PROGRAM REALIZACJI BADAŃ</b> .....	<b>68</b>
3.1. Problem badawczy i cel pracy.....	68
3.2. Obiekt i przedmiot badań.....	69
3.3. Podstawy metodologiczne rozprawy.....	70
<b>4. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ</b> .....	<b>74</b>
4.1. Badanie specyfiki przedsiębiorstw transportowych użytkujących PS <sub>N1</sub> .....	74
4.2. Badania ankietowe.....	85
4.3. Podsumowanie.....	91
<b>5. BADANIE PROCESU UŻYTKOWANIA PS<sub>N1</sub> W PRZEDSIĘBIORSTWACH TRANSPORTOWYCH</b> .....	<b>93</b>
5.1. Badanie cech techniczno-eksploatacyjnych opisujących proces użytkowania PS <sub>N1</sub> .....	93
5.2. Badanie efektywności użytkowania PS <sub>N1</sub> w przedsiębiorstwach transportowych.....	101
5.3. Wymagania stawiane PS <sub>N1</sub> w zakresie racjonalnego zarządzania ich eksploatacją.....	119
5.4. Podsumowanie.....	124
<b>6. MODELOWANIE PROCESU UŻYTKOWANIA PS<sub>N1</sub> Z WYKORZYSTANIEM REGRESJI WIELOCZYNNIKOWEJ</b> .....	<b>126</b>
6.1. Metodyka postępowania podczas modelowania procesu użytkowania PS <sub>N1</sub> .....	126
6.2. Charakterystyka oprogramowania IBM SPSS Statistics.....	129
6.3. Statystyki opisowe.....	133
6.4. Modelowanie regresyjne.....	157
6.5. Podsumowanie.....	174
<b>7. OCENA WPŁYWU UŻYTKOWANIA PS<sub>N1</sub> NA PROCES OBSŁUGIWANIA</b> .....	<b>179</b>
7.1. Badanie wpływu intensywności użytkowania PS <sub>N1</sub> na ich awaryjność.....	179
7.2. Ocena wpływu użytkowania na stan techniczny i koszty eksploatacji PS <sub>N1</sub> .....	183
7.3. Podsumowanie.....	190
<b>WNIOSKI KOŃCOWE I DALSZE KIERUNKI PRACY</b> .....	<b>193</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>198</b>
<b>SPIS RYSUNKÓW</b> .....	<b>208</b>
<b>SPIS TABEL</b> .....	<b>211</b>
<b>ZAŁĄCZNIK NR 1</b> .....	<b>214</b>
<b>ZAŁĄCZNIK NR 2</b> .....	<b>215</b>

## Wykaz ważniejszych oznaczeń

$PS_{N1}$	– pojazdy samochodowe kategorii N1;
DMC	– dopuszczalna masa całkowita;
GITD	– Główny Inspektorat Transportu Drogowego;
ITD	– Inspekcja Transportu Drogowego;
MŚP	– mikro, małe, średnie przedsiębiorstwa;
$RZTL(x)$	– realizacja zlecenia transportowego;
$X(t)$	– cechy techniczne pojazdów samochodowych;
$F(t)$	– cechy eksploatacyjne pojazdów samochodowych;
$J_u$	– intensywność użytkowania pojazdu;
$Kg(t)$	– gotowość techniczna pojazdu;
$N_p(t)$	– nieuszkodzalność pojazdu;
$O_p(t)$	– obsługiwalność pojazdu;
$S_p(t)$	– sprawność działania pojazdu;
$S_k(t)$	– skuteczność działania pojazdu;
$T_p(t)$	– trwałość pojazdu;
$F(t)$	– funkcja zawodności;
$R(t)$	– funkcja niezawodności;
$\lambda(t)$	– funkcja intensywności uszkodzeń;
$L_0$	– średni resurs sprawnej pracy;
$E_f$	– efektywność funkcjonalna;
$E_e$	– efektywność ekonomiczna;
$F_p$	– firma;
$M_p$	– model pojazdu ( <i>RM – Renault Master; RS – Renault Mascott; FD – Fiat Ducato; CJ – Citroen Jumper</i> );
$W_p$	– wiek pojazdu [lata];
$L_p$	– ładowność pojazdu [kg];
$P_u$	– przebieg pojazdu [km];
$J_u$	– czas jazdy pojazdu [h];
$C_u$	– czas pracy pojazdu [h];
$T_u$	– czas postoju pojazdu [h];

$W_u$	– współczynnik przeciążenia [%];
$Z_u$	– sezonowość [0; 0,5; 1];
$S_u$	– zużycie paliwa [ $\text{dm}^3/100 \text{ km}$ ];
$M_u$	– masa ładunku [kg];
$K_u$	– cena jednostkowa [zł/km];
$R_u$	– cena usługi transportowej [zł];
$P_o$	– uzupełnianie płynów;
$K_o$	– kontrola ogumienia;
$H_o$	– kontrola hamulców;
$A_o$	– awaria pojazdu;
$R_o$	– rodzaj awarii;
$P_r$	– planowany przychód [zł];
$D_u$	– dochód [zł];
$R_p$	– rok produkcji pojazdu [rok];
$P_{r1}$	– przebieg początkowy pojazdu [km];
$P_{u1}$	– całkowity zrealizowany przebieg pojazdu [km];
$P_{r2}$	– przebieg końcowy pojazdu [km];
$L_z$	– liczba zleceń [lp];
$L_a$	– liczba awarii [lp]
$L_{zt}$	– średni czas trwania zlecenia [h];
$W_{u1}$	– średnia wartość współczynnika przeciążenia [%];
$M_{u1}$	– całkowita przewieziona masa ładunku [t];
$C_{u1}$	– całkowity czas pracy pojazdu [h];
$J_{u1}$	– całkowity czas jazdy pojazdu [h];
$T_{u1}$	– całkowity czas postoju pojazdu [h];
$C_{NZ}$	– całkowity czas niezdatności pojazdu do pracy [h];
$D_{u1}$	– całkowity dochód [zł];
$E_1$	– współczynnik wykorzystania czasu pracy pojazdu;
$E_2$	– współczynnik efektywnej pracy pojazdu;
$E_3, E_4$	– współczynniki intensywności użytkowania pojazdu;
$E_5$	– współczynnik gotowości technicznej pojazdu;

$E_6$	– współczynnik wykorzystania potencjału użytkowego pojazdu;
$E_7$	– współczynnik efektywności ekonomicznej pojazdu;
$E_8$	– współczynnik awaryjności;
$P_k$	– koszt paliwa [zł];
$WU_k$	– wartość kosztów utraconych [zł];
$B_k$	– koszt nałożonego na przedsiębiorstwo mandatu [zł];
$A_k$	– koszt amortyzacji pojazdu [zł];
$W_k$	– koszt wynagrodzenia kierowcy [zł];
$U_k$	– koszt ubezpieczenia pojazdu [zł];
$D_k$	– koszt opłat drogowych [zł];
$N_k$	– koszt naprawy [zł];
$R_k$	– koszt przeglądu pojazdu [zł];
$C_k$	– koszt zakupu środków czystości do pojazdu [zł];
$O_k$	– koszt wymiany opon [zł];
$\bar{x}$	– średnia arytmetyczna;
$s$	– odchylenie standardowe;
$V_s$	– współczynnik zmienności;
$A_s$	– współczynnik skośności;
$K$	– kurtoza;
$R^2$	– współczynnik determinacji;
$S_e$	– błąd standardowy estymacji;

## WSTĘP

W dobie stale wzrastającego zapotrzebowania na drobnicowe, elastyczne i ekspresowe usługi przewozowe, przedsiębiorstwa transportowe eksploatują pojazdy samochodowe w taki sposób, aby przy maksymalnej intensywności ich użytkowania uzyskiwać jak najwyższy poziom rentowności. Wieloaspektowość zadań eksploatacyjnych oraz dynamiczny charakter systemów transportowych powoduje, że nieustannie poszukuje się skutecznych metod umożliwiających ocenę poszczególnych procesów. Prowadzenie badań eksploatacyjnych ma na celu przede wszystkim zasilanie jednostek zarządzających eksploatacją pojazdów w informacje niezbędne do podejmowania racjonalnych decyzji operacyjnych i strategicznych. W ocenie procesów eksploatacyjnych obserwuje się trudności związane z dostępem do pełnych informacji opisujących specyfikę określonego problemu badawczego, dlatego najczęściej badania prowadzi się w odniesieniu do zawężonego obszaru eksploatacji danego obiektu.

Analiza literatury, zarówno polskiej jak i zagranicznej wskazuje na teoretyczne i praktyczne zainteresowanie tematyką eksploatacji pojazdów samochodowych szczególnie w aspekcie ich użytkowania i obsługi. Dostępne badania prowadzą się do metodologicznej i systematycznej analizy poszczególnych obszarów systemu eksploatacji pojazdów i najczęściej dotyczą: badań wytrzymałościowych, zwiększania niezawodności pojazdów i trwałości ich poszczególnych części, badań charakterystyk eksploatacyjnych, uszkodzeń pojazdów, prognozowania kosztów obsługi, diagnozowania i dozoru stanu pojazdu. Większość badań ma na celu wspieranie zarządzania eksploatacją pojazdów poprzez implementowanie opracowanych modeli decyzyjnych w przyjętych strategiach przedsiębiorstw. W badaniach ilościowych najczęściej stosuje się modele liniowe i nieliniowe, w tym uogólnione modele regresji liniowej (GLM) z przyjętymi rozkładami prawdopodobieństwa, które umożliwiają badanie zmian parametrów techniczno-eksploatacyjnych pojazdów w określonych warunkach. W dostępnej literaturze modele prognostyczne i optymalizacyjne opisują przede wszystkim pojazdy ciężarowe powyżej 3,5 tony dopuszczalnej masy całkowitej tj. inne niż  $PS_{N1}$ . Modele te przyjmują najczęściej postać matematyczną, a celem ich zastosowania jest najczęściej: zwiększanie poziomu niezawodności, skuteczności, gotowości technicznej, minimalizacja kosztów oraz optymalny przydział zadań transportowych.

Nieliczny zbiór opracowań, w których autorzy podejmują próbę przeprowadzenia analizy procesu użytkowania  $PS_{N1}$ , a także potrzeba poszukiwania nowych metod i narzędzi umożliwiających ocenę procesu użytkowania pojazdów oraz potrzeba wsparcia w zarządzaniu

ich eksploatacją, skłoniło autora do podjęcia próby szczegółowej analizy problematyki użytkowania  $PS_{NI}$  w przedsiębiorstwach transportowych. Realizacja przeprowadzonych badań w niniejszej rozprawie proponuje nową metodykę oceny procesu użytkowania  $PS_{NI}$  oraz przedstawia modelowe ujęcie problemu użytkowania pojazdów w systemie eksploatacji przedsiębiorstw transportowych. Zaletą proponowanej metodyki jest systemowe i modelowe ujęcie problemu użytkowania  $PS_{NI}$  w oparciu o rozbudowany zbiór danych i opracowanie matematycznego modelu procesu użytkowania oraz włączenie do problematyki badawczej zagadnienia awaryjności pojazdów. Przedstawiono szczegółowe ujęcie techniczno-eksploatacyjne  $PS_{NI}$  pozwalające na przeprowadzenie oceny i analizy związków przyczynowo-skutkowych w aspekcie efektywności procesu użytkowania w różnych przedsiębiorstwach transportowych. Metodyka badawcza oparta jest na źródłach literatury światowej i krajowej, a przede wszystkim na doświadczeniu zawodowym autora.

W rozdziale pierwszym niniejszej rozprawy przedstawiona została geneza wyboru tematu pracy, w której autor uzasadnił próbę podjęcia rozważań dotyczących analizy i oceny procesu użytkowania  $PS_{NI}$  w przedsiębiorstwach transportowych, zwrócił również uwagę na zasadność prowadzenia badań w tym obszarze.

W rozdziale drugim zaprezentowano teoretyczne zagadnienia związane z procesem użytkowania  $PS_{NI}$ . Przedstawiono charakterystykę techniczno-eksploatacyjną pojazdów, przeanalizowano strukturę procesu użytkowania oraz jego wpływ na kształtowanie systemu eksploatacji pojazdów. Scharakteryzowano modele procesów eksploatacji pojazdów samochodowych oraz metody i narzędzia umożliwiające rozwiązywanie wielokryterialnych, transportowych zadań optymalizacyjnych.

W rozdziale trzecim sformułowano cel pracy, problemy badawcze, tezę, przedstawiono podstawy metodologiczne rozprawy oraz program realizacji badań.

Rozdział czwarty poświęcono charakterystyce obiektu badań. Przedstawiona została klasyfikacja i charakterystyka przedsiębiorstw transportowych. Zaprezentowano wyniki badań ankietowych dotyczących specyfiki przedsiębiorstw transportowych użytkujących  $PS_{NI}$ .

W rozdziale piątym przedstawiono badania dotyczące procesu użytkowania  $PS_{NI}$  w przedsiębiorstwach transportowych. Zaprezentowano zbiór przyjętych cech techniczno-eksploatacyjnych opisujących proces użytkowania. Opracowano zbiór współczynników eksploatacyjnych za pomocą których możliwe było przeprowadzenie analizy i oceny efektywności procesu użytkowania pojazdów. Omówiono również wymagania stawiane pojazdom w aspekcie racjonalnego zarządzania ich eksploatacją. Szczegółowo przedstawiono

również wyniki badań dotyczące kosztów eksploatacji  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych.

W rozdziale szóstym opisano metodykę postępowania podczas modelowania procesu użytkowania  $PS_{N1}$  z wykorzystaniem programu SPSS Statistics. Na wstępie scharakteryzowane zostały poszczególne moduły programu, narzędzia statystyczne oraz procedura modelowania. Zaprezentowane zostały statystyki opisowe dla przyjętego zbioru danych. Za pomocą regresji wieloczynnikowej opracowano model matematyczny wyjaśniający istniejące zależności pomiędzy zbiorem zmiennych niezależnych oraz zmienną wynikową opracowano model matematyczny, który wyjaśnia istniejące zależności pomiędzy zbiorem zmiennych niezależnych, a zmienną wynikową.

W rozdziale siódmym przedstawione zostały wyniki badań dotyczące wpływu intensywności użytkowania badanej grupy pojazdów na ich awaryjność. Wyniki przeprowadzonych badań w obszarze procesu użytkowania pojazdów odniesione zostały do problematyki ich obsługiwaną poruszanej w literaturze krajowej i zagranicznej. Przedstawione zostały również możliwe, negatywne skutki nieracjonalnego użytkowania pojazdów na ich stan techniczny.

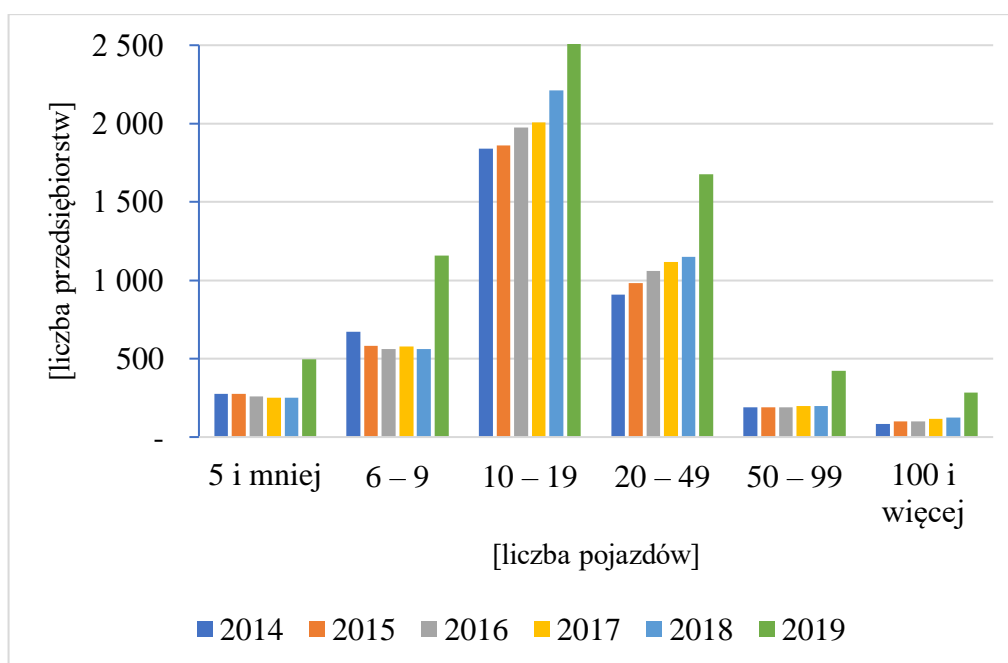
Każdy z rozdziałów zakończony jest podsumowaniem, w którym zaprezentowane zostały najważniejsze wnioski dotyczące przeprowadzonych analiz i badań.

We wnioskach końcowych przedstawiono analizę stopnia realizacji celów pracy oraz zaprezentowano osiągnięte wyniki badań. Dokonano oceny rozwiązania sformułowanego problemu badawczego i potwierdzenia postawionej tezy. We wnioskach autor określa również kierunki dalszych badań naukowych w prezentowanym obszarze.



## 1. GENEZA WYBORU TEMATU PRACY

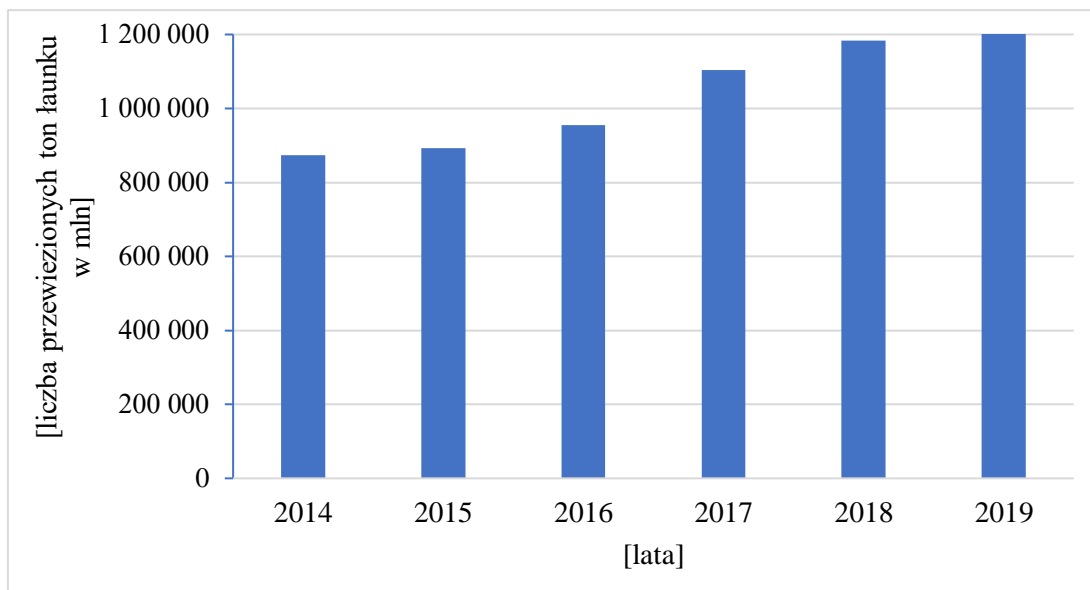
Dynamiczne zmiany na rynku biznesowym oraz nieustanny wzrost oczekiwań klientów wymuszają na przedsiębiorstwach transportowych potrzebę stałego poszukiwania metod i narzędzi optymalizacji procesów oraz poprawy efektywności całego systemu transportowego, który funkcjonując w zmiennym otoczeniu, podatny jest na negatywne działanie. Konsekwencją tego mogą być zakłócenia realizacji zadań transportowych lub całkowita niezdolność do podjęcia działań przewozowych. Na polskim rynku transportu samochodowego ładunków działa kilka tysięcy przewoźników i operatorów logistycznych. Dominują głównie firmy z sektora MŚP, których tabor liczy od kilku do kilkunastu pojazdów. Na podstawie danych Głównego Urzędu Statystycznego w latach 2014 – 2019 średni procentowy udział przedsiębiorstw posiadających do 19 samochodów ciężarowych i ciągników siodłowych w stosunku do wszystkich przedsiębiorstw posiadających tabor transportowy wynosił 68% (rys.1.1).



Rys. 1.1. Liczba przedsiębiorstw z liczbą taboru samochodów ciężarowych i ciągników siodłowych w latach 2014 – 2019

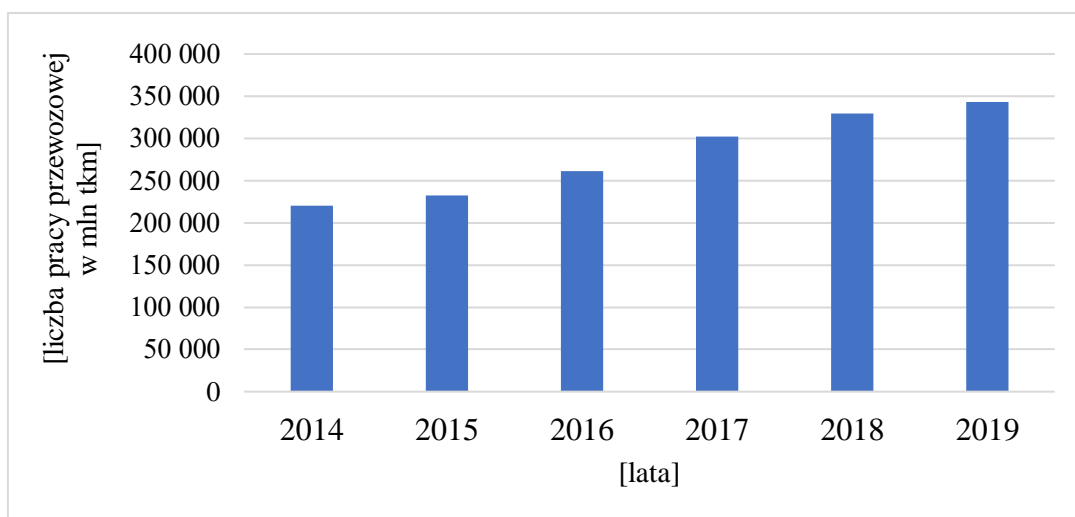
Źródło: [36].

Wzrost przewozu ładunków transportem samochodowym potwierdza stale rosnąca liczba przewiezionych ton ładunku (rys.1.2) oraz liczba wykonanej pracy przewozowej transportu samochodowego zarobkowego (świadczonego za opłatą) wyrażona w tonokilometrach (rys.1.3).



Rys. 1.2. Wzrost przewozu ładunków transportu samochodowego zarobkowego w ujęciu przewiezionych ton ładunku w latach 2014 – 2019

Źródło: [36].



Rys. 1.3. Wzrost wykonanej pracy przewozowej transportu samochodowego zarobkowego w latach 2014 – 2019

Źródło: [36].

W 2019 r. transportem samochodowym przewieziono 1921,10 mln ton ładunków, tj. o 2,6% więcej niż w 2018 r. i wykonano pracę przewozową w tonokilometrach większą o 4,6%. Udział transportu zarobkowego w ogólnych przewozach wyniósł 62,8%, natomiast w pracy przewozowej osiągnął poziom 86,7%. Transportem zarobkowym przewieziono 1206,2 mln ton (o 1,9% więcej niż przed rokiem), a praca przewozowa była wyższa o 4% w stosunku do roku poprzedniego. Osiągnięta wielkość przewozów ładunków transportem samochodowym wyrażona w tonokilometrach stanowiła 16,4% w ogólnych przewozach Unii Europejskiej [37], co lokowało Polskę wśród krajów Unii Europejskiej na drugiej pozycji (za Niemcami).

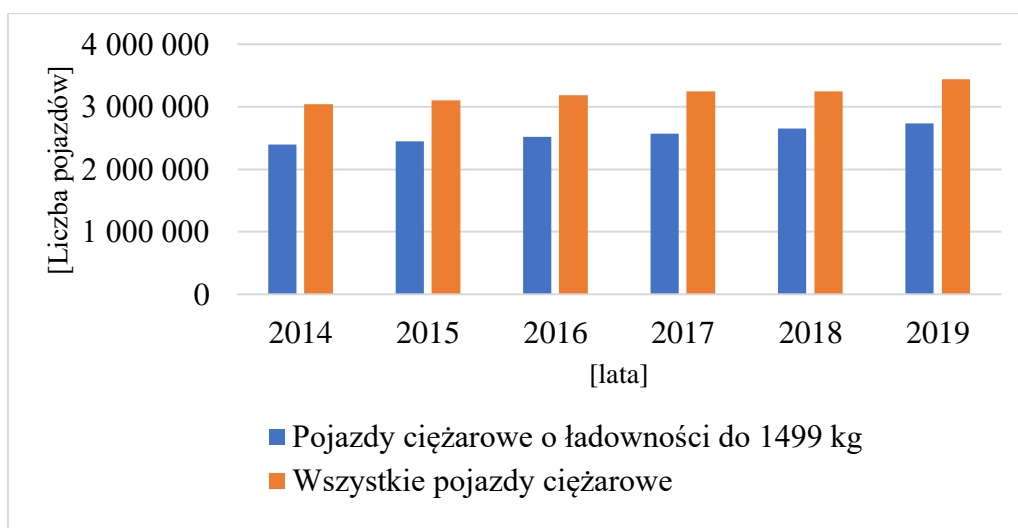
Wyniki raportu Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości wskazują, że polski sektor MŚP (mikro, małych i średnich przedsiębiorstw) stanowi przeważającą liczbę przedsiębiorstw w Polsce, w 2018 r. – 99,8%. Wśród nich najliczniejszą grupą, stanowiącą 96,5% (ok. 2,0 mln) są mikroprzedsiębiorstwa. Udział małych firm w strukturze polskich przedsiębiorstw wynosi 2,6% (53,8 tys.), średnich – 0,7% (15,3 tys.), zaś dużych – tylko 0,2% (3,6 tys.). Zgodnie z Polską Klasyfikacją Działalności, sektor H, tj. obszar działalności Transport i Gospodarka Magazynowa w strukturze MŚP w Polsce, stanowi 7,5% [146].

Dla potrzeb pracy, badania przeprowadzono w mikro i małych przedsiębiorstwach transportowych, które świadczą usługi przewozowe na rzecz jednej firmy handlowej działającej w sektorze FMCG (*Fast Moving Consumer Goods*). Wykonywanie usług transportowych dla tego typu branży cechuje się szczególnym podejściem ze względu na rodzaj przewożonego ładunku. Specyfika przewożonych produktów, tj. jajka, świeże mięso pakowane próżniowo oraz wędliny wymaga od firm transportowych szczególnie szybkiej i sprawnej obsługi zleceń, której celem jest zapewnienie świeżości produktów. Odpowiedni sposób i warunki transportu, zabezpieczenie ładunku, elastyczność i często natychmiastowe podejmowanie się zleceń to wyzwania, których musi podjąć się przewoźnik świadczący usługi przewozu produktów żywnościowych. Z punktu widzenia firmy handlowej najważniejszym kryterium doboru przedsiębiorstwa transportowego jest cena świadczonej usługi, jednak biorąc pod uwagę specyfikę produktu, skomplikowany łańcuch logistyczny i bardzo krótkie terminy realizacji dostaw, firma handlowa stawia na elastyczność przewoźnika i jest gotowa zapłacić wyższą cenę za jak najszybsze podjęcie ładunku i dostarczenie go do odbiorcy. Tego typu zlecenia są szansą dla przewoźników na dużo większy przychód, wymagają jednak wysokiego poziomu elastyczności i gotowości technicznej taboru.

Miarą racjonalnego zarządzania potencjałem pojazdów samochodowych jest najczęściej wartość nakładów ponoszonych na ich obsługiwanie. Stan techniczny pojazdu zmienia się w czasie jego eksploatacji. Elementy jego mechanizmów ulegają zużyciu lub uszkodzeniu, czego objawem jest pogorszenie własności eksploatacyjno-technicznych oraz wzrost kosztów związanych z realizacją zleceń przewozowych. Aby temu zapobiec, należy podejmować takie działania, które ukierunkowane są na efektywne zarządzanie procesem decyzyjnym w aspekcie użytkowania i obsługiwania taboru. Wdrożenie optymalnej strategii eksploatacji pojazdów samochodowych jest ważnym elementem kształtującym proces decyzyjny w przedsiębiorstwach transportowych, umożliwiającym spełnianie stawianych im wymagań ukierunkowanych na osiągnięcie gotowości, niezawodności, efektywności i bezpieczeństwa eksploatacji.

Przytoczone aspekty skłoniły autora do przeprowadzania szczegółowej analizy procesu użytkowania pojazdów samochodowych, które z punktu widzenia przewoźnika realizują cel maksymalnego wykorzystania potencjału pojazdów w procesie realizacji zadań przewozowych.

Tematyka niniejszej rozprawy wskazuje na zainteresowanie specyfiką pojazdów samochodowych kategorii N1 ( $PS_{N1}$ ), które zgodnie z homologacją typu oraz załącznikiem 2 do Dziennika Ustaw Prawo o ruchu drogowym, są pojazdami zaprojektowanymi i wykonanymi do przewozu ładunków i mającymi DMC (*Dopuszczalna Masa Całkowita*) nieprzekraczającą 3,5 tony [177]. W praktyce takim pojazdom przypisuje się mianem pojazdów dostawczych, dlatego też w dalszej części rozprawy sformułowanie to stosowane będzie zamiennie. Zgodnie ze specyfikacją techniczną, budowa tych pojazdów pozwala na przewożenie ładunków o masie do ok 1499 kg w zależności od modelu i wyposażenia pojazdu. Statystyki wykazują, że liczba pojazdów dostawczych o ładowności do 1499 kg stale wzrasta, a w latach 2014 – 2019 średni udział tej grupy pojazdów w stosunku do wszystkich pojazdów ciężarowych stanowił 80% (rys.1.4).

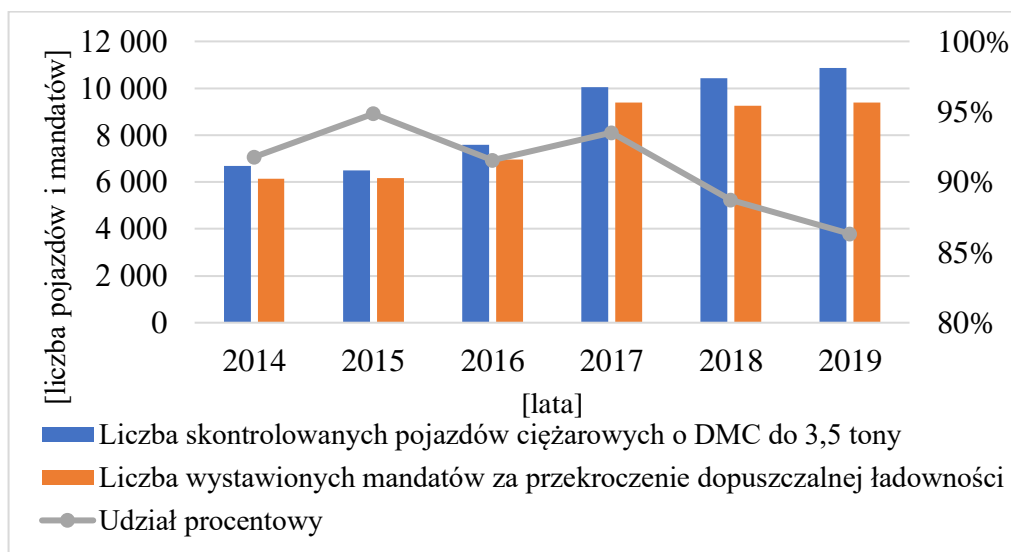


Rys. 1.4. Liczba pojazdów ciężarowych o ładowności do 1499 kg w stosunku do liczby wszystkich pojazdów ciężarowych w latach 2014 – 2019  
Źródło: [36].

Specyfika użytkowania pojazdów dostawczych w Polsce stale wzbudza wiele kontrowersji.  $PS_{N1}$  nie podlegają regulacjom dotyczącym opłat za płatne odcinki dróg w Polsce jak i za granicą, nie muszą być wyposażone w tachograf rejestrujący czas pracy kierowcy, poza tym przewoźnicy są zwolnieni z posiadania zezwoleń i licencji transportowych, co z góry stanowi podstawę do stwierdzenia faktu, iż przy minimalnych ograniczeniach można w pełni realizować zarobkowy transport ładunków.

Godne uwagi, w odniesieniu do problematyki użytkowania pojazdów dostawczych są wyniki przeprowadzonych przez GITD (*Główny Inspektorat Transportu Drogowego*) kontroli

drogowych i wystawionych w związku z tym mandatów za przekroczenie dopuszczalnej ładowności (rys.1.5).



Rys. 1.5. Wyniki kontroli pojazdów dostawczych  
Źródło: [35].

GITD zgodnie z prawem, kontroluje jedynie pojazdy ciężarowe o DMC powyżej 3,5 tony, natomiast pojazdy samochodowe do 3,5 tony tylko wtedy, kiedy uzna, że istnieje wyraźne podejrzenie popełnienia konkretnego wykroczenia. Biorąc pod uwagę rok 2019 na 10877 skontrolowanych pojazdów dostawczych, przekroczenie dopuszczalnej ładowności stwierdzono u 9389 pojazdów.

Niewystarczająco jasne prawo odwołujące się do polityki rejestrowania pojazdów dostawczych powoduje sytuacje, w których dla przykładu na portalu sprzedażowym pojawiło się ogłoszenie dotyczące sprzedaży Iveco Daily 65C18, który ma fabryczną 6,5 tonową dopuszczalną masę własną, a zarejestrowany został jako pojazd o DMC do 3,5 tony [63]. Potwierdza to jednocześnie brak jednoznacznych zasad użytkowania takiego pojazdu, ponieważ według prawa pojazd ten, powinien być zarejestrowany jako pojazd ciężarowy i spełniać dodatkowe wymagania określone odpowiednią ustawą.

Analiza rzeczywistego stanu problemu dotyczącego eksploatacji pojazdów dostawczych oraz doświadczenie zawodowe autora stało się podstawą do podjęcia badań z obszaru użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych. Z uwagi na fakt współpracy z firmami przewozowymi, a także zarządzania pewną grupą pojazdów, autor podjął się oceny procesu użytkowania  $PS_{N1}$  i opracowania jego modelu w aspekcie doskonalenia zarządzania użytkowaniem pojazdów w przedsiębiorstwach transportowych.

Próba odwzorowania i uproszczenia zjawisk rzeczywistych w postaci modelu staje się ważnym elementem poszukiwania skutecznych metod eliminowania problemów i zakłóceń

w procesie użytkowania  $PS_{NI}$ . Pojawia się więc szansa na wnikliwą analizę działań podejmowanych przez jednostki zarządzające przedsiębiorstwami transportowymi, których tabor przekracza DMC pojazdu, zbadanie skutków takich działań i rzeczywistego wpływu na właściwości pojazdów oraz efektywność realizacji zleceń przewozowych. Zastosowanie modelu procesu użytkowania  $PS_{NI}$  może bezpośrednio wspomóc podejmowanie decyzji w obszarze planowania intensywności użytkowania pojazdów, co w efekcie może mieć odzwierciedlenie w zwiększeniu przychodów przedsiębiorstw transportowych, dla których istotnym problemem jest użytkowanie pojazdów w taki sposób, aby zapewniały one jak największą wydajność systemu transportowego przy minimalnych kosztach eksploatacji. Ważnym elementem oceny przedsiębiorstwa transportowego oraz jego działań, jest przychód z realizacji zleceń transportowych, a w efekcie zysk, świadczący o poziomie efektywności ekonomicznej danego przedsiębiorstwa. Sposobem pomiaru efektywności gospodarowania jest podejście, które sprowadza się do analizy wskaźnikowej i pomiaru rentowności zaangażowanego kapitału [167].

Na efektywność przedsiębiorstwa transportowego w ujęciu całościowym – biznesowym mają wpływ [151]:

- czynniki niezależne od przedsiębiorstwa transportowego, wynikające z warunków rynkowych oraz uwarunkowań instytucjonalno-prawnych określanych przez politykę transportową i gospodarczą państwa;
- czynniki zależne od przedsiębiorstwa obejmujące warunki finansowe, organizacyjno-kadrowe, operacyjno-eksploatacyjne wynikające z jego potencjału oraz relacje zewnętrzne.

Duża liczba mikro i małych przedsiębiorstw transportowych, działających w branży FMCG sprawia, że o przewadze konkurencyjnej decyduje niewielka różnica w oferowanej cenie za realizację usługi. Przedsiębiorstwa transportowe starają się zatem oferować również wysoki poziom elastyczności, rzetelności, bezpieczeństwa oraz jakości wykonanej usługi. Jednocześnie przewoźnik musi liczyć się z wystąpieniem nieplanowanych przestojów podczas załadunku czy rozładunku, awarii pojazdów, wypadków czy uszkodzeń ładunku. Często kierowca nie ma wpływu na incydentalne zdarzenia, dlatego dobór optymalnej strategii eksploatacji, racjonalne organizowanie i planowanie pracy pojazdów jest niezmiernie ważnym elementem stanowiącym o przewadze konkurencyjnej. Biorąc pod uwagę cel przedsiębiorstw transportowych, jakim jest maksymalizacja przychodu z racji świadczenia usług transportowych, autor podejmuje się przeprowadzenia szczegółowej analizy procesu użytkowania pojazdów dostawczych oraz metod jego modelowania, charakterystyki cech

techniczno-eksploatacyjnych oraz kosztów procesu realizacji zlecenia transportowego, a także oceny czynników kształtujących efektywność przedsiębiorstw transportowych.

Ocena procesu użytkowania  $PS_{N1}$ , które w określonych warunkach realizują zlecenia przewozowe, wymaga jednoczesnego pomiaru i analizy wielu różnych parametrów opisujących pracę pojazdu. Potrzeba oceny zależności i korelacji cech opisujących: proces użytkowania, obsługiwanie, zarządzania, ocenę stanu technicznego, warunki środowiskowe oraz jednoczesna analiza efektywności ekonomicznej wykonywanych zadań transportowych zmusza do poszukiwania nowych metod wspierających podejmowanie strategicznych, ale też operacyjnych decyzji.

Brak systematyczności i stałości zlecanych zadań przewozowych, duża liczba informacji i znaczna złożoność procesu użytkowania pojazdów dostawczych generuje problemy o wieloaspektowym wymiarze, do rozwiązania których klasyczne metody i techniki z dziedziny inżynierii jakości są niewystarczające do podjęcia właściwej decyzji. Dlatego poszukuje się nowych metod i narzędzi z obszaru modelowania statystycznego i wykorzystania w tym celu specjalistycznych programów, które wspomagają podejmowanie decyzji w tym zakresie. Niniejsza praca porządkuje obszar teoretyczny i przedstawia autorską metodę oceny procesu użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych z wykorzystaniem oprogramowania do statystycznej analizy danych.

Krajowy Program Badań [99] podkreśla, że oczekiwania na rozwiązania branży Technologii Informacyjnej, Telekomunikacyjnej i Mechatronicznej (TIK) są ogromne, zarówno w Europie, jak i na świecie. Dotyczą one zastosowania nowoczesnych urządzeń i programów analizujących i przekształcających rozbudowane zestawy danych oraz jednocześnie kontrolujących złożone procesy technologiczne i biznesowe. Przełom technologiczny polegający na zwiększeniu autonomii wielu urządzeń i technologii w zakresie dziedzin związanych ze wszystkimi sferami życia publicznego oraz przemysłu, wymaga innego spojrzenia na produkty, zarówno na etapie ich projektowania, wytwarzania, jak i eksploatacji. Założenia programu skupiają się na rozwoju innowacyjnych sektorów przedsiębiorczości w skali mikro, małej i średniej, opartych na nowych polskich technologiach. Chodzi przede wszystkim o możliwość wykorzystania w przedsiębiorstwach zawansowanych technologii, wytwarzania nowoczesnych wyrobów lub świadczenia nowych usług. Niniejsza rozprawa wpisuje się zatem w założenia Krajowego Programu Badań i daje podstawę do prowadzenia szczegółowych badań autora w zakresie efektywnego i racjonalnego użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych.

Potrzebę racjonalnego użytkowania pojazdów dostawczych należy rozpatrywać w aspekcie wielokryterialnym. W celu rozwiązania problemu niezbędne staje się opracowanie konceptualne i praktyczne modelu procesu użytkowania pojazdów, który może stanowić podstawę do wspomaganie procesu decyzyjnego oraz prognozowania efektywności przedsiębiorstwa. Dynamika i złożoność problemu oraz jakościowo-ilościowe czynniki określające proces użytkowania  $PS_{N1}$  wymagają analizy oraz estymacji na podstawie danych wejściowych poprzez zastąpienie wielkości matematycznych estymatorami o określonych własnościach. [85].

Podkreślając znaczenie rozwoju branży transportowej, autor podejmuje się pogłębienia wiedzy z obszaru problematyki użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych.

Uzasadnieniem wyboru tematu rozprawy, w ocenie autora, są przede wszystkim problemy w obszarze użytkowania  $PS_{N1}$ , które wynikają z:

- dużej liczby  $PS_{N1}$ , która z każdym rokiem wzrasta, a w 2019 roku stanowiła 80%, w stosunku do wszystkich kategorii pojazdów ciężarowych zarejestrowanych w Polsce [36];
- specyfiki użytkowania pojazdów dostawczych, które zgodnie z ustawą o transporcie drogowym [176] nie podlegają: przepisom o czasie pracy kierowców, nie wymagają zatem instalowania tachografów, kierowcy nie są zobowiązani do uzyskania licencji i zezwoleń transportowych, nie muszą też poddawać się specjalistycznym badaniom psychologicznym, pojazdy te nie są objęte systemem Via Toll i nie muszą uiszczać opłat za korzystanie z sieci dróg płatnych;
- średniego wieku użytkowanych pojazdów dostawczych. Pojazdy powyżej 16 lat stanowią 55% wszystkich pojazdów ciężarowych [36];
- faktu przekraczania dopuszczalnej masy całkowitej pojazdów dostawczych;
- niejasno sprecyzowanych regulacji prawnych odnoszących się do rejestracji pojazdów dostawczych, które umożliwiają rejestrowanie pojazdów technicznie przystosowanych do przewożenia ładunków o masie większej niż 1499 kg jako kategoria pojazdów N1;
- próby oceny wpływu intensywności użytkowania  $PS_{N1}$  na koszty realizacji zleceń transportowych oraz niezawodność systemu eksploatacji;
- potrzeby stosowania metod poprawiających efektywność pojazdów dostawczych w przedsiębiorstwach transportowych;



- specyfiki procesu realizacji zleceń transportowych w przedsiębiorstwach branży FMCG;
- wysokiego udziału (68%) przedsiębiorstw transportowych posiadających do 19 samochodów ciężarowych i ciągników siodłowych w stosunku do wszystkich przedsiębiorstw posiadających tabor transportowy, co potwierdza również przeważająca liczba przedsiębiorstw z sektora MŚP.

## 2. ANALIZA LITERATURY W ASPEKCIE UŻYTKOWANIA PS<sub>N1</sub>

### 2.1. Analiza techniczno-eksploatacyjna PS<sub>N1</sub>

Podstawową definicję pojazdu samochodowego określa Ustawa Prawo o ruchu drogowym, zgodnie z którą pojazd samochodowy jest to pojazd silnikowy, którego konstrukcja umożliwia jazdę z prędkością przekraczającą 25 km/h. Ustawa określa również samochód ciężarowy, jako pojazd samochodowy przeznaczony konstrukcyjnie do przewozu ładunków. Określenie to obejmuje również samochód ciężarowo-osobowy przeznaczony konstrukcyjnie do przewozu ładunków i osób w liczbie od 4 do 9 łącznie z kierowcą [177].

W zależności od zapotrzebowania, pojazdy samochodowe klasyfikuje się ze względu na formę [149]:

- użytkową, rozróżniającą rodzaje pojazdów według ich przeznaczenia i praktycznej przydatności do zadań stawianych przez użytkownika;
- prawną, segmentującą pojazdy w grupy istotne z punktu widzenia warunków i sposobu ich uczestniczenia w ruchu drogowym, urzędowej kontroli technicznej, obowiązków kwalifikacyjnych, podatkowych oraz ubezpieczeniowych, związanych z ich eksploatacją;
- konstrukcyjno-techniczną, dzielącą pojazdy ze względu na specyfikę budowy, rodzaj zastosowanych systemów technicznych, charakter obsługi i napraw.

Według kategorii prawnej, która określa warunki dopuszczenia pojazdów do ruchu, PS<sub>N1</sub> to rodzaj pojazdów ciężarowych tzw. lekkich. Kategoria N1 oznacza kategorię homologacyjną, która określa typ pojazdu, w ramach którego występuje rodzina pojazdów o określonych wariantach i wersjach, które mogą różnić się tylko określonymi cechami wymienionymi w Dyrektywie 2007/46/WE. Umowną klasyfikację pojazdów samochodowych przedstawiono w tab. 2.1.

Tab. 2.1. Rodzaje i podrodzaje pojazdów

Rodzaj pojazdu		Podrodzaj pojazdu		Kategoria homologacyjna
kod	nazwa	kod	nazwa	oznaczenie
06	samochód ciężarowy	01	skrzynia	N1, N2, N3
		02	furgon	
		03	wywrotka	
		04	pojemnik	
		05	cysterna	
		06	skrzynia/żuraw	

		07	furgon/podest	
		08	ciężarowo-osobowy	
		09	terenowy	
		10	wielozadaniowy	
		11	van	

*Źródło:* [148].

Klasyfikację wybranego podrodzaju pojazdu ze względu na jego przeznaczenie przedstawiono w tab. 2.2.

Tab. 2.2. Przeznaczenie pojazdów ze względu na specyfikację

Podrodzaj pojazdu		Przeznaczenie	
kod	nazwa	kod	nazwa
02	furgon	001	uniwersalny
		002	izotermiczny
		003	chłodnia
		004	lodowania
		005	przewóz mebli
		006	przewóz konfekcji
		007	przewóz pieczywa
		008	pocztowy

*Źródło:* [148].

PS<sub>N1</sub> w świetle prawa zalicza się do pojazdów ciężarowych, jednak biorąc pod uwagę warunki i sposoby ich uczestniczenia w ruchu drogowym, użytkownicy tego typu pojazdów:

- nie podlegają przepisom Ustawy z dnia 6 września 2001 r. o transporcie drogowym;
- nie podlegają przepisom Ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o czasie pracy kierowców;
- nie mają obowiązku posiadania odpowiednich kwalifikacji w postaci prawa jazdy kat. C;
- nie podlegają kontroli ITD.

Ze względu na funkcje użytkowe pojazdy samochodowe dzieli się na [149]:

- pojazdy do przewozu ludzi;
- pojazdy do przewozu ładunków tj. pojazdy ciężarowe;
- pojazdy do przewozu sprzętu i wyposażenia służącego różnym formom działalności ludzkiej.

Uwzględniając konstrukcję techniczną pojazdów ciężarowych można przyjąć różne kryteria ich podziału [140]:

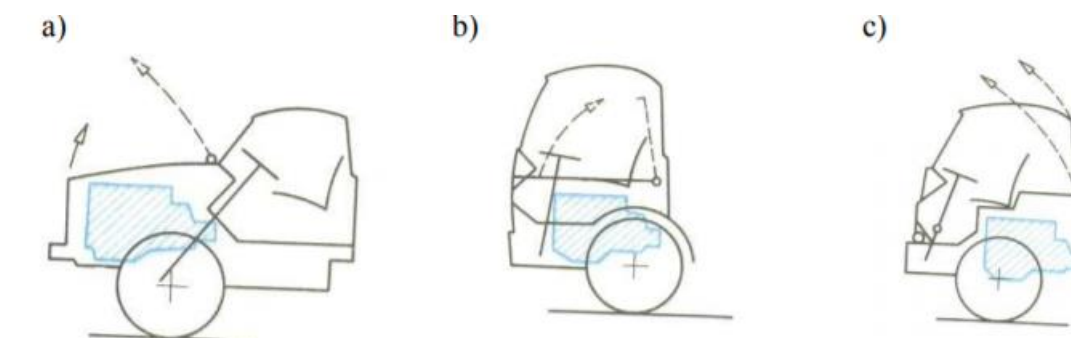
- ze względu na ich zdolność przewozową, a więc ich ładowność;
- ze względu na rodzaj, moc silnika i sposób jego usytuowania;
- ze względu na usytuowanie mechanizmów napędowych (wyłącznie na kołach przedniej osi, wyłącznie na kołach tylnej osi lub na zespole tylnych osi);
- ze względu na liczbę napędzanych osi (np. 2x4, 4x4, 6x6).

Cechy konstrukcyjno-techniczne  $PS_{N1}$ , to zbiór informacji, nazywany w dalszej części rozprawy charakterystyką techniczną pojazdu.

Zbiór ten określa m.in.[140]:

- długość, szerokość, wysokość pojazdu;
- rozstaw osi;
- rozstaw kół;
- kąt natarcia;
- kąt zejścia;
- masa własna pojazdu;
- maksymalna masa całkowita pojazdu;
- dopuszczalna masa całkowita;
- ładowność;
- obciążenie osi;
- maksymalna prędkość

$PS_{N1}$ , podobnie jak wszystkie pojazdy ciężarowe mają wyraźnie wyodrębnione podwozie w postaci ramy nośnej. Do ramy mocowane są zespoły napędowe, układy jezdne oraz części służące do przewozu ładunku. Usytuowanie przedziału silnika w różnych rozwiązaniach zobrazowano na rys. 2.1.



Rys. 2.1. Usytuowanie przedziału silnika: a) przed kabiną kierowcy, b) i c) we wnętrzu kabiny  
Źródło: [149].

PS<sub>NI</sub> są to pojazdy ciężarowe, zaprojektowane i wykonane do przewozu ładunków z konkretnym przeznaczeniem ze względu na specyfikację techniczną oraz typ zastosowanego nadwozia i mające DMC nieprzekraczającą 3,5 tony [177]. Ważnym elementem pojazdu jest zatem przestrzeń ładunkowa, której szczegółowa specyfikacja techniczna opracowywana jest przez konkretnych producentów.

Cechy techniczne, określone już w fazie formułowania potrzeb i wytwarzania, warunkują i określają potencjał użytkowy pojazdu samochodowego, natomiast o efektach pracy wykonanej przez pojazd, decydują jego cechy eksploatacyjne. Odnosząc się do literatury przedmiotu, w celu usystematyzowania pojęć i zjawisk charakteryzujących strukturę i potencjał użytkowy pojazdów samochodowych, autor postanowił przyjąć dwie główne grupy kryteriów, które w unikatowy sposób identyfikują cechy techniczno-eksploatacyjne PS<sub>NI</sub>:

- cechy techniczne  $X(t)$  określane w literaturze jako konstrukcyjne, strukturalne, fizyczne, geometryczne będące wynikiem przeprowadzonych obliczeń projektowo-konstrukcyjnych producentów. Dotyczą one klasy obiektów identyfikowanych tą samą konstrukcją np. model pojazdu samochodowego;
- cechy eksploatacyjne  $F(t)$ , nazywane również użytkowymi, funkcjonalnymi lub obsługowymi, które określają zdolność pojazdu do użytkowania w określonych warunkach, utrzymywania go w gotowości oraz odtwarzania w razie uszkodzenia.

Specyfika PS<sub>NI</sub> informuje o celu ich działania, tj. realizacji zadań przewozu ładunków zgodnie z wymaganiami i ograniczeniami, jakie stawia kinematyka elementów składowych pojazdu, rodzaj jego napędu czy stopień złożoności procesu roboczego [156]. Wymagania, jakie stawiane są pojazdom dostawczym oraz ich ustalona funkcjonalność, rozumiana jako przystosowanie do spełniania danych funkcji użytkowych oraz potrzeb konserwacyjno-naprawczych, ukierunkowane są na osiągnięcie określonych, mierzalnych efektów ich pracy.

Na podstawie literatury [24, 132, 136, 149] oraz mając na uwadze problematykę modelowania procesu użytkowania PS<sub>NI</sub> w przedsiębiorstwach transportowych, spośród różnorodnego zbioru cech eksploatacyjnych pojazdów, autor zwraca szczególną uwagę na te, które mogą mieć istotny wpływ na kształtowanie badanego procesu użytkowania pojazdów dostawczych.

Do zbioru cech eksploatacyjnych należą:

- intensywność użytkowania;
- skuteczność;
- sprawność;

- gotowość techniczna;
- niezawodność;
- poprawność działania;
- trwałość;
- efektywność.

Z uwagi na chęć podwyższenia poziomu rentowności, przedsiębiorstwa transportowe starają się intensyfikować użytkowanie pojazdów poprzez zwiększanie prędkości jazdy z ładunkiem, zmniejszenie czasu przestojów i przerw, zwiększenie czasu wykorzystania pojazdu, zwiększenie masy przewożonego ładunku oraz wpływanie na kierowcę i sposób wykonywania przez niego zadań. Działania te, mogą mieć wpływ nie tylko na wzrost przychodów, mogą stać się również źródłem strat, ze względu na zależności występujące pomiędzy cechami technicznymi i eksploatacyjnymi oraz ze względu na specyfikę metod zarządzania całym procesem eksploatacji.

**Intensywność użytkowania**  $J_u$  informuje o potencjale użytkowym pojazdu samochodowego, który określa zasób możliwych efektów jego użytkowania. Potencjał użytkowy związany jest z pojęciem ресурсu eksploatacyjnego, określanego jako zasób zdolności użytkowej pojazdu w określonym czasie. Intensywność użytkowania jest zatem miarą zużycia ресурсu w jednostce czasu, która w praktyce oceniana jest najczęściej na podstawie liczby przejechanych kilometrów, masy przewiezonego ładunku i czasu potrzebnego na zrealizowanie danego zadania [12, 115]:

$$J_u = \frac{L}{t} \text{ lub } J_u = \frac{Q \cdot L}{t} \quad (2.1)$$

gdzie:

L – przebieg;

t – czas jazdy;

Q – masa ładunku.

Sposób użytkowania pojazdów dostawczych, podobnie jak każdego pojazdu ciężarowego, polega na takim formułowaniu zadań, aby zapewnić najwyższą jego skuteczność w okresie działania, której miarą jest stopień zbliżania się do stanu przyjętego za cel w danym cyklu działania [27].

Terminologia ogólna określa **skuteczność** [133, 169] jako zdolność pojazdu samochodowego do działania, tj. wykonywania usługi przewozu w danych warunkach, zgodnie z założonymi charakterystykami ilościowymi i jakościowymi.

Barringer definiuje skuteczność (*operational effectiveness*) jako miarę tego, co system eksploatacji może wytworzyć. Jest to zatem skuteczność eksploatacyjna, której wartość zawiera się w przedziale  $[0, 1]$  i wyraża się iloczynem: gotowości technicznej  $K_g(t)$ , nieuszkodzalności  $N_p(t)$ , obsługiwalności  $O_p(t)$  i sprawności działania  $S_p(t)$  [11]:

$$S_k(t)[0, 1] = K_g(t) \cdot N_p(t) \cdot O_p(t) \cdot S_p(t) \quad (2.2)$$

przy czym **sprawność działania** określana jest jako iloraz uzyskanego efektu  $E_r(t)$  i efektu możliwego do uzyskania  $E_p(t)$ :

$$S_p(t) = \frac{E_r(t)}{E_p(t)} \quad (2.3)$$

Wg autora na skuteczność  $PS_{N1}$  w aspekcie realizacji usługi przewozowej wpływać może:

- prawidłowy dobór typu pojazdu samochodowego do warunków realizacji celów;
- prawidłowy dobór warunków użytkowania, w których cel może być rzeczywiście osiągnięty;
- zastosowanie odpowiednich metod użytkowania, zgodnych z potrzebami wynikającymi z cech konstrukcyjno-technicznych i warunków pracy pojazdu;
- pewność prawidłowego działania pojazdu samochodowego;
- celowość użytkowania pojazdu, której miarą jest efektywność ekonomiczna.

Jedną z najbardziej istotnych cech eksploatacyjnych pojazdu samochodowego, warunkującą skuteczność jego działania jest **gotowość techniczna**  $K_g$ , która zgodnie z terminologią polskich norm [133, 134] oznacza dyspozycyjność (*availability*), czyli zdolność pojazdu do zachowania stanu umożliwiającego wypełnianie wymaganych funkcji: w określonych warunkach, w wybranej chwili lub przedziale czasowym, przy założeniu, że dostarczane są wymagane środki zewnętrzne. Zdolność ta zależy łącznie od: nieuszkodzalności, obsługiwalności oraz zapewnienia środków obsługi. Wymagane środki zewnętrzne, inne niż środki obsługi, nie wpływają na gotowość obiektu.

Gotowość techniczna odnosi się do pozostawania pojazdu samochodowego w stanie zdatności w okresie jego użytkowania, stąd też wyraża się prawdopodobieństwem, że pojazd przystąpi do realizacji ustalonego zbioru zadań we właściwym czasie, a po ich zakończeniu będzie gotowy do realizacji zadań następnych [112]:

$$K_g(t) = P(T \leq t) \quad (2.4)$$

gdzie:

$t$  – jest wymaganym czasem gotowości tj. czasem, w ciągu, którego pojazd powinien przystąpić do realizacji zleconych mu zadań;

$T$  – czas, w którym pojazd podejmuje realizację zleconych mu zadań.

Autorzy [12] zwracają uwagę na pojęcie gotowości w ujęciu informacyjno-deskrypcyjnym, które wyraża zaufanie obserwatora, że system umożliwi wykonanie zadania bez uszkodzenia lub uszkodzenia wystąpią, ale zostaną usunięte, a zadanie zostanie wykonane. Dla takiej gotowości wskaźnikiem jest prawdopodobieństwo tego, że podczas wykonywania zadania uszkodzenie nie wystąpi lub wystąpią tylko takie uszkodzenia, które zostaną usunięte na tyle szybko, że zadanie zostanie wykonane w wymaganym czasie i w wymaganej objętości.

Dla pojazdów samochodowych, z punktu widzenia dyspozycyjności, wartość współczynnika gotowości technicznej opisuje udział średniego czasu poprawnej pracy, tj. czasu przebywania w stanie zdatności do średniego czasu eksploatacji pojazdu, tj. sumy czasu poprawnej pracy oraz średniego czasu przebywania w naprawie [162]:

$$K_g(t) = \frac{T_1}{T_1 + T_2} \quad 0 \leq K_g(t) \leq 1 \quad (2.5)$$

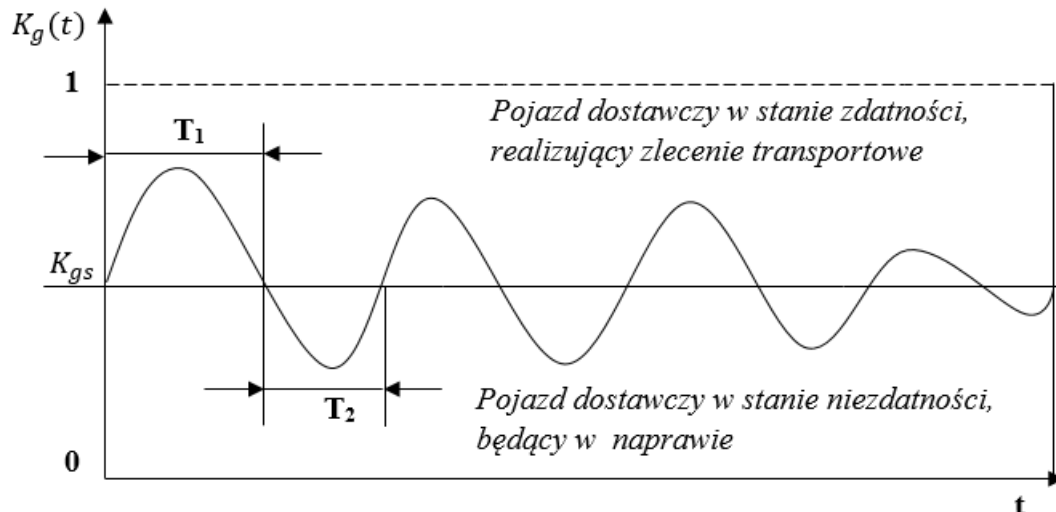
gdzie:

$T_1$  – czas poprawnej pracy, czas zdatności pojazdu;

$T_2$  – czas przebywania w naprawie, czas przywrócenia zdatności pojazdu.

W efekcie przeprowadzonej analizy literatury autor przyjmuje, że dla  $PS_{N1}$  gotowość techniczna, wraza się jako dyspozycyjność pojazdu i jego zdatność do podjęcia realizacji zlecenia transportowego w danych warunkach i w określonym czasie. Poziom wskaźnika gotowości technicznej wskazuje zatem na stosunek czasu, w którym pojazd jest nieuszkodzony i jednocześnie gotowy do podjęcia pracy, a czasu jego eksploatacji, w ramach której ma miejsce również obsługa techniczna i naprawa podczas których pojazd nie jest zdatny do realizacji zlecenia transportowego. Funkcję, której wartości wraz ze wzrostem czasu bieżącego  $t$  dążą do granicy zwanej stacjonarną wartością współczynnika gotowości  $K_{gs}$  przedstawiono na rys.2.2.





Rys. 2.2. Przebieg współczynnika gotowości technicznej dla pojazdów dostawczych  
*Źródło:* [155].

Analiza literatury w obszarze badanej problematyki wykazała, że największą uwagę poświęca się zagadnieniom **niezawodności** pojazdów samochodowych, która określa zdolność do wykonania wyznaczonych im funkcji zgodnych z przeznaczeniem, w danych warunkach i czasie eksploatacji [56]. Warunki eksploatacji są określone przez właściwości otoczenia, w odniesieniu do pojazdu – przez warunki drogowo-terenowe, obciążenia, warunki klimatyczne, a także zasady (technikę) użytkowania i obsługiwanego pojazdu.

Pojęcie niezawodności pojawia się w różnych dziedzinach nauki i przemysłu, dlatego ze względu na zakres stawianych wymagań wyróżnia się [112]:

- niezawodność techniczną, która uwzględnia wyłącznie charakterystyki techniczne;
- niezawodność techniczno-ekonomiczną, która uwzględnia charakterystyki techniczne i ekonomiczne;
- niezawodność globalną, która uwzględnia charakterystyki techniczne, ekonomiczne i socjologiczne obiektów.

Na potrzeby realizacji celów niniejszej rozprawy autor poddaje głębszej analizie charakterystykę i wymagania stawiane niezawodności techniczno-ekonomicznej, która opisuje korelację kosztów eksploatacji i niezawodności pojazdu.

Do oceny niezawodności pojazdów samochodowych, koniecznej przy planowaniu poszczególnych zadań przewozowych, wykorzystuje się określone elementy składowe, charakterystyki i parametry niezawodności, których badanie i określenie oparte jest głównie na metodach probabilistycznych i statystyce matematycznej.

Niezawodność jest właściwością ogólną i złożoną. Zdaniem autora, do grupy najważniejszych cech składowych niezawodności, które w najbardziej trafny sposób opisują  $PS_{N1}$  są takie cechy składowe jak: poprawność działania i trwałość. Wyrażają one określone właściwości obiektu i mają także zdefiniowane właściwe im miary, m. in.: funkcja zawodności, niezawodności, intensywności uszkodzeń, gęstości prawdopodobieństwa powstania uszkodzenia.

**Poprawność działania**  $N_p(t)$  (inaczej nieuszkodzalność, bezawaryjność) wg polskiej normy określa zdolność obiektu do wypełnienia wymaganych funkcji w danych warunkach, w danym przedziale czasu [134]. Opierając się o literaturę [112] i mając na uwadze pojazdy samochodowe, poprawność działania wyrazić można jako zaufanie użytkującego, że pojazd ten nie uszkodzi się podczas realizacji zleceń transportowych. Cecha ta niewątpliwie zależy od właściwości fizycznych pojazdu oraz od warunków jego użytkowania. Wielkość wskaźnika zależy więc nie tylko od cech techniczno-konstrukcyjnych pojazdu, ale też od oddziaływania otoczenia tj. zarządzania, zasilania, reagowania na zakłócenia, monitorowania, prognozowania. Poprawność działania jest pojęciem statystycznym, wyrażającym prawdopodobieństwo nieprzerwanego zachowania stanu zdadności pojazdu samochodowego podczas realizacji zlecenia transportowego w ustalonym przedziale czasu  $(t_1, t_2)$ .

**Trwałość**  $T_p(t)$  jest to właściwość pojazdu polegająca na zachowaniu w wymaganych granicach głównych parametrów roboczych określających jego stan graniczny. Jest to zdolność funkcjonowania pojazdu do chwili jego likwidacji. Miarą trwałości jest resurs pracy [134]. Mówi się o trwałości fizycznej, która odnosi się do zachowania: własności pojazdu, mimo jego starzenia się fizycznego, trwałości ekonomicznej, mimo jego starzenia się ekonomicznego, Mówi się również o trwałości użytkowej, którą określa się ilością wykonanej pracy, trwałości obsługowej, określonej liczbą napraw głównych kapitałnych oraz trwałości eksploatacyjnej mierzonej liczbą lat możliwej eksploatacji. Wiele badań z obszaru eksploatacji prowadzonych jest właśnie w zakresie zwiększania trwałości pojazdów samochodowych lub ich elementów konstrukcyjnych [67]. W praktyce trwałość pojazdu określa najczęściej przebieg pojazdu, masa przewiezionego ładunku lub liczba tonokilometrów.

Przedstawione definicje wskazują na dużą rolę cech niezawodności pojazdów dla racjonalnej, efektywnej realizacji procesów ich eksploatacji. Ilościową miarą cech niezawodności stanowią charakterystyki (zależności funkcyjne) i parametry (cechy liczbowe).

Do najważniejszych charakterystyk określających całkowite prawdopodobieństwo wystąpienia (lub niewystąpienia) uszkodzenia od chwili wytworzenia pojazdu do danej chwili

jest **funkcja zawodności**  $F(t)$ , która oznacza prawdopodobieństwo uszkodzenia pojazdu w przedziale resursu  $\langle 0, t \rangle$ . Jest dystrybuantą resursu i w sensie probabilistycznym oznacza prawdopodobieństwo, że zmienna losowa  $T$  przyjmie wartość mniejszą od  $t$  [112]:

wyrażenie probabilistyczne:

$$F(t) = P(T < t) \quad (2.6)$$

wyrażenie statystyczne:

$$F(t) = \frac{n(t)}{N(0)} \quad (2.7)$$

gdzie:

$T$  – zmienna losowa, określająca np. resurs sprawnej pracy pojazdu;

$t$  – wartość liczbowa zmiennej losowej;

$n(t)$  – liczba elementów, które uległy uszkodzeniu w chwili  $t$ ;

$N(0)$  – liczba elementów zdalnych, badanych w chwili początkowej.

**Funkcja niezawodności**  $R(t)$ , wyraża prawdopodobieństwo zachowania zdalności pojazdu w przedziale resursu  $(0, t)$  zatem zmienna losowa  $T$  przyjmuje wartość nie mniejszą od  $t$  [112]:

wyrażenie probabilistyczne:

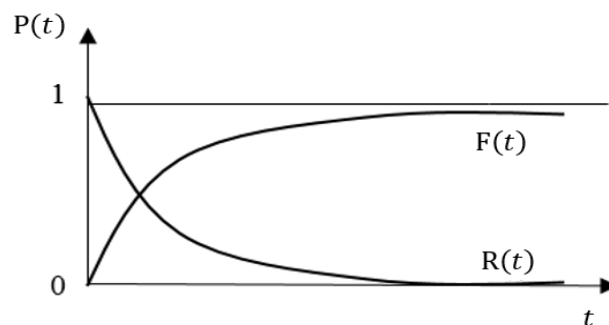
$$R(t) = P(T \geq t) \quad (2.8)$$

wyrażenie statystyczne:

$$R(t) = 1 - \frac{n(t)}{N(0)} = \frac{N(0) - n(t)}{N(0)} \quad (2.9)$$

Funkcja zawodności i niezawodności wyrażają łącznie prawdopodobieństwo zdarzeń uzupełniających się do pewnego zdarzenia, zatem ich suma jest równa 1:

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2.10)$$



Rys. 2.3. Charakterystyka funkcji niezawodności  $R(t)$  oraz funkcji zawodności  $F(t)$

Źródło: [112].

Charakterystyką określającą prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia w danej chwili (przedziale resursu) przypadające na jednostkę resursu są:

**Funkcja gęstości prawdopodobieństwa powstania uszkodzenia**  $f(t)$ , oznacza przypadające na jednostkę ресурсu prawdopodobieństwo powstania uszkodzenia w chwili  $t$ . Z rachunku prawdopodobieństwa funkcja gęstości prawdopodobieństwa jest pochodną dystrybuanty (2.11), co określa wyrażenie statystyczne (2.12) [156]:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = F'(t) \quad (2.11)$$

$$f(t) = \frac{n(t+\Delta t) - n(t)}{N(t) \cdot \Delta t} \quad (2.12)$$

**Funkcja intensywność uszkodzeń**  $\lambda(t)$  pojazdu jako obiektu naprawialnego, określa przypadającą na jednostkę ресурсu wartość prawdopodobieństwa warunkowego uszkodzenia pojazdu w chwili  $t$  (w praktyce w przedziale  $\langle t, t + \Delta t \rangle$  pod warunkiem, że nie uległ on uszkodzeniu w przedziale  $(0, t)$  [13]:

$$\lambda(t) = \frac{n(t+\Delta t) - n(t)}{N(t) \cdot \Delta t} \quad (2.13)$$

gdzie:

$N(t)$  – liczba elementów zdalnych na początku rozpatrywanego przedziału  $\Delta t$ , czyli przy wartości ресурсu  $t$ ; ( $N(t)$  – wyraża warunek braku uszkodzenia).

Do podstawowych parametrów niezawodności, najczęściej wyznaczanymi w praktyce, są wartość średnia ресурсu i odchylenie standardowe:

**Średni resurs sprawnej pracy**  $L_0$  – definiowany jako wartość oczekiwana (przeciętna) zmiennej losowej  $L$  (lub  $T$ ), dla zmiennej losowej dyskretnej (2.14) oraz zmiennej losowej ciągłej (2.15) [184]:

$$L_0 = \sum_{i=1}^n p_i l_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} l_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i \quad (2.14)$$

gdzie:

$l_i$  – resurs danego pojazdu do uszkodzenia;

$p_i$  – prawdopodobieństwo wystąpienia ресурсu  $l_i$ ;

$n$  – liczba badanych pojazdów;

$$L_0 = E(L) = \int_0^{\infty} l f(l) dl \quad (2.15)$$

**Odchylenie standardowe**  $\sigma$  ресурсu sprawnej pracy jest miarą rozproszenia zmiennej losowej wokół jej wartości średniej i jest równe pierwiastkowi kwadratowemu z wariancji  $\sigma^2$ . Wariancja będąca średnią kwadratów odchyłeń wyników od wartości średniej, którą w przypadku ресурсu jako zmiennej losowej dyskretnej, definiuje ją wyrażenie (2.16), a zmiennej ciągłej, wyrażenie (2.17) [196]:

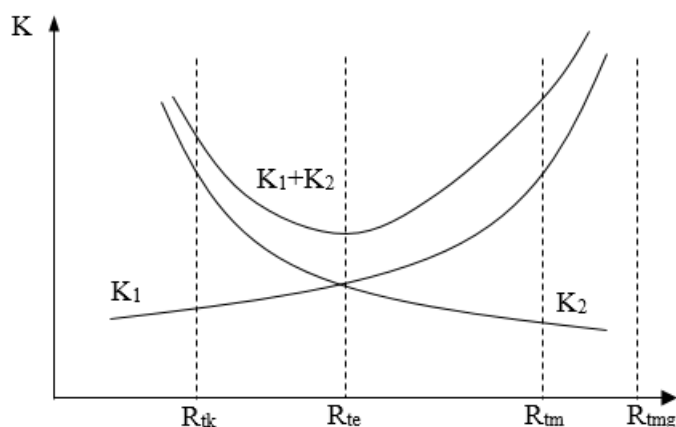
$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n p_i (l_i - L_0)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (l_i - L_0)^2 = \frac{1}{n} \sum l_i^2 - L_0^2 \quad (2.16)$$

$$\sigma^2 = E((L - L_0)^2) = E(L^2) - [E(L)]^2 = \int_0^\infty l^2 f(l) dl - L_0^2 \quad (2.17)$$

Z ekonomicznego punktu widzenia, szczególnie biorąc pod uwagę ostateczny cel działań każdego przedsiębiorstwa, zasadnym staje się dokonanie analizy charakterystyk niezawodnościowych również w kontekście kosztów, gdzie wyróżnia się [112]:

- $R_{tk}$ , wartość krytyczna niezawodności;
- $R_{te}$ , ekonomicznie optymalna wartość niezawodności;
- $R_{tml}$ , wartość maksymalna niezawodności uzyskiwana w przedsiębiorstwie;
- $R_{tmg}$ , największa wartość niezawodności uzyskiwana w technice światowej.

Wraz ze wzrostem niezawodność  $R(t)$  pojazdu, rośnie koszt  $K_1$ , który dla  $PS_{NI}$  może wiązać się z m.in. z obsługą techniczną, profilaktyką, wdrożeniem narzędzi wspierających kontrolę procesu eksploatacji, jednocześnie maleje koszt  $K_2$  związany z kosztami nieplanowanych postojów, awarii, serwisu lub potencjalnie utraconych korzyści. Istnieje zatem minimalna suma kosztów  $K_1$  i  $K_2$ , przy której uzyskuje się ekonomicznie optymalną wartość niezawodności  $R_{te}$  (rys. 2.4).

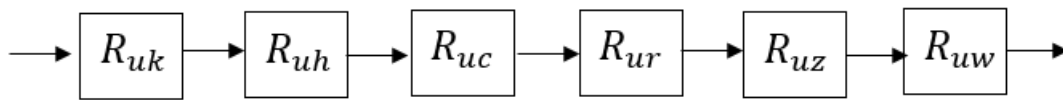


Rys. 2.4. Zależność kosztów od niezawodności pojazdu samochodowego  
Źródło: [112].

Niezawodność ekonomiczna wyraża zaufanie kierowcy lub dyspozytora pojazdu do tego, że zrealizuje on przewóz ładunku, zgodnie z otrzymanym zleceniem transportowym, a efektem tego będzie określony przychód, w ostateczności zysk ekonomiczny. Niezawodność ekonomiczna, szczególnie pojazdów samochodowych przeznaczonych do przewozu ładunków wykazuje dużą zależność od sytuacji gospodarczej kraju oraz uwarunkowań prawnych. Niezawodność techniczno-ekonomiczna pojazdu określa zatem jego zdolność do zrealizowania przydzielonych mu zadań przewozowych w ciągu określonego czasu i w określonych warunkach pracy z utrzymaniem w dopuszczalnych normach cech eksploatacyjnych tj.:

trwałości, gotowości technicznej, poprawności działania oraz ekonomiczności, wyrażonej przychodem lub kosztami.

Pojazd samochodowy, który charakteryzuje się szeregową strukturą niezawodnościową jest zdalny tylko wtedy, gdy wszystkie jego elementy są zdalne i tylko wtedy może zrealizować zleczone mu zadanie (rys. 2.5).



Rys. 2.5. Model pojazdu o szeregowej strukturze niezawodnościowej, składającej się z 6 układów *uk* – układ kierowniczy, *uh* – układ hamulcowy, *uc* – układ chłodniczy, *ur* – układ rozrządu, *uz* – układ zawieszenia, *uw* – układ wydechowy.

Źródło: [196].

Podejście biznesowe jednoznacznie określa, że jedynie w momencie dokonania realizacji zleconego przewozu, zgodnie z wytycznymi zawartymi w zleceniu transportowym, klient zamawiający usługę jest zobowiązany za nią zapłacić. Do zrealizowania tej usługi niezbędne jest niezawodne działanie poszczególnych układów pojazdu oraz ich elementów. Za wykonanie tylko części zadania, z nieodpowiednią jakością, dostarczenie ładunku z opóźnieniem lub za jego uszkodzenie klient nie zapłaci, a przedsiębiorca ponosi koszty. Występowanie różnych sytuacji eksploatacyjnych, a także wielu sytuacji losowych, w tym awarii, zmusza użytkowników pojazdów do racjonalnego zarządzania nimi oraz wyboru takiej strategii i procedur działania, aby w określonej sytuacji maksymalizować przychód i minimalizować koszty.

Literatura przedmiotu znacznie częściej posługuje się pojęciem efektywności ekonomicznej, aniżeli niezawodności ekonomicznej. **Efektywność** jako kategoria nietechniczna, ale ekonomiczna, determinuje wynik oceny działalności przedsiębiorstwa, jak i poszczególnych jego obszarów, tj. procesu użytkowania pojazdów, obsługiwanie, diagnozowania.

Jedna z najpopularniejszych definicji efektywności ekonomicznej, wskazuje, iż jest to działanie pozbawione marnotrawstwa oraz nastawione na osiągnięcie najlepszego rezultatu w ramach dostępnych zasobów i technologii [109, 185]. W ujęciu ogólnym jest ona definiowana jako zdolność do takiego wykorzystania posiadanych zasobów, aby w sposób najbardziej skuteczny i najmniej marnotrawny osiągnąć dany cel. Istotą pomiaru tak rozumianej efektywności jest zestawienie osiągniętego efektu z zużytymi nakładami [153]. Samuelson i Nordhaus określili efektywność jako najbardziej skuteczne zastosowanie dostępnych zasobów społeczeństwa w procesie zaspokajania potrzeb [152]. Zgodnie z teorią organizacji,

efektywność jest traktowana jako najszersza znaczeniowo spośród takich pojęć jak: sprawność, produktywność, ekonomiczność, racjonalność czy skuteczność [154]. Efektywność może dotyczyć zarówno pojedynczych podmiotów, jak i gospodarki jako całości [17]. Ponadto może być rozpatrywana w krótkim i długim okresie [116]. Przedsiębiorstwo jest efektywne, jeśli przy pełnym wykorzystaniu posiadanych zasobów wytwarza dobra, na które występuje zapotrzebowanie na rynku, bez zbędnego gromadzenia zapasów [161]. Próbując uchwycić istotę efektywności, Pyszka zwraca uwagę na niejednoznaczną interpretację tego pojęcia, które wraz z rozwojem teorii zarządzania poddawane jest nieustannym modyfikacjom [144].

Analizując rozważania na temat efektywności, autor przyjmuje takie pojęcie, które wg jego oceny w sposób najbardziej trafny charakteryzuje pracę  $PS_{N1}$ . Przyjmuje zatem pojęcie **efektywności użytkowania**, którą rozpatrywać należy w dwóch aspektach:

- funkcjonalnym, związanym ze skutecznością działania, mówiącą o tym, czy dane zlecenie transportowe zostało zrealizowane zgodnie z wymaganiami klienta, co wyraża się w formie kodów: 0 jeżeli nie zostało zrealizowane zgodnie z wymaganiami klienta, 1, jeżeli zostało zrealizowane zgodnie z wymaganiami klienta [0;1];
- ekonomicznym, związanym z uzyskaniem przychodu z realizacji zlecenia transportowego, a w efekcie zysku ze świadczenia usług transportowych.

Efektywność użytkowania w aspekcie funkcjonalnym  $E_f$  określa funkcja zbioru punktowych właściwości użytkowych pojazdu, osiąganych w określonych warunkach użytkowania i przy określonym układzie pobudzeń sterujących:

$$E_f = f_f(W_u, W_r, P_s) \quad (2.18)$$

gdzie:

$W_u$  – zbiór cech techniczno-eksploatacyjnych pojazdu samochodowego;

$W_r$  – zbiór warunków użytkowania, tj. oddziaływań kierowcy na użytkowany pojazd;

$P_s$  – zbiór pobudzeń sterujących, wymuszających realizację zadań poprzez zarządzanie nimi.

W publikacjach [137, 158] autorzy potwierdzają, że efektywność przedsiębiorstw transportowych jest pojęciem uniwersalnym, determinowanym przez racjonalne gospodarowanie pojazdami. Realizowane zadania przewozowe w przedsiębiorstwach transportowych mogą być jednak efektywne z jednego punktu widzenia i nieefektywne z drugiego. Do głównych celów racjonalnego gospodarowania pojazdami w przedsiębiorstwach transportowych zaliczyć można [4]:

- zebranie określonych danych dotyczących aktualnego stanu faktycznego oraz informacji o zasobach resursu pojazdów;
- planowanie użytkowania i obsługi pojazdów;
- rozwój techniczny pojazdów;
- wybór optymalnej strategii eksploatacji pojazdów;
- zaopatrywanie pojazdów w niezbędne materiały i części zamienne;
- minimalizowanie czasu potrzebnego na odnowę, serwis, naprawę pojazdu;
- minimalizowanie nakładów finansowych na zabezpieczenie eksploatacji pojazdów.

Kształtowanie procesu użytkowania  $PS_{N1}$ , identyfikowanego w praktyce jako realizacja zlecenia transportowego  $RZTL$  determinuje poszczególne cechy wynikające z uwarunkowań eksploatacyjnych pojazdów:

$$RZTL(x) = f(J_p; S_k; S_p; K_g; R_p; T_p; S_d) \rightarrow E_f \quad (2.19)$$

gdzie:

$RZTL(x)$  – cechy realizacji zlecenia transportowego;

$J_p$  – intensywność użytkowania  $PS_{N1}$ ;

$S_k$  – skuteczność użytkowania  $PS_{N1}$ ;

$S_p$  – sprawność  $PS_{N1}$ ;

$K_g$  – gotowość techniczna  $PS_{N1}$ ;

$R_p$  – niezawodność  $PS_{N1}$ ;

$S_d$  – poprawność działania  $PS_{N1}$ ;

$T_p$  – trwałość  $PS_{N1}$ ;

$E_f$  – efektywność użytkowania  $PS_{N1}$ .

Dla przedsiębiorstw transportowych cechą mierzalną efektywności użytkowania  $PS_{N1}$  jest zawsze przychód z realizacji zleceń transportowych oraz koszty wynikające z tej realizacji. Optymalne zarządzanie procesem użytkowania pojazdów powinno być zawsze nastawione na maksymalizowanie przychodu  $P_{max}$  i minimalizowanie kosztów  $K_{min}$  [20]:

$$RZTL(x) \rightarrow E_f(\bar{x}) = \begin{cases} P_{max} \\ K_{min} \end{cases} \quad (2.20)$$

Na osiągnięcie zamierzonego efektu wpływ mają również warunki ograniczające  $W$  dla użytkowania  $PS_{N1}$  rozpatrywane w aspekcie technologicznym, ekonomicznym, prawnym i społecznym:



$$W \text{ dla } E_f(\bar{x}) = \begin{cases} E(e_1, e_2, e_3) \\ R(r_1, r_2, r_3) \\ S(s_1, s_2, s_3) \\ T(t_1, t_2, t_3) \end{cases} \quad (2.21)$$

Warunki ograniczające efektywny proces użytkowania  $PS_{N1}$  dotyczą sfery:

- $E$  ekonomicznej: w tym konkurencji, sytuacji ekonomicznej w kraju, wielkości popytu na dany produkt, ceny oleju napędowego;
- $R$  prawnej: nieograniczony czas pracy kierowców;
- $S$  branżowej: specyfika branży transportu produktów FMCG to sezonowość, niesystematyczność;
- $T$  technicznej: DMC pojazdu nieprzekraczająca 3,5 tony, maksymalna moc i pojemność silnika, maksymalna prędkość pojazdu, dostępność części zamiennych.

Efektywność użytkowania w aspekcie ekonomicznym  $E_e$  określa się za pomocą mierników [195]:

- jednostkowy przychód  $d_i$  (np. zł/h) wynikający z użytkowania pojazdu przypadający na jednostkę czasu;
- sumaryczny przychód  $D_i$  uzyskany z użytkowania pojazdu w przedziale czasu  $\langle 0, t \rangle$ :

$$D_i = \sum_{i=1}^n t_{ij} \cdot d_i \quad (2.22)$$

- jednostkowe koszty  $c_i$  (np. zł/h) utrzymania pojazdów w stanie zdadności funkcjonalnej i zadaniowej w czasie jego użytkowania;
- sumaryczne koszty  $C_i$  użytkowania pojazdu w przedziale czasu  $\langle 0, t \rangle$ :

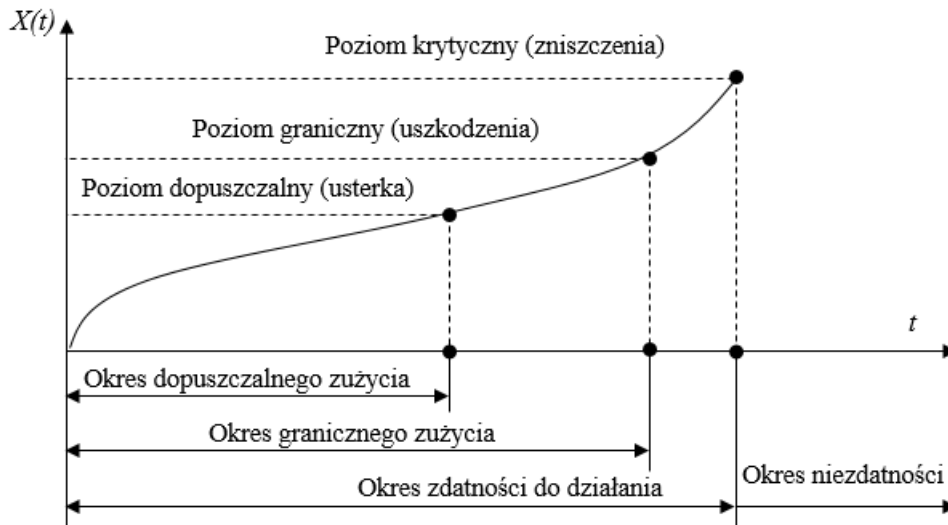
$$C_i = \sum_{i=1}^n t_{ij} \cdot c_i \quad (2.23)$$

- zysk jednostkowy  $z_i$  (np. zł/h) wynikający z użytkowania pojazdu, przypadający na jednostkę czasu;
- sumaryczny zysk  $Z_i$  uzyskany z użytkowania pojazdu w przedziale czasu  $\langle 0, t \rangle$ :

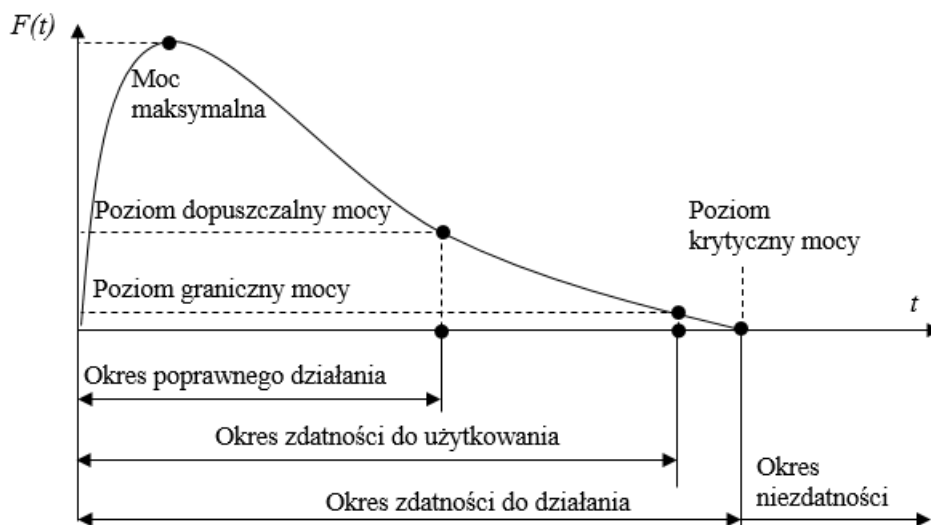
$$Z_i = \sum_{i=1}^n t_{ij} \cdot z_i \quad (2.24)$$

Teoria jak i praktyka potwierdzają, że cechy techniczno-eksploatacyjne pojazdu wraz z realizacją każdej kolejnej pracy przewozowej w danym okresie ulegają degresywnym zmianom, których efektem jest zużycie zmęczeniowe, udarowe, starzenie. Powstałe w tym okresie zmiany techniczne tj. odkształcenia bądź luzy pomiędzy elementami są przyczynami niedomagań pojazdu, które w efekcie prowadzić będą do stanu niezdatności pojazdu tj. braku możliwości realizacji zleceń transportowych. Zależność stanów technicznych  $X(t)$  i cech

użytkowych (eksploatacyjnych)  $F(t)$  od czasu eksploatacji pojazdu przedstawiono na rys. 2.6 i rys. 2.7. [94]:



Rys. 2.6. Charakterystyka stanów technicznych w zależności od czasu eksploatacji pojazdu samochodowego  
Źródło: [94].



Rys. 2.7. Zależność cech użytkowych pojazdu od czasu jego eksploatacji  
Źródło: [94].

Dla cech technicznych  $X(t)$  wyróżnia się stan techniczny pojazdu:

- dopuszczalny, z uwagi na specyfikacje techniczną, np. wysokość bieżnika;
- graniczny, ze względu na możliwość dokonania naprawy;
- krytyczny, ze względu na nagły wzrost intensywności z prawdopodobieństwem wystąpienia usterek, uszkodzeń lub awarii.

Dla cech użytkowych  $F(t)$  wyróżnia się stan techniczny pojazdu:

- dopuszczalny, w ramach dopuszczalnej, określonej przez producenta tolerancji np. moc;
- graniczny, ze względu na niedopuszczalny spadek wartości danego parametru użytkowego;
- krytyczny, ze względu na unieruchomienie pojazdu.

Nową metodę doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdów w aspekcie zwiększania ich trwałości w użytkowaniu przedstawili autorzy [183]. Do symulacji zadań przewozowych w przedsiębiorstwie transportowym wykorzystano rzeczywiste dane eksploatacyjne 10 pojazdów ciężarowych o dopuszczalnej masie całkowitej 18 ton. Autorzy zwrócili uwagę na konieczność opracowania traktującego kompleksowo zagadnienia eksploatacji technicznej i zagadnienia organizacji marszrut (realizacji zadań) dla tych pojazdów. Zaproponowali metodę doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdów opartą na elementach modelu programowania dynamicznego z zastosowaniem algorytmów heurystycznych. Bazując na ogólnodostępnym projekcie OpenStreetMap, z którego algorytm pobierał dane, zaproponowali nowe narzędzie w postaci programu komputerowego Logistics, którego zastosowanie zweryfikowali w rzeczywistym przedsiębiorstwie transportowym w końcowym etapie badań. Do budowy modelu Autorzy zastosowali poniższe cechy techniczno-eksploatacyjne:

- ładowność [kg];
- prędkość techniczna pojazdu [km/h];
- koszty eksploatacyjne [zł/km];
- sumaryczny koszt dotychczasowej eksploatacji [zł];
- sumaryczna ilość przejechanych kilometrów we wszystkich kursach, w których pojazd brał udział [km];
- zużycie paliwa [ $\text{dm}^3/100 \text{ km}$ ];
- 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.

Wyniki badań przedstawiono za pomocą dwóch metod pomiarowych z uwzględnieniem narzuconych warunków ograniczających. Kalkulacje dotyczące zużycia elementów pojazdu oparto o model bezawaryjnego funkcjonowania pojazdu transportowego porównany z określonymi parametrami, pracą wpływającą na ich trwałość oraz kosztami obsługi. Dane dotyczące zużycia oraz cechy techniczno-eksploatacyjne były podstawą do obliczeń wskaźników eksploatacyjnych, tj.: wskaźnika gotowości technicznej, wskaźnika wykorzystania

taboru, wskaźnika wykorzystania czasu pracy, wskaźnika statycznego sumarycznego wykorzystania ładowności, wskaźnika statycznego wykorzystania ładowności. Pierwsza metoda pomiarowa zakładała szybsze zużywanie się części w czasie co skutkowało wyznaczeniem trasy możliwie najszybszej dla zapewnienia największej trwałości części. 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. Drugi przypadek prezentował zużywanie się części w zależności od długości przebytej drogi, dlatego wyniki obliczeń wskazywały optymalnie krótką trasę. W tym przypadku kryterium stanowiło większe zużywanie się podzespołów pojazdów w aspekcie długości przebytej drogi. Dla tego warunku algorytm wyznaczył drogę krótszą, z uwzględnieniem parametrów eksploatacyjnych, ale niejednokrotnie wolniejszą.

W rezultacie przeprowadzonych eksperymentów dla trzech wariantów: kryterium czasu, kryterium drogi oraz danych rzeczywistych z firmy potwierdzono, 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. Przykładowe wyniki badań wskazały, że symulacja kursów z kryterium krótkich tras pokazała dużo mniejsze zużycie części i wynosiło ono odpowiednio: dla okresu wymiany co 20 tys. km – zużycie części 205,68%, przy wymianie co 60 tys. km – 69,93%. W przypadku analizy działań firmy transportowej, dane wskazują, że 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%. Przeprowadzone badania potwierdzają konieczność weryfikowania i racjonalnego doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdów w przedsiębiorstwach transportowych co w konsekwencji może wpłynąć na zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych, wzrost niezawodności i wydajności pracy pojazdu w tej samej jednostce czasu.

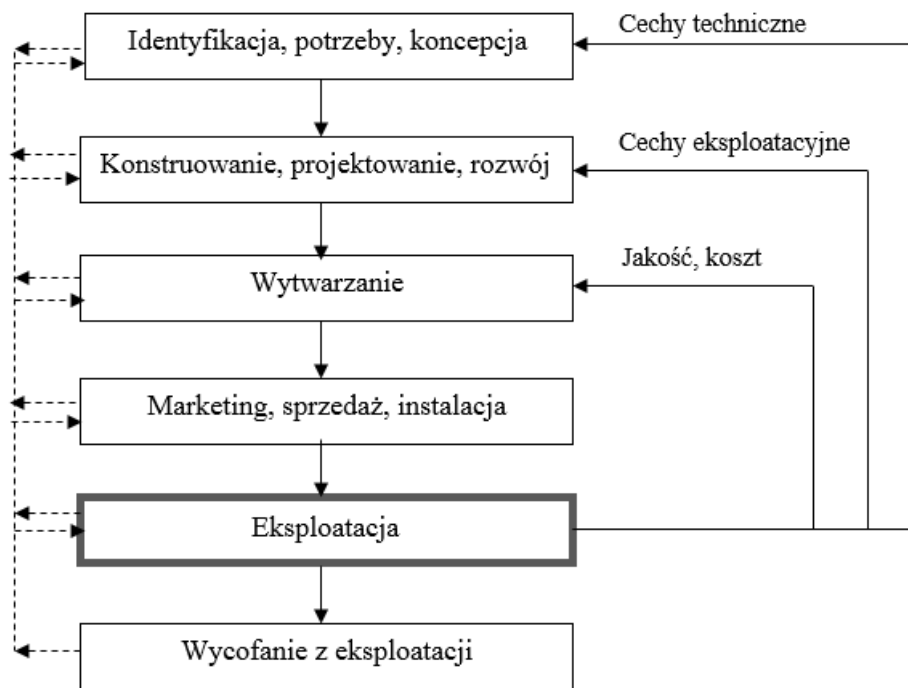
Analizę eksploatowanych pojazdów ciężarowych przeprowadzili również autorzy opracowania [34], którzy zaznaczają, że nadrzędnym celem badanego systemu eksploatacji jest skuteczność realizowanych zadań przewozowych. Celem prowadzonych badań była ocena gotowości technicznej pojazdów eksploatowanych w przedsiębiorstwie transportowym. Analiza obejmuje zbiór danych opisujących 16 pojazdów ciężarowych dla których autorzy przedstawili zdarzeniowy model procesu eksploatacji obejmujący 12 różnych stanów, w których może znajdować się pojazd. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że

wskaźniki gotowości technicznej pojazdów ciężarowych przyjmują wartości w przedziale  $K_g = 0,8339 \div 0,8852$  co potwierdza duże prawdopodobieństwo przystąpienia pojazdu do realizacji ustalonego zbioru zadań we właściwym czasie. Wskaźnik gotowości zweryfikowano również ze względu na rok produkcji, przebieg kilometrowy oraz typ pojazdu. Wyniki wskazały, że ze względu na rok produkcji największym wskaźnikiem gotowości  $K_g = 0,8850$  charakteryzowały się obiekty wyprodukowane w latach 2006-2008. Ze względu na przebieg największym wskaźnikiem gotowości  $K_g = 0,8840$  charakteryzowały się pojazdy z przebiegiem 900-1350 tys. kilometrów.

Prowadzone badania w obszarze analizy i oceny cech techniczno-eksploatacyjnych pojazdów samochodowych prowadzone są głównie w celu optymalizacji wykonywanych zadań przewozowych. Stale poszukuje się metod umożliwiających obniżanie kosztów eksploatacji z jednocześnie efektywnym wykorzystaniem pojazdów w określonym czasie wraz z zachowaniem optymalnych parametrów eksploatacyjnych

## **2.2. Analiza użytkowania $PS_{N1}$ w systemie eksploatacji**

Pojazdy samochodowe stanowią efekt twórczych działań inżynierskich w fazie konstruowania, projektowania i wytwarzania, jak i przedmiot działań w fazie eksploatacji, która zwykle obejmuje 90% czasu trwania całego cyklu życia pojazdu. W całym cyklu życia pojazdu samochodowego zauważa się liczne sprzężenia zwrotne dotyczące przepływu informacji dla poprawy samego pojazdu jak i zasad jego eksploatacji [155]. Miejsce eksploatacji pojazdu w cyklu jego życia przedstawiono na rys. 2.8.



Rys. 2.8. Eksploatacja w cyklu życia pojazdu samochodowego  
 Źródło: [70].

Pojazdom samochodowym, szczególnie tym, których celem jest transport ładunków, stawia się specjalne wymagania techniczne. Identyfikacja potrzeb, jakie mają spełniać tego typu pojazdy determinuje określone wymagania techniczne, które z kolei ukierunkowane są na spełnianie wymagań eksploatacyjnych m.in. gotowość techniczna, niezawodność, efektywność. Złożoność techniczna pojazdów oraz stawiane im duże wymagania użytkowe, inicjuje w działalności inżynierskiej nowe zadania, wyzwania i utrudnienia występujące zarówno w fazie projektowania, wytwarzania, jak i w eksploatacji. Proces wytwarzania pojazdu zgodnie z założeniami projektowymi ma zapewnić odpowiednią jego jakość, informuje o poniesionych w związku z tym kosztach oraz przygotowuje do nabycia przez użytkownika i rzeczywistej eksploatacji pojazdu.

Próba zdefiniowania pojęcia eksploatacji podejmowana była przez wielu autorów i odnosi się zazwyczaj do szeroko określonej grupy maszyn, urządzeń czy obiektów technicznych, do których zalicza się również pojazdy samochodowe. Mimo jednakowej zasady, co do podstawy pojęcia eksploatacji, jej definicje nieco różnią się od siebie.

Powołując się na wycofaną już, ale nadal mocno zakorzenioną w teorii eksploatacyjnej polską normę PN-N:04001-1982, eksploatacja określona jest jako zespół celowych działań organizacyjno-technicznych, społecznych i ekonomicznych ludzi z obiektem technicznym oraz wzajemne relacje występujące między nimi od chwili przejścia obiektu do wykorzystania zgodnie z przeznaczeniem, aż do jego likwidacji [134]. PN-93/N-50191 definiuje eksploatację

jako zespół wszystkich działań technicznych i organizacyjnych, mających na celu umożliwienie obiektowi wypełnianie wymaganych funkcji, włącznie z koniecznym dostosowaniem do zmian warunków zewnętrznych. Przez warunki zewnętrzne rozumie się np. wymagania dotyczące usług i warunki środowiskowe. Obie definicje zwracają uwagę na cel eksploatacji, jej elementy organizacyjne, techniczne oraz relacje między nimi. Pierwsza definicja wskazuje również na ważność działań społecznych i ekonomicznych, a druga zwraca uwagę na otoczenie zewnętrzne systemu eksploatacji.

Eksploatacja, wg Legutko, to ciąg działań, procesów i zjawisk związanych z wykorzystywaniem obiektów technicznych przez człowieka, obejmujący przedział czasu od chwili wyprodukowania maszyny do momentu jej likwidacji [104].

Autorzy utożsamiają się z poglądem interdyscyplinarnego rozpatrywania eksploatacji, której efekty zależą przede wszystkim od sposobu działań człowieka. Przytoczone definicje nie precyzują jednak dokładnie przedmiotu eksploatacji, odnoszą się do szeroko określonej grupy maszyn, urządzeń czy obiektów technicznych. Nie uwzględniają również procesów zarządzania eksploatacją, które stanowią w ocenie autora ważny element opisujący relację pomiędzy przedmiotem eksploatacji a człowiekiem.

Zgodnie z [42] maszyną nazywa się zbiór, składający się ze sprzężonych części lub elementów, z których przynajmniej jedna wykonuje ruch, połączonych w całość mającą konkretne zastosowanie, zalicza się do nich również pojazdy samochodowe tj. pojazdy silnikowe i ich przyczepy z wyłączeniem maszyn zamocowanych na tych pojazdach. PS<sub>N1</sub>, ze względu na swoje cechy techniczno-eksploatacyjne, projektowane i budowane są w celu świadczenia usług transportowych tj. realizacji zleceń przewozowych. Proces ich użytkowania jest zatem najważniejszym elementem procesu eksploatacyjnego.

W celu dokonania szczegółowej charakterystyki działań eksploatacyjnych niezbędne jest rozpatrzenie eksploatacji w ujęciu systemowym, co umożliwia zdefiniowanie poszczególnych elementów systemu oraz kryterium realizowanych funkcji, identyfikuje strumienie danych między podsystemami i określa wpływ czynników oddziałujących na system.

Pod pojęciem systemu eksploatacji pojazdów samochodowych rozumieć należy układ celowo wyodrębnionego zbioru elementów o zdeterminowanych właściwościach, powiązanych zależnościami i wzajemnymi oddziaływaniami tj. relacjami, które określają intensywność przepływu zasobów, energii i informacji [45, 76].

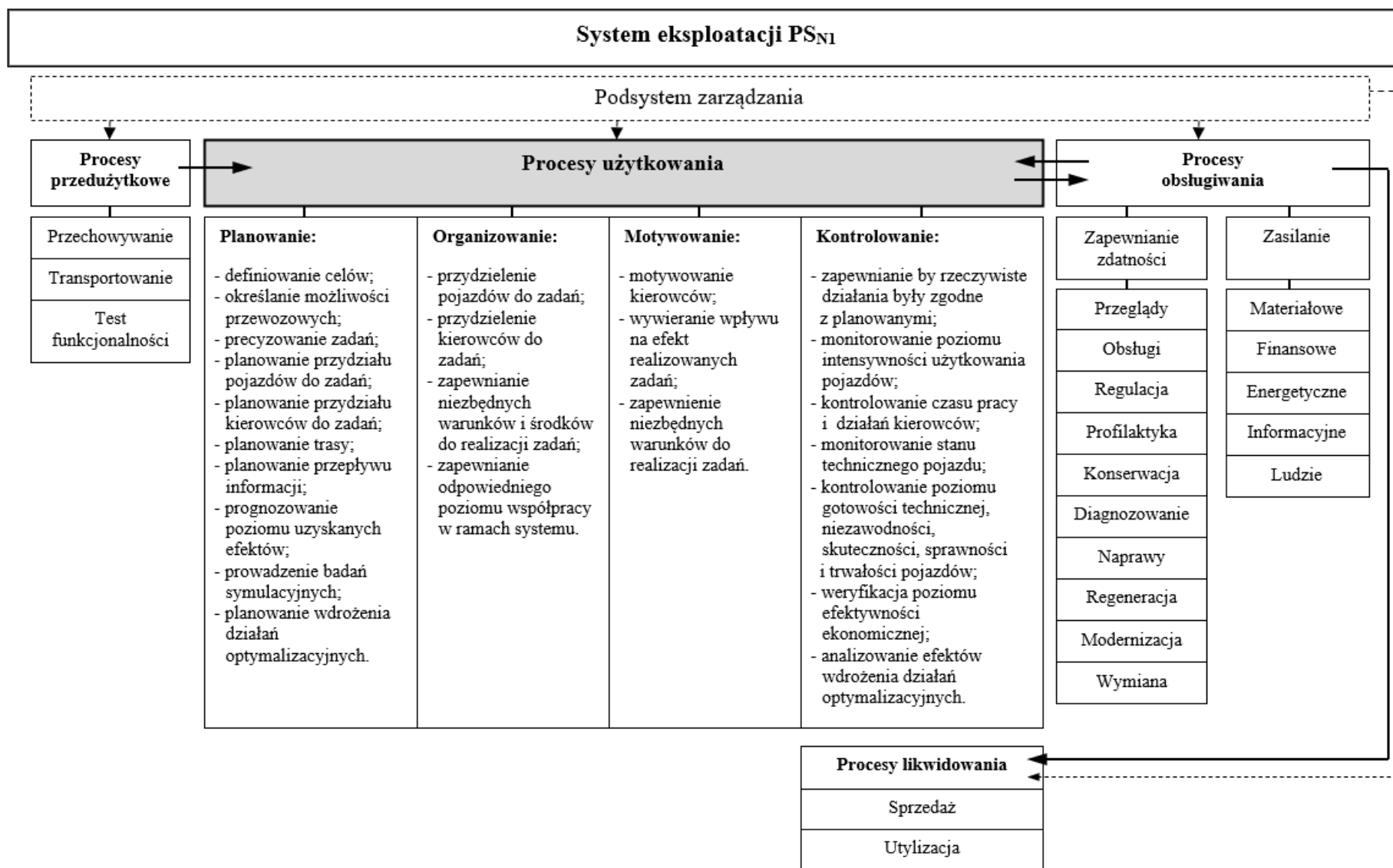
Bazując na zaprezentowanych systemach eksploatacji w przytoczonych publikacjach [56, 94] autor podejmuje próbę scharakteryzowania struktury systemu eksploatacji PS<sub>N1</sub>, która największą uwagę skupia na szczegółowej identyfikacji elementów procesu użytkowania.

Użytkowanie  $PS_{NI}$  jako proces dynamiczny, złożony oraz ograniczony pod względem technologicznym oraz prawnym jest procesem zarządzanym, który w literaturze przedmiotu określa się sterowaniem [25]. W systemie eksploatacji obok przepływu informacji pomiędzy jego poszczególnymi elementami ważne jest również gromadzenie ich, przechowywanie i wykorzystywanie do sprawnego działania. Oznacza to, że dyspozytor lub zarządzający wraz z kierowcą, na podstawie otrzymanych i zebranych informacji wytwarzają informację sterującą tj. decyzję, która określa kierunek działań i dalszych postępowań w obszarze eksploataowania pojazdów szczególnie w aspekcie ich użytkowania oraz obsługiwanie.

W niniejszej rozprawie, w celu usystematyzowania pojęć, autor przyjmuje, że sterowanie procesem użytkowania pojazdami jest pojęciem węższym i zawiera się w pojęciu zarządzania procesem użytkowania  $PS_{NI}$  i dotyczy wszelkich działań obejmujących podejmowanie decyzji w oparciu o posiadane informacje, wskazane warunki, zasady i techniki.

Literatura przedmiotu często identyfikuje system eksploatacji poprzez dwa podstawowe lub cztery rodzaje procesów, do podstawowych należą: proces użytkowania i obsługiwanie, do kolejnych dwóch, zasilanie i zarządzanie. Bazując na przytoczonej teorii, strukturę systemu eksploatacji  $PS_{NI}$  przedstawiono na rys. 2.9.





Rys. 2.9. Struktura systemu eksploatacji PS<sub>N1</sub>

W zaprezentowanej strukturze systemu eksploatacji  $PS_{N1}$  szczególną uwagę zwraca się na istnienie podsystemu zarządzania, który obejmuje kolejno procesy przedużytkowe, użytkowania, obsługiwanie i likwidowania. Podsystem zarządzania nadaje systemowi eksploatacji pojazdów celowości poprzez planowanie, organizowanie, motywowanie i kontrolowanie procesów użytkowania pojazdów. Z uwagi na badaną problematykę, szczegółowej analizie w aspekcie zarządzania poddany został jedynie proces użytkowania pojazdów samochodowych, który stanowi jeden z dwóch (obok obsługiwanie) podstawowych elementów systemu eksploatacji. Zarządzanie procesami przedużytkowymi ma na celu przygotowanie pojazdu do podjęcia i realizacji zleconych zadań. Proces użytkowania pojazdów dostawczych rozpoczyna się od zdefiniowania celów użytkowania pojazdów, następnie, zaplanowaniem zadań, określeniem możliwości przewozowych pojazdów, które są w gotowości technicznej, optymalnego przydziału zadań poszczególnym pojazdom i kierowcom, planowaniem tras i przepływu informacji, dokumentów pomiędzy nadawcą, a odbiorcą. Planowanie obejmuje również prognozowanie potencjalnych efektów wykonanej pracy w postaci dochodu oraz możliwości minimalizowania kosztów użytkowania pojazdów poprzez wdrażanie optymalnych narzędzi i metod wspomagających procesy zarządzania. Efektem planowania i organizowania jest zapewnienie odpowiednich warunków, zasobów i narzędzi do zrealizowania procesu przewozowego. Przydzielenie kierowców do pojazdów oraz pojazdów do poszczególnych zadań, stanowi podstawę do rozpoczęcia procesu realizacji zleceń transportowych. W obszarze organizacji ważne jest również wyznaczenie odpowiedzialnych jednostek za utrzymywanie odpowiedniego poziomu współpracy w strukturach wewnętrznych oraz w relacji z otoczeniem zewnętrznym. Powierzenie kierowcom poszczególnych zadań, wymaga takiego motywowania które zapewni osiągnięcie zaplanowanych efektów, jakie w końcowym etapie procesu użytkowania będą weryfikowane i porównywane z efektami rzeczywiście uzyskanymi. Celem kontrolowania jest bieżąca weryfikacja stanu technicznego pojazdu i monitorowanie wartości cech eksploatacyjnych. Są to również działania nadzorujące czas pracy kierowców oraz analiza efektów wdrożeń działań optymalizacyjnych, których celem jest wspomaganie procesów decyzyjnych w ramach zarządzania użytkowaniem pojazdów samochodowych.

Procesy użytkowania i obsługiwanie  $PS_{N1}$  wykazują wzajemną zależność i bezpośrednio wpływają na rodzaj oraz intensywność zachodzących procesów destrukcyjnych pojazdów, dlatego tak ważne jest racjonalne zarządzanie nimi. Podstawą do zapewnienia zrównoważonej i bezpiecznej eksploatacji są informacje o stanie pojazdów oraz rodzajach, przyczynach i skutkach ich uszkodzeń wynikających z faktu ich użytkowania. Współużyteczność dwóch

podstawowych procesów w systemie eksploatacji powoduje, że w relacji użytkujący – obsługujący następuje sprzeczność interesów, co w efekcie rodzi konflikt eksploatacyjny, który ma miejsce w każdej organizacji dysponującej pojazdami samochodowymi [39]. Obsługiwanie pojazdu samochodowego, tj. czas, w którym przywracana jest jego zdatność, wymaga wyłączenia go z użytkowania i odwrotnie, uzasadnione staje się więc wspólne zarządzanie tymi procesami w celu osiągnięcia pożądaných efektów.

W publikacjach [56, 117] przytacza się sformułowanie, że pojazd jest użytkowany wtedy i tylko wtedy, gdy istnieje taki łańcuch działania, w którym jest on pośrednikiem lub elementem pośrednika działania, przy czym przez użytkowanie rozumie się całokształt działań związanych z wykorzystaniem pojazdu zdatnego do wykonywania określonych zadań.

Łańcuch użytkowania  $PS_{NI}$  zapisuje się w postaci:

$$\mathbb{L}_u = \langle x, p, z \rangle \quad (2.25)$$

gdzie:

$x$  – kierowca pojazdu dostawczego, jako podmiot użytkowania;

$p$  – pojazd dostawczy, jako pośrednik;

$z$  – ładunek (np. 8 palet z produktami żywnościowymi), jako przedmiot użytkowania.

Pojazd samochodowy co jakiś czas poddawany jest procesowi obsługiwaną, przez co rozumie się całokształt działań związanych z podtrzymywaniem i przywracaniem pojazdowi stanu zdatności. Łańcuch obsługiwaną pojazdu dostawczego zapisuje się w postaci:

$$\mathbb{L}_o = \langle x, y, p \rangle \quad (2.26)$$

gdzie:

$x$  – obsługujący pojazd dostawczy, jako podmiot obsługiwaną;

$y$  – środki techniczne umożliwiające wykonanie obsługi;

$p$  – pojazd dostawczy, jako przedmiot obsługiwaną.

Tematyka rozprawy wskazuje na zainteresowanie funkcjonowaniem systemu eksploatacji  $PS_{NI}$  przeznaczonych do przewozu ładunków, dla których podstawowym celem jest realizacja usługi przewozowej. Jest to możliwe jedynie dzięki zasobom eksploatacyjnym dostępnym dla danego systemu. O eksploatacji pojazdu samochodowego można mówić zatem wtedy, gdy jest on użytkowany lub obsługiwany. Łańcuch eksploatacji  $\mathbb{L}_e$  opisuje zależność:

$$\mathbb{L}_e = \mathbb{L}_u + \mathbb{L}_o \quad (2.27)$$

Na każdy z tych elementów ma wpływ aktywny udział dyspozytora, który poprzez zarządzanie transformuje nakłady na określone efekty, przez co kształtuje strukturę całego systemu eksploatacji pojazdów dostawczych. Efektywność procesu transformacji jest tym

większa, im system jest lepiej zorganizowany i przystosowany do realizacji przewozu ładunków. Cechy idealnego wzorca działania, wyrażone są za pomocą odpowiednich cech techniczno-eksploatacyjnych oraz racjonalnego sposobu zarządzania eksploatacją pojazdów samochodowych, której cel formułuje się zawsze w odniesieniu do efektu użytkowania i obsługiwanego pojazdów.

Literatura poświęcona zagadnieniom eksploatacji zawsze szczególną uwagę zwraca na proces użytkowania. W ocenie autora publikacje [42, 137] najbardziej szczegółowo wyjaśniają pojęcie użytkowania pojazdów samochodowych. W odniesieniu do wymienionych publikacji, proces użytkowania pojazdów samochodowych uznawany jest za zasadniczy element systemu eksploatacji, ponieważ tylko poprzez użytkowanie pojazdów wykonywane są zadania podsystemu antropotechnicznego w stanie jego zdatości zadaniowej i tym samym zaspokajane są potrzeby realizowania zadań przewozowych, których celem jest osiągnięcie jak największych korzyści finansowych.

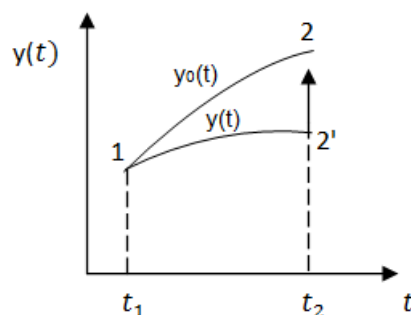
Teoria podkreśla, że elementy procesu użytkowania z poziomu czynności wykonawczych opierają się na założeniach prawnych, technologicznych i organizacyjnych. Są one niezmiernie ważne, aby skutecznie i efektywnie osiągnąć zamierzone przez kierownictwo cele.

Szczegółowa identyfikacja procesu użytkowania  $PS_{N1}$  przedstawiona na rys. 2.9. wskazuje, że jest to proces sterowany poprzez oddziaływanie podsystemu zarządzania. Planowanie, organizowanie, motywowanie i kontrolowanie procesu użytkowania pojazdu, odbywać powinny się w taki sposób, aby przy danych zakłóceniach oraz ograniczeniach stworzyć optymalne warunki do wykonywania zleconych zadań transportowych.

$PS_{N1}$  ze względu na swoje właściwości opisane cechami techniczno-eksploatacyjnymi, charakteryzuje się ustaloną intensywnością użytkowania w okresie  $(t_1:t_2)$ , która wynosi  $y_0(t)$ . Jeśli rzeczywisty proces użytkowania określa charakterystyka  $y(t)$ , to zarządzanie użytkowaniem tego pojazdu jest procesem według relacji [129]:

$$|y_0(t) - y(t)| = \min \Delta y(t) \quad (2.28)$$

i dąży do minimalizowania rozbieżności pomiędzy założonym  $y_0(t)$ , a rzeczywistym  $y(t)$  przebiegiem charakterystyki pojazdu (Rys. 2.10.).



Rys. 2.10. Relacja pomiędzy założoną, a rzeczywistą charakterystyką użytkowanego pojazdu samochodowego

Źródło: [129].

Pojazd samochodowy jako element systemu eksploatacji zawsze opisany jest zbiorem charakterystyk, które w trakcie eksploatacji są zmienne w czasie. Kluczowym zadaniem jednostek zarządzających procesem użytkowania jest określenie zbioru stanów i uzyskanie informacji o chwili zmiany stanów pojazdu. Informacja ta jest niezbędna do analizy rzeczywistej intensywności użytkowania pojazdu i podjęcia decyzji o możliwości przydzielenia go do wykonania kolejnego zadania.

Przyjmując, że zbiór  $B$  jest przestrzenią stanów, to proces eksploatacji  $PE = B(t) PS_{N1}$  jest zbiorem obserwacji stanów w ciągu czasu  $t: t \in \langle t, T \rangle, t > 0$ . Podział stanów ogólnie zależy od przyjętych celów badań, kryteriów dekompozycji i potrzeb. Przywołując przedstawioną na rys. 2.10 relację pomiędzy założoną, a rzeczywistą charakterystyką użytkowanego pojazdu samochodowego, z uwagi na ważny aspekt zarządzania całym procesem eksploatacji, zbiór rozpatrywanych stanów dzieli się na dwa zasadnicze zbiory odpowiadające:

- pożądanemu procesowi użytkowania, którego efektem jest zrealizowanie przewozu ładunków zgodnie z założonymi charakterystykami użytkowymi, proces ten wymaga racjonalnego zarządzania;
- zakłóconemu procesowi użytkowania, który wymaga podejmowania decyzji, działań technicznych i ekonomicznych, których celem jest skorygowanie procesu i doprowadzenie go do stanu pożądanego.

Zakłócony proces użytkowania  $PS_{N1}$  ma miejsce zazwyczaj wtedy, gdy przekracza się dopuszczalne normy użytkowania, wykorzystuje pojazd niezgodnie z przeznaczeniem, nie prowadzi się zalecanej profilaktyki. Realizacja procesu użytkowania pojazdu w sposób zakłócony i niezgodny z założeniami, powoduje jego niezdatność, ograniczoną zdatność lub zmniejszoną efektywność. Konsekwencją tego może być brak możliwości spełniania założonej funkcji przez pojazd i potrzeba podjęcia działań przywracających tę zdolność lub wykonanie

działań obsługowych, co w rezultacie wiąże się z ponoszeniem dodatkowych kosztów. Zakłócony proces użytkowania w połączeniu ze zdarzeniami losowymi wynikającymi z błędów kierowcy czy dyspozytora, działaniami środowiska naturalnego, warunków realizacji przewozu (opóźnienia na rozładunku, załadunku, dodatkowe prace techniczne) oraz wtórnych uszkodzeń pojazdu i jego elementów, stanowią zbiór losowych czynników wpływających na efektywność użytkowania pojazdu samochodowego. Zasady racjonalnego użytkowania pojazdów samochodowych opisują publikacje [86, 104]. Bazując na teorii, autor postanowił zestawić te, które najlepiej odzwierciedlają specyfikę użytkowania PS<sub>N1</sub>. Zasady te, mają przede wszystkim wspierać rozwiązywanie wielokryterialnych problemów decyzyjnych w obszarze zarządzania procesem użytkowania. Stanowią jednocześnie elementy strategii eksploatacyjnej w przedsiębiorstwach. Należą do nich m. in.:

- zasada zróżnicowania intensywności użytkowania między pojazdami należącymi do tego samego systemu eksploatacji;
- zasada użytkowania pojazdu w okresie zdatności do działania;
- zasada realizacji zadań z wykorzystaniem niezbędnej liczby pojazdów;
- zasada użytkowania pojazdu zgodnie z jego przeznaczeniem;
- zasada użytkowania pojazdu w granicach dopuszczalnych wartości cech techniczno-eksploatacyjnych;
- zasada rytmiczności użytkowania pojazdu;
- zasada ekonomiczności;
- zasada doboru doświadczonego do specyfiki przewozu kierowcy;
- zasada bezpieczeństwa.

W opracowaniu [41] autorzy przedstawili szczegółową analizę intensywności użytkowania pojazdów w celu oceny efektywności i innowacyjności danego systemu transportowego. Na podstawie danych eksploatacyjnych floty pojazdów Centrum Logistycznego Poczty Polskiej autorzy scharakteryzowali empiryczne rozkłady rocznej intensywności użytkowania pojazdów. Badana populacja obejmowała 116 pojazdów zróżnicowanych pod względem marki, typu i realizowanych zadań przewozowych. Na potrzeby przeprowadzenia analizy statystycznej autorzy sklasyfikowali pojazdy ze względu na ładowność pojazdu. Rozważana populacja stanowiła więc 3 grupy pojazdów. Grupę I stanowiły 32 pojazdy osobowe o małej pojemności, grupę II – 60 pojazdów dostawczych oraz grupę III – 24 pojazdy ciężarowe o DMC > 3,5 tony. Stosując test Shapiro-Wilka autorzy uzyskali rozkłady normalne dla analizowanych grup pojazdów w odniesieniu do przebiegu początkowego,

ustalonego na rok rozpoczęcia prowadzonych badań. Uzyskane wyniki potwierdzają, że wartość intensywności użytkowania wzrasta wraz ze wzrostem ładowności pojazdów. Badania prowadzone w latach 2008 – 2010 wykazują, że średnia wartość roczna intensywność użytkowania I grupy pojazdów spadła o 35%, a grupy II o 10%. III grupa pojazdów w latach 2008 – 2009 utrzymała średnią roczną intensywność użytkowania na poziomie porównywalnym, jednak w 2010 roku nastąpił jej wzrost, który spowodowany był wdrożeniem nowej usługi świadczonej przez Poczta Polską tzw. usługi paletowej. Przedstawiony przez autorów rozkład przebiegów końcowych dla 3 grup pojazdów świadczy o różnicach średnich wartości przebiegu pomiędzy kolejnymi grupami o ok 200 000 km. Porównując pojazdy dostawcze oraz ciężarowe na uwagę zasługuje roczna wartość maksymalna przebiegu, która dla grupy II wynosi 904 299 km, a dla grupy III 977 605 km. Wnioskować można zatem, że pojazdy dostawcze mogą być użytkowane z podobną intensywnością (biorąc pod uwagę przebieg) co pojazdy ciężarowe.

Autor publikacji [138] prezentuje wyniki badań, które potwierdzają, że proces narastania przebiegu, może być ważnym źródłem informacji podczas planowania eksploatacji pojazdów. Opracowanie obejmuje analizę 9000 pojazdów ciężarowych użytkowanych przez okres 20 lat. Celem przeprowadzonych badań była ocena procesu narastania przebiegu pojazdów wraz z upływem lat ich użytkowania. Matematyczne modele narastania przebiegu opracowano w siedmiu kategoriach w zależności od pojemności silnika oraz dwóch kategoriach w zależności od długości czasu ich eksploatacji. Grupa 3 i 4 obejmuje pojazdy dostawcze o DMC do 3,5 tony o pojemności silnika dla grupy 3 oznaczonej kodem S03 – 2000-2499 cm<sup>3</sup>, dla grupy 4 oznaczonej kodem S04 – 2500-2999 cm<sup>3</sup>. Dla każdej grupy obliczono estymatory: średniej arytmetycznej, mediany, kwartyli oraz względnego współczynnika zmienności wartości przebiegu w zbiorach. Wyniki wykazały stopniowe narastanie średniej arytmetycznej i mediany wraz ze wzrostem lat eksploatacji oraz wysokie wartości współczynnika zmienności. W początkowym etapie gromadzenia danych, autor przedstawił wyniki analizy wieku badanej grupy pojazdów. Dla pojazdów o DMC do 3,5 tony 41% (ze zbioru 5084 pojazdów) stanowiły pojazdy w wieku 3-5 lat, natomiast 94% badanej populacji w tej kategorii stanowiły pojazdy w wieku do 13 lat eksploatacji. Przeprowadzone obliczenia pozwoliły określić wartości współczynników równań modeli opisujących aktualne procesy narastania przebiegu samochodów. W opracowaniu przedstawione zostały przykładowe przebiegi funkcji aproksymujących proces narastania przebiegu samochodów kategorii S03, które opierały się na wcześniej określonych wielomianach 3-stopnia oraz 2 i 4 stopnia. Przeprowadzona analiza potwierdziła, że dla grupy pojazdów dostawczych S03 zestawienie funkcji aproksymujących,

pokazuje ich niewielkie różnice w przedziale 6-14 lat eksploatacji. Zastosowanie wielomianu 4-tego stopnia powoduje formalną poprawę jakości modelu, potwierdzoną wzrostem wartości współczynnika determinacji, jednak dynamika zmian w przebiegu funkcji aproksymującej w końcowej części analizowanego okresu eksploatacji powoduje duże wahania wartości przebiegu. W kolejnym etapie autor uśrednił obliczone funkcje aproksymacji i wyznaczył model narastania przebiegu z uwzględnieniem przebiegu i czasu eksploatacji pojazdu w latach oraz określił współczynniki równań modeli narastania przebiegu dla każdej grupy pojazdów. Ocena dokładności estymatorów modeli narastania przebiegu została oparta na wskaźnikach zgodności wartości modelowych z danymi empirycznymi. Przeprowadzone badania pozwoliły uzyskać oryginalne wartości współczynników równań modeli opisujących aktualne procesy narastania przebiegu samochodów ciężarowych w Polsce, co wspomóc może racjonalizację użytkowania pojazdów samochodowych w przedsiębiorstwach transportowych.

Badania intensywności użytkowania pojazdów w praktyce sprowadzają się najczęściej do analizy przebiegu pojazdów, masy przewiezionego ładunku czy czasu pracy. Na podstawie wyników takiej analizy można stwierdzić czy dany pojazd jest efektywny i wydajny, jednak zasady racjonalnego użytkowania pojazdów dotyczą rozwiązywania problemów decyzyjnych często jednocześnie w wielu pozostałych obszarach systemu transportowego. Stąd też poszukuje się narzędzi i metod do optymalizowania procesów transportowych z uwzględnieniem m.in.: potrzeb klienta, jakości wykonywanych przewozów, bezpieczeństwa pracy kierowcy, minimalizacji czasu realizacji usługi i kosztów eksploatacji.

### **2.3. Analiza metod modelowania procesu użytkowania $PS_{N1}$ w systemie eksploatacji**

Celem prowadzonych badań eksploatacyjnych może być potrzeba identyfikacji struktury wybranego procesu np. użytkowania i wyznaczenie charakterystyk określających jego właściwości. Potrzeba dotyczyć może również określenia wpływu wyznaczonych czynników na interesujące cechy techniczno-eksploatacyjne, np. niezawodność, gotowość techniczną lub też poszukiwania rozwiązań optymalnych w zakresie struktury technicznej i racjonalnego zarządzania pojazdami samochodowymi. Badania te mogą być prowadzone na rzeczywistym obiekcie, co nie zawsze jest możliwe lub na opracowanym dla badanego systemu modelu. Model jest pojęciem używanym w różnych dziedzinach życia, dlatego też jego definicja jest niejednoznaczna.

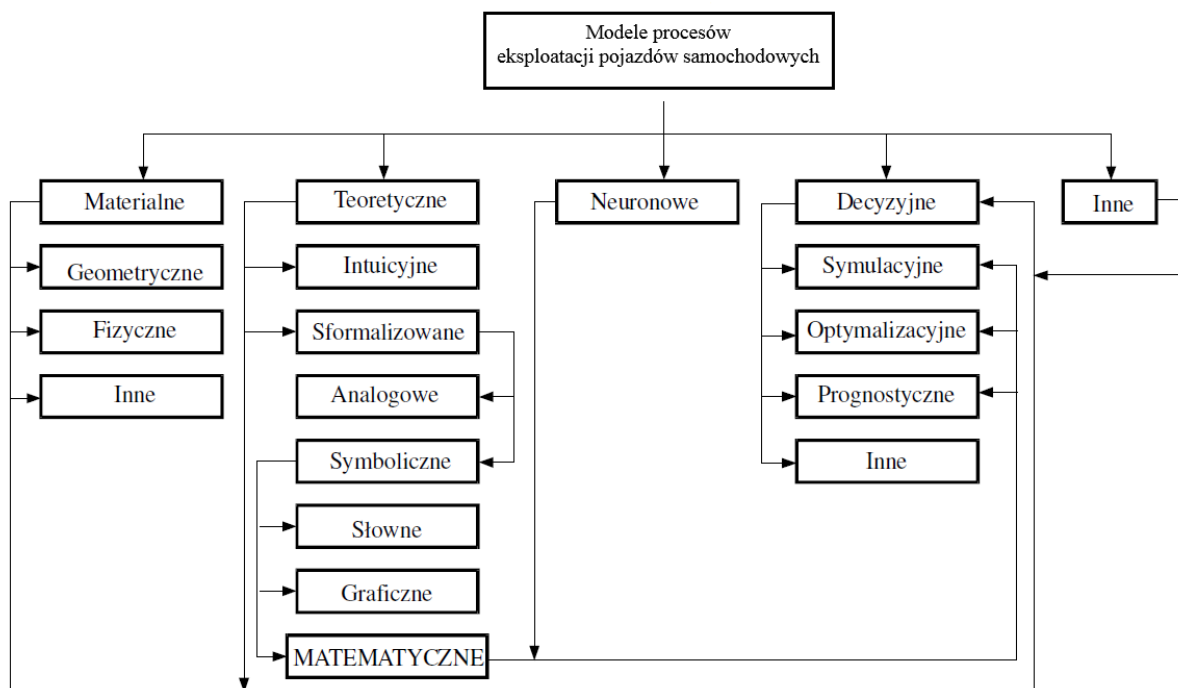


W literaturze przedmiotu z obszaru teorii eksploatacji pojazdów, można znaleźć wiele definicji modelu, według [23] model to taki układ, który odzwierciedlając lub odtwarzając przedmiot badań, zdolny jest zastępować go tak, że jego badanie dostarcza nowej informacji o tym przedmiocie. Autor [162] definiuje model jako złożony obiekt, również abstrakcyjny, będący odwzorowaniem szerszego, istniejącego lub projektowanego fragmentu rzeczywistości, umożliwiający poznanie go, zbadanie lub ustalenie zakresu jego zastosowania, przydatności. Podobne podejście zaprezentowane jest w pracy [73], w której autorzy postrzegają model, jako substytut oryginału, przyjętą formę reprezentacji, wykorzystywaną do wyjaśnienia i przewidywania zachowania się rzeczywistego systemu, przy czym model musi odwzorowywać rzeczywistość w sposób adekwatny do celu badań.

Bazując na podstawowej literaturze oraz mając na uwadze tematykę rozprawy, autor przyjmuje, że model procesu użytkowania  $PS_{N1}$  jest ilościową i jakościową reprezentacją badanego procesu na odwzorowanej bazie materialnej, która ujmuje te cechy procesu, które są istotne z punktu widzenia prowadzonych badań. Oznacza to, że model procesu użytkowania  $PS_{N1}$  to uproszczona i celowa reprezentacja rzeczywistego procesu użytkowania uwzględniająca podstawowe cechy, istotne ze względu na zamierzony cel badań.

Literatura przedmiotu nie podaje jednego, właściwego modelu, który stanowiłby podstawę badań dla poszczególnych procesów eksploatacyjnych pojazdów. Często niezbędne jest opracowanie modeli o odmiennej strukturze oraz dokonanie wyboru najdogodniejszego z punktu widzenia stosowania w praktyce. Znajomość praw rządzących zjawiskami, charakter danych doświadczalnych, możliwości badacza, a także cel badań powinny pozwolić na ustalenie optymalnej struktury modelu tj. postaci zależności, o których sądzi się, że będą mogły właściwie wyrazić relacje pomiędzy poszczególnymi zmiennymi.

Ogólną klasyfikację modeli procesów eksploatacji pojazdów samochodowych, dzieli się na modele materialne, teoretyczne, neuronowe, decyzyjne i inne (rys. 2.11) [125, 195].



Rys. 2.11. Klasyfikacja modeli procesów eksploatacji pojazdów samochodowych  
 Źródło: [125], [195]

**Modele materialne** mogą odwzorowywać zachodzące w systemie eksploatacji procesy, za pomocą podobieństwa geometrycznego i fizycznego. Na ogół rozważania dotyczące podobieństwa fizycznego są prowadzone przy założeniu podobieństwa geometrycznego w granicach tolerancji wytwarzania. Modele geometryczne mają najczęściej formę brył, przekrojów i prototypów, które definiują geometrię różnych części projektowanego urządzenia. Modele fizyczne kinematyczne lub dynamiczne to urządzenia wykonane z reguły w pomniejszonej skali, w których odbywa się ten sam proces fizyczny, co w rzeczywistym obiekcie.

**Modele teoretyczne** dzielą się na:

1. Modele intuicyjne (subiektywne), które powstają na podstawie wypowiedzi poszczególnych fachowców i ekspertyz zbiorowych, dyskusji panelowych lub metodą delficką;
2. Modele sformalizowane, które przeważnie są wynikiem założeń i sądów eksperta, który je zbudował, dzielą się one na:
  - a) analogowe, w których procesy zachodzące w rzeczywistych obiektach są opisywane za pomocą innych wielkości fizycznych, np. sile mechanicznej odpowiada napięcie elektryczne;
  - b) symboliczne, które dzieli się na:
    - słowne (opisowe), np. instrukcje obsługi;

- graficzne, odtwarzające obiekt lub proces za pomocą symboli graficznych (np. przykład schemat instalacji elektrycznej pojazdu gaśnicowego);
- matematyczne, które odzwierciedlają procesy eksploatacji pojazdów samochodowych za pomocą symboli, równań i nierówności matematycznych oraz związków logicznych, wspierają tym samym problem podejmowania decyzji poprzez optymalizację działań, umożliwiają również symulowanie i prognozowanie np. przewidzianych efektów.

**Modele neuronowe** to modele jakościowe opisane za pomocą sieci neuronowych, logiki rozmytej i systemów eksperckich. Ze względu na swoją uniwersalność, sieci neuronowe mają wiele zastosowań praktycznych. Najczęściej stosuje się je w celu klasyfikacji, regresji, rozpoznawania, identyfikacji i prognozowania. Stanowią rodzaj architektury systemu komputerowego. Praca sieci neuronowych polega na przetwarzaniu danych przez neurony pogrupowane w warstwy. Odpowiednie wyniki otrzymuje się dzięki procesowi uczenia, który polega na modyfikowaniu wag tych neuronów, które są odpowiedzialne za błąd.

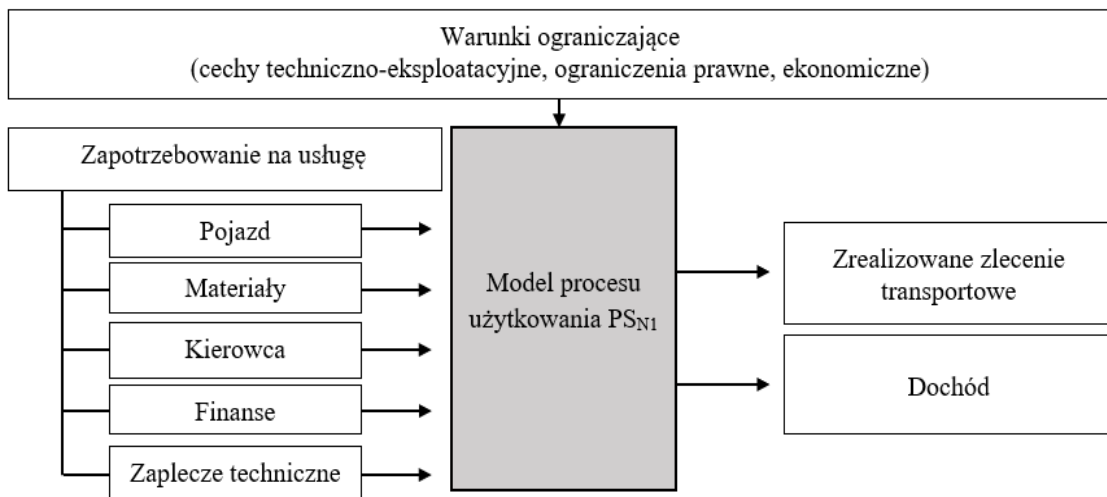
**Modele decyzyjne** służą decydentom do identyfikacji problemów decyzyjnych i umożliwiają wybór właściwych decyzji strategicznych. Stanowią również wsparcie w planowaniu działalności gospodarczej, sprzedaży dóbr i usług oraz ocenie danej inwestycji. Modele symulacyjne opierają się na działaniu systemów komputerowych, które traktuje się jako eksperymentowanie z systemem przy wykorzystaniu modelu. Badania symulacyjne na modelach polegają na zmianie parametrów wejściowych i obserwowaniu wyników. W modelach optymalizacyjnych stosuje się optymalizacje jedno i wielokryterialne polegające na wyznaczeniu ekstremum funkcji, tj. najlepszego rozwiązania z punktu widzenia określonego kryterium np. dla przedsiębiorstw transportowych optymalizacją wielokryterialną może być minimalizacja kosztów transportu i maksymalizacja zysków. Modelowanie prognostyczne jest procesem opracowania założeń lub przesłanek dotyczących przyszłości, jest to proces przewidywania stanu lub określonej wielkości dowolnego systemu działania w przyszłości, tzn. w chwili  $t + \Delta t$ .

Ogólna identyfikacja problemu decyzyjnego to dokładny opis aktualnego stanu realizowanych działań oraz wskazanie warunków brzegowych. Zapis problemu decyzyjnego w postaci matematycznej składa się z:

- funkcji celu, będącej matematycznym zapisem kryterium optymalizacyjnego;

- parametrów wejściowych znanych lub zdefiniowanych, niezmiennych podczas rozwiązywania danego problemu;
- zmiennych decyzyjnych, poszukiwanych wielkości, które wymagają ustalenia podczas rozwiązywania problemu;
- warunków ograniczających.

W celu opracowania odpowiedniego modelu procesu użytkowania  $PS_{N1}$ , niezbędna jest wszechstronna wiedza o specyfice tego procesu oraz jego charakterystycznych właściwościach. Transformacja wielkości wejściowych, tj. zapotrzebowania na usługę i niezbędnych do jej realizacji elementów: pojazdu, materiałów (eksploatacyjnych, administracyjnych), kierowcy, finansów oraz zaplecza technicznego (infrastruktury, serwisu) odbywa się w celu skutecznego zrealizowania zlecenia i uzyskania maksymalnego przychodu. Dopuszczalne rozwiązanie modelu spełniać musi warunki ograniczające, które dla  $PS_{N1}$  dotyczą przede wszystkim złożonej specyfiki ich użytkowania odnoszącej się do aspektów techniczno-eksploatacyjnych, prawnych i ekonomicznych (rys. 2.12).



Rys. 2.12. Transformacja wejść na wyjścia w procesie użytkowania  $PS_{N1}$

Budowanie i modelowanie procesu użytkowania może odnosić się do sformułowanego zadania optymalizacyjnego, którego efektem jest wynik zadania w skończonym czasie oraz do wyznaczania wartości parametrów odwzorowanych w modelu. Modelowanie może również polegać na formułowaniu takich algorytmów, które będą konstruowane tak, aby dla tych samych danych wejściowych dawały te same rozwiązania, natomiast dla różnych danych, dawały rozwiązania optymalne, odpowiednie do sytuacji wynikającej z przyjętych danych wejściowych. Rozwiązanie zadania optymalizacyjnego polega na wyznaczeniu takiego rozwiązania dopuszczalnego, przy którym funkcja kryterium osiąga wartość najkorzystniejszą.

Na zbiorze decyzji dopuszczalnych musi być określona pewna funkcja celu, którą należy maksymalizować lub minimalizować w tym zbiorze. Można to zapisać następująco [68]:

Poszukujemy takich  $n$  zmiennych:

$$x_1, x_2, \dots, x_n \quad (2.29)$$

aby wartość funkcji tych zmiennych:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.30)$$

była największa lub najmniejsza spośród dopuszczalnych gdzie:

$x_1, x_2, \dots, x_n$ , – zmienne decyzyjne;

$F(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – funkcja celu lub kryterium optymalizacyjne.

Może istnieć wiele powiązań między zmiennymi decyzyjnymi, a poszukiwanie wartości funkcji celu musi uwzględniać nałożone na zmienne decyzyjne ograniczenia, które zapisuje się w postaci:

$$a_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad i = 1, \dots, M_1 \quad (2.31)$$

$$a_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0, \quad j = M_1 + 1, \dots, M_2 \quad (2.32)$$

$$a_k(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0, \quad k = M_2 + 1, \dots, M \quad (2.33)$$

lub w skrócie:

$$a_i(x_1, x_2, \dots, x_n) <, =, > 0, \quad i = 1, \dots, M \quad (2.34)$$

Korzystając z zapisu wektorowego, otrzymuje się:

$$A(x) <, =, > 0 \quad (2.35)$$

gdzie:

$x$  – wektor o składowych  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ;

$A(x)$  – zbiór funkcji  $a_1, a_2, \dots, a_M$ .

Zbiór rozwiązań dopuszczalnych zdefiniowany jest jako zbiór elementów  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  postaci:

$$D^{dop} = \{(x_1, x_2, \dots, x_n): a_i(x_1, x_2, \dots, x_n) <, =, > 0, \quad i = 1, \dots, M\} \quad (2.36)$$

a odpowiadająca mu funkcja celu zdefiniowana jest następująco:

$$D^F = \{f: f = F(x_1, x_2, \dots, x_n), x \in D^{dop}\} \quad (2.37)$$

gdzie:

$x$  – wektor zmiennych decyzyjnych,  $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$

$F(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – kryterium oceniające,

$D^{dop}$  – zbiór rozwiązań dopuszczalnych, określonych za pomocą układu ograniczeń.

Z punktu widzenia badań operacyjnych modele matematyczne dotyczące zagadnień eksploatacji pojazdów samochodowych odnoszą się do modelowania efektywności wybranych

elementów systemu eksploatacji. Są to modele stochastyczne, gdyż większość istotnych parametrów tych modeli charakteryzuje się losowym rozproszeniem o nieznanym rozkładzie prawdopodobieństwa. Pełnej informacji ilościowej o danym procesie dostarczają wszystkie łączne rozkłady prawdopodobieństwa losowych parametrów. Wyznaczenie takich rozkładów jest często niemożliwe, dlatego przeprowadza się uproszczone analizy statystyczne, które pozwalają na sformułowanie podstawowych wniosków.

Podejmowanie decyzji w rzeczywistych systemach tj. przedsiębiorstwach transportowych opiera się często na wielu kryteriach, np. wydłużenie czasu użytkowania i jednoczesna minimalizacja kosztów obsługi pojazdu, zwiększenie niezawodności, minimalizacja kosztów użytkowania i jednoczesny wzrost dochodów z realizacji usług. W przeciwieństwie do klasycznych, jednowymiarowych zagadnień decyzyjnych, rozwiązywanie problemów wielokryterialnych polega na ustalaniu zasad optymalnego rozwiązania dla wszystkich kryteriów jednocześnie.

Wielokryterialne problemy poszukiwania optymalnego rozwiązania  $x^*$  maksymalizującego globalną funkcję kryterium  $F$ , złożoną z wielu kryteriów cząstkowych, przedstawia się następująco:

$$F = \langle f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x) \rangle \rightarrow \max \quad (2.38)$$

przy ograniczeniach:

$$a_i(x) \leq b_i \quad i = 1, \dots, m \quad (2.39)$$

Wówczas zbiór rozwiązań dopuszczalnych zdefiniowany jest jako zbiór elementów  $x$  postaci:

$$D^{dop} = \{x: a_i(x) \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m\} \quad (2.40)$$

a odpowiadająca mu przestrzeń kryteriów zdefiniowana jest następująco:

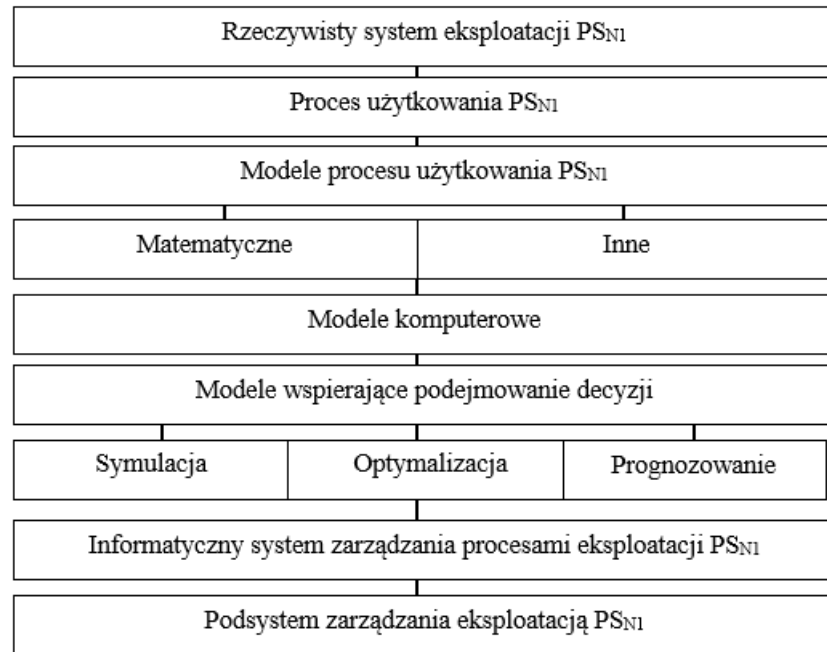
$$D_f = \{F: F = \langle f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x) \rangle \quad x \in D^{dop}\} \quad (2.41)$$

W przypadku, gdy przynajmniej jedno z kryteriów lub ograniczeń wyrażone jest w postaci nieliniowej, mówi się o wielokryterialnym programowaniu nieliniowym.

Praktyczne badania eksploatacyjne oparte na modelach matematycznych, przyjmują formę głównie modeli symulacyjnych, prognostycznych, optymalizacyjnych, których zadaniem jest opracowanie podstaw metodycznych do wykonywania charakterystyk pojazdu lub ustalonego procesu. Stanowią one wsparcie w podejmowaniu decyzji w obszarze zarządzania systemem eksploatacji pojazdów samochodowych w warunkach konkretnych zadań i ograniczeń systemu transportowego. Tego typu narzędziami wspierającymi są coraz bardziej inteligentne programy informatyczne, które stanowią wspomagający element

podsystemu zarządzania eksploatacją pojazdów. Podstawowym zadaniem informatycznych systemów zarządzania jest wyznaczenie algorytmów podejmowania decyzji z uwzględnieniem ich komputerowej realizacji [125].

Informatyczny system zarządzania eksploatacją  $PS_{N1}$  można przedstawić następująco.



Rys. 2.13. Graficzne przedstawienie wykorzystania modeli matematycznych w informatycznych systemach zarządzania procesami eksploatacji  $PS_{N1}$

Rozważając zagadnienia modelowania w klasycznym ujęciu inżynierii systemów, zwraca się uwagę na właściwe wykorzystanie modelu do rozwiązania praktycznego problemu, co wymaga zwykle realizacji czasochłonnych i kosztownych badań naukowych, które dostarczają wielu wyników nie mających bezpośredniego wpływu na realizację założonego celu. Model szczegółowy lub nadmiernie rozbudowany, może być nieprzydatny lub mało użyteczny ze względu na uzyskiwane wyniki w aspekcie dalszej ich generalizacji.

Złożona specyfika procesu użytkowania  $PS_{N1}$  stwarza szereg ograniczeń dla klasycznej metodyki modelowania, w której [195]:

- procedury identyfikacji generują wiele elementów, atrybutów i relacji;
- znaczna jest liczba parametrów wejściowych i wyjściowych, co powoduje duży wymiar macierzy przejścia z jednego stanu w kolejny;
- zmienne w czasie funkcje i charakterystyki wymagają stosowania jako metody obliczeniowej skomplikowanych rozwiązań analitycznych, np.: nieliniowych równań różniczkowych;

- trudno jest oszacować wpływ zastosowanych uproszczeń modelu na jego adekwatność;
- pozyskane dane gromadzone są w różnych zbiorach i bazach danych wymagających integracji;
- występuje rozproszenie i konieczność synchronizacji procesów o różnych charakterystykach czasowych czy częstotliwościowych.

Ważnym elementem modelowania jest faza adaptacji modelu do konkretnego zastosowania w praktyce, dlatego w klasycznym podejściu, jednym ze źródeł wiedzy o użytkowaniu pojazdów samochodowych jest proces identyfikacji prowadzony metodą badania odpowiedzi systemu na różnego rodzaju wymuszenia. Niestety, biorąc pod uwagę złożoność procesu użytkowania, nie zawsze jest ona możliwa do zastosowania, głównie ze względu na niespełnione założenia o niezależności wielkości wejściowych. Zawodne mogą być również próby stochastycznej identyfikacji struktury procesu, ponieważ wykorzystują one założenie o stacjonarności procesów zachodzących w określonym systemie, co nie zawsze ma miejsce, a co na etapie identyfikacji elementów i relacji w modelowanym, złożonym systemie eksploatacji zwykle trudno jest jednoznacznie stwierdzić. Stosuje się zatem podejście fenomenologiczne opisanego modelem nominalnym, który uwarunkowany jest posiadaną wiedzą, doświadczeniem oraz intuicją badawczą. Podejście fenomenologiczne do badanego problemu związane jest z intuicyjnym wyborem elementów poddawanych analizie oraz oszacowanie ich wpływu na jakość końcowego rozwiązania. Na podstawie modelu nominalnego, buduje się model empiryczny, dla którego najistotniejszym problemem jest właściwy dobór poszczególnych parametrów i kryteriów odwzorowywanych w tworzonym modelu.

Na etapie formalizacji, ograniczenia dotyczą zwykle zagadnień związanych ze złożonością modelu matematycznego. Analityczne zależności uwzględnione w modelu mogą wprowadzać niedopuszczalny, wg przyjętych założeń, błąd obliczeniowy, mogą również być nierozwiązywalne dla określonych warunków początkowych lub brzegowych. Istotnym działaniem w takim przypadku jest określenie zakresu uproszczenia modelu formalnego oraz wyznaczenie błędu wynikającego z wprowadzonego uproszczenia.

Prowadzenie badań na uproszczonych modelach stanowi niezbędne wsparcie do oceny funkcjonowania, prognozowania zachowań oraz minimalizowania prawdopodobieństwa wystąpienia problemów i zakłóceń w procesie użytkowania pojazdów samochodowych, które zazwyczaj interpretuje się w sensie probabilistycznym.

Literatura poruszająca tematykę modelowania szeroko pojętych procesów eksploatacji pojazdów samochodowych, obejmuje głównie zagadnienia z obszaru: modelowania procesów



eksploatacji w ujęciu programowania dynamicznego, modelowania optymalnego sterowania eksploatacji pojazdów, modelowania systemów remontowych lub obsługowych. Modelowanie często odnosi się do sytuacji konfliktowych występujących podczas zarządzania eksploatacją co prowadzi do opracowania optymalnej strategii obsługi pojazdów oraz zagadnień związanych z oceną efektywności ekonomicznej systemu eksploatacji.

Modelowanie procesu użytkowania w systemie eksploatacji jest możliwe po opracowaniu skutecznych modeli diagnostycznych, które dostarczają informacji o zmieniającym się stanie pojazdu oraz relacjach i zależnościach pomiędzy poszczególnymi parametrami charakteryzującymi proces. Precyzyjnie zbudowany model, spełniać może funkcję narzędzia wspomagającego podejmowanie strategicznych decyzji biznesowych, których założeniem w głównej mierze jest maksymalna intensywność wykorzystania pojazdów przy jednoczesnej minimalizacji poniesionych w związku z tym procesem kosztów. Model procesu użytkowania ukierunkowany jest na poszukiwanie skutecznych metod eliminowania problemów i zakłóceń w przepływie ładunków oraz zwiększania efektywności ekonomicznej przedsiębiorstw transportowych.

W celu uaktywnienia operacyjnych funkcji modelu, umożliwiających dokonanie oceny bieżącego stanu oraz pozyskanie rzetelnych informacji i ich przekształcenie w nową wiedzę potrzebną do rozwiązania złożonych problemów, niezbędne jest wyposażenie modelu w odpowiednie metody obliczeniowe, m.in.: statystyczne, analityczne, numeryczne lub sztucznej inteligencji. Zainteresowanie tą tematyką nabiera coraz większego znaczenia w każdej dziedzinie życia, co potwierdzają liczne publikacje w tym obszarze.

Przeanalizowanie literatury z obszaru eksploatacji pojazdów samochodowych oraz zarządzania systemami transportowymi, dało podstawę do stwierdzenia, że modelowanie eksploatacji pojazdów samochodowych można podzielić na dwa obszary:

1. Modelowanie eksploatacji, związane ze zwiększaniem trwałości i niezawodności elementów pojazdów, budowaniem optymalnych strategii eksploatacyjnych uwzględniających procesy użytkowania, obsługi, remontów i wymian.
2. Modelowanie racjonalnego zarządzania procesem transportowym w aspekcie wykorzystania pojazdów samochodowych do realizacji usług przewozu ładunków.

Tematyka modelowania systemów eksploatacji pojazdów samochodowych i jego poszczególnych procesów, podejmowana jest przez wielu autorów krajowych i zagranicznych [1, 10, 73, 78, 130].

W praktyce eksploatacyjnej opracowuje się głównie modele matematyczne, które przeważnie stanowią podstawę do oceny lub prognozowania stanu danego systemu, pojazdu. Większość autorów podejmuje się rozważań nad modelowaniem procesów opartych na metodach statystycznych [81, 101, 110, 147]. Najczęściej są to modele niezawodnościowe, które wraz z wdrożeniem odpowiedniej strategii eksploatacyjnej mogą zapewniać optymalną realizację zadań użytkowych i obsługowych pojazdów. Modele te wyznaczają miary niezawodności [182], testują hipotezy [71, 108, 117], opisują prawdopodobieństwa m.in.: zachowania zdatności pojazdu, określają intensywność i rodzaj uszkodzeń [9, 142]. Prowadzone badania najczęściej skupiają się na obliczaniu współczynnika gotowości technicznej [198], średniego czasu przestoju bądź naprawy, prawdopodobieństwa zrealizowania zadania [5], tj. efektywności funkcjonalnej, przyczyn uszkodzeń pojazdów oraz minimalizacji kosztów obsługi i napraw [3].

W pracy [92] autorzy sformułowali warunki, przy których wymiany prewencyjne podnoszą gotowość systemów eksploatacji pojazdów i przyczyniają się do wzrostu dochodu na jednostkę czasu ich eksploatacji. Temat prognozowania częstotliwości występowania uszkodzeń w czasie użytkowania pojazdów samochodowych podjęty został również w [8, 117]. Wiele prac poświęcono tematyce zużywania się elementów oraz modelowania uszkodzeń pojazdów, szczególnie w odniesieniu do przyczyn i skutków ich powstania [58, 95, 102, 185]. Wraz z rozwojem technologicznym, konstruowaniem nowoczesnych pojazdów oraz ich elementów stale bada się wytrzymałość zmęczeniową materiałów konstrukcyjnych. Efekty wpływu obciążeń eksploatacyjnych na łożyska pojazdu przedstawiono w opracowaniach [47, 105] na resory piórowe w opracowaniu [40].

Modelowanie i ocena złożonych procesów eksploatacji pojazdów samochodowych w oparciu o klasyczne modele matematyczne oraz techniki teorii niezawodności często jest zbyt trudna do przeprowadzenia i nie przynosi oczekiwanych rezultatów. W takim przypadku proponowane są inne metody obliczeniowe, np. modele wykorzystujące procesy Markowa, dla którego problem stanowi prawdopodobieństwo  $p_{ij}(n)$  przejścia procesu ze stanu  $i$  do stanu  $j$  w  $n$  krokach, niezawodnościowe diagramy fazowe [87, 119, 126], modele semi-Markowa [52], modele Poissona [80], model sieci Petriego i procesy symulacji Monte Carlo [97], [179] oraz szeregi czasowe [49]. Wiele publikacji poświęconych jest również badaniom pojazdów samochodowych za pomocą eksperckiej metody FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), której celem jest konsekwentne i systematyczne identyfikowanie potencjalnych wad obiektów, a następnie ich eliminowanie lub minimalizowanie ryzyka z nimi związanego [22, 103, 106].

W opracowaniu [52] autorzy przedstawili semimarkowski model niezawodnościowy dowolnego pojazdu o czterostanowym zbiorze stanów niezawodnościowych. Procesy semimarkowskie o ciągłym parametrze czasu i skończonym zbiorze stanów cechują się tym, że przedziały czasu przebywania tych procesów w poszczególnych stanach są zmiennymi losowymi o dowolnych rozkładach skoncentrowanych w zbiorze  $R^+ = [0, \infty)$ . Autorzy podkreślają, że znajomość prawdopodobieństwa poprawnego działania pojazdu jest istotna zwłaszcza po upływie dłuższego czasu jego eksploatacji. Umożliwia to racjonalne planowanie obsługi profilaktycznych samochodów oraz określenie ryzyka nie wykonania zadania przewozowego. Przyjmując za kryterium wyodrębniania stanów, przydatność samochodów do wykonywania zadań, autorzy wyróżniają następujący zbiór stanów pojazdu:

- $S_1$  stan zdatności pełnej, w którym samochód może być użytkowany w całym zakresie jego możliwości;
- $S_2$  stan zdatności częściowej, w którym pojazd może być użytkowany w całym zakresie jego możliwości, ale przy znacznym zwiększeniu zużycia paliwa wskutek nadmiernego zużycia silnika bądź przy zwiększonej drodze hamowania wskutek zużycia układu hamulcowego;
- $S_3$  stan niepełnej zdatności zadaniowej, który umożliwia wykonanie tylko niektórych zadań dla których np. prędkość samochodu jest bardzo ograniczona;
- $S_4$  stan niezdatności pełnej, który uniemożliwia użytkowanie pojazdu wskutek uszkodzenia np. silnika, układu hamulcowego, kierowniczego lub zawieszenia.

Autorzy wyjaśniają, że zmiana wyróżnionych stanów niezawodnościowych dowolnego pojazdu przewiduje sytuacje, w których użytkownik może zaryzykować podjęcie się wykonania zadania przy stanie  $S_2$ , a nawet zaryzykować dokończenie podjętego wcześniej zadania wtedy, gdy znajduje się on już w stanie  $S_3$ . Za miarę niezawodności pojazdu można przyjąć prawdopodobieństwo  $P_1$ , ponieważ określa ono możliwość przebywania samochodu w stanie  $S_1$  w dłuższym okresie jego eksploatacji, a więc w stanie, który umożliwia użytkowanie samochodu w całym zakresie jego możliwości. W przypadku, gdy możliwe jest wykonanie zadania przez samochód wtedy, gdy znajduje się on w stanie  $S_2$ , to jego niezawodność można określić prawdopodobieństwem  $P = P_1 + P_2$ . Prawdopodobieństwa  $P_3$  oraz  $P_4$  interpretuje się jako prawdopodobieństwo, że samochód nie wykona zadania przewozowego, jeżeli wcześniej był w stanie długotrwałej eksploatacji.

Na szczególną uwagę zasługuje również szeroko opisywana teoria masowej obsługi. Dostępna literatura szczegółowo opisuje modele doboru optymalnej strategii obsługiwanego pojazdu, polityki remontowej, a także modele kontroli stanu pojazdu [31, 38, 91, 194].

Drugi obszar modelowania zachowań pojazdów poświęcony jest analizowaniu i optymalizowaniu zadań przewozowych [74, 82, 114]. Autorzy wykorzystując modelowanie matematyczne rozwiązują problem komiwojażera, ustalają optymalny przydział transportowy [33, 170], wyznaczają minimalną drogę w sieci komunikacyjnej lub maksymalny strumień sieci transportowej [75, 171, 193]. Najczęściej wykorzystywanymi metodami rozwiązywania problemów transportowych jest metoda SIMPLEX, metoda potencjałów oraz metoda kąta północnego [79]. Metody te jednak nie uwzględniają jednostkowych kosztów transportu i eksploatacji, co uniemożliwia określenie prawdopodobieństwa zmiany stanu obiektu czy też efektywności ekonomicznej. Do bardziej rozbudowanych należą metody minimalnego elementu macierzy kosztów i metoda VAM (*Vogel Approximation Method*), których zadaniem jest maksymalne wykorzystanie trasy przy jednocześnie minimalnych, określonych kosztach [83, 141].

Często podejmowaną kwestią jest również satysfakcja klienta świadcząca o jakości wykonania usługi transportowej [166] oraz wpływ użytkowania pojazdów na środowisko naturalne [19, 32]. Intensywność użytkowania pojazdów samochodowych stanowi przedmiot badań następujących opracowań [18, 53, 191], których założeniem jest bilansowanie emisji zanieczyszczeń w aglomeracjach miejskich.

W obszarze zarządzania pojazdami samochodowymi w przedsiębiorstwach transportowych wykorzystuje się przeważnie analizy statystyczne, ukierunkowane na minimalizowanie kosztów użytkowania i maksymalizację dochodów. Zarówno teoria jak i praktyka koncentrują uwagę na wzroście efektywności ekonomicznej skorelowanej z poziomem niezawodności i trwałością pojazdów. Opisuje się metody obliczania opłacalności realizacji zadań transportowych, określa się zależności modelu eksploatacji i podatności diagnostycznej pojazdu od kosztów przestoju i jego wykorzystania. Potrzeba analizy kosztów stanowi podstawę do bardziej szczegółowych badań w obszarze zarządzania procesem użytkowania, którego celem jest minimalizowanie rozbieżności pomiędzy rzeczywistością, a założoną charakterystyką pojazdu samochodowego. W praktyce inżynierskiej opisuje się najczęściej problem sterowania wielowymiarowego, którego klasycznym przykładem jest sterowanie liczbą, typem i czasem pracy pojazdów samochodowych w przedsiębiorstwach transportowych.

Wiele pozycji literaturowych odnosi się do problematyki modelowania systemu eksploatacji i użytkowania w zakresie transportu publicznego. W opracowaniu [6] autorzy zwracają uwagę na konieczność utrzymania wysokiej efektywności użytkowania floty pojazdów publicznego transportu masowego wraz z oceną możliwości pojawiania się niespodziewanych awarii pojazdów oraz kosztów ich usuwania w ramach obsługi korekcyjnych. Baza danych eksploatacyjnych obejmuje 45 nowych pojazdów użytkowanych przez 5 lat, które w tym czasie ulegały uszkodzeniom. W badanym czasie pojazdy osiągnęły przebiegi około 300 tys. km. Ze względu na różnorodność procesów uszkodzania poszczególnych części badanych pojazdów, przedstawiono metody i zastosowania stochastycznego modelowania dla prostych strumieni uszkodzeń, których modelem jest proces Poissona. Podstawą zastosowania przedstawionych metod jest identyfikowanie tych części pojazdu, które uszkodzają się zgodnie z tym procesem. Budowa modelu matematycznego obejmowała: określenie zbioru części pojazdu, które uszkodzają się zgodnie z procesem Poissona, oszacowanie warunkowe prawdopodobieństwa awarii pojazdu z powodu uszkodzenia części ze zbioru oraz związane z tym uszkodzeniem całkowite koszty obsługi korekcyjnej, ustalenie intensywności uszkodzeń danej części na 1km przebiegu pojazdu. Następnie przeprowadzono weryfikację hipotez o wykładniczości rozkładu przebiegów między uszkodzeniami dla wytypowanych części. Do testowania zastosowano oprogramowanie Weibull++. Do estymacji parametrów rozkładu Weibulla z danymi prawostronnie obciążonymi zastosowano metodę największej wiarygodności (*MLE – maximum-likelihood estimation*). Wyniki badań potwierdziły, że ze zidentyfikowanych części, których strumień uszkodzeń nie różniły się istotnie od poissonowskiego strumienia była grupa G złożona z agregatu ciśnienia, układu rejestratora zdarzeń, modułu rejestratorów, modułu głównego monitoringu i zadajnika jazdy. Prognozowany łączny koszt obsługi korekcyjnych związanych z wymianą części z grupy G dla jednego pojazdu był równy 7100 zł co przy flocie 45 pojazdów wyniósł 319 500 zł. Przeprowadzając prognozę opartą na najbardziej prawdopodobnym koszcie obsługi korekcyjnych dla tych części, uzyskano wartość 274 590 zł. Na podstawie danych rzeczywistych o obsłudze korekcyjnych wyróżnionej grupy uszkodzających się części pojazdów autorzy pokazali możliwości praktycznego zastosowania procesu Poissona do oceny ryzyka poniesienia kosztów w dalszym procesie eksploatacji floty.

Temat optymalizowania przychodów, minimalizowania kosztów eksploatacji oraz ryzyka wystąpienia niepożądanych zdarzeń podczas użytkowania floty pojazdów transportu publicznego podjęli autorzy prac [7, 50, 90, 127, 160]. W rezultacie zaproponowano działania prewencyjne zmniejszające podatność na wystąpienie takich zdarzeń, co w efekcie obniżyło jednostkowe koszty użytkowania.

Wspomaganie procesu tworzenia złożonych modeli odbywa się coraz częściej z wykorzystaniem techniki komputerowej. Do tego celu używane są specjalistyczne programy realizujące dany algorytm lub też uniwersalne oprogramowania z zakresu przeprowadzania obliczeń matematycznych. Literatura wyróżnia najczęściej takie narzędzia programowe jak Mathematica, MatLab, Maple, MatchCad, Statistica, SPSS Statistics, Excel, Lotus 1,2,3. Coraz częściej stosuje się metody numeryczne i symulacje komputerowe do przeprowadzania eksperymentów i budowania modeli eksploatacyjnych pojazdów samochodowych [28, 46, 84, 85, 100].

W wielu przypadkach modele o bardzo dużych rozmiarach nie mogą być rozwiązywane ogólnymi algorytmami, ponieważ czas ich rozwiązywania byłby zbyt długi. Istnieją modyfikacje i różne wersje podstawowych algorytmów skracających czas, a tym samym skracające czas potrzebny na uzyskanie rozwiązania. Zagadnienia charakteryzujące się nietypową strukturą są rozwiązywane przez specjalne i złożone algorytmy dostosowane do takiej struktury. Dziedzina wiedzy jaką jest sztuczna inteligencja, w zakresie której prowadzone są już badania praktycznie w każdej dziedzinie życia, obejmuje wiedzę z zakresu logiki rozmytej, obliczeń ewolucyjnych, sieci neuronowych, sztucznego życia i robotyki [141, 165, 166]. To również określenie działu informatyki zajmującego się tworzeniem modeli zachowań inteligentnych oraz programów komputerowych symulujących pewne zachowania. Sztuczne sieci neuronowe, stanowiące jedną z podstawowych i obecnie prężnie rozwijających się technik sztucznej inteligencji określa się jako symulatory programowe lub sprzętowe modeli matematycznych, realizujące algorytmiczne przetwarzanie informacji i odwzorowujące nadzwyczaj złożone funkcje. Próby wykorzystania algorytmów ewolucyjnych do modelowania użytkownika inteligentnych pojazdów i autostrad zaprezentowano w opracowaniu [66] natomiast modelowanie wydajności pojazdu w opracowaniu [72]. Ocena wpływu warunków eksploatacji na uszkodzenie łożysk tocznych została przedstawiona przez autorów publikacji [197], natomiast autorzy [135], przedstawili wyniki modelowania neuronowego wykorzystanego do oceny zarządzania konfiguracją usług i procesów transportowych. Przykład zastosowania sztucznej inteligencji prezentuje firma Cargonexx (niemiecka firma spedycyjna z siedzibą w Hamburgu, która postawiła na nowoczesne technologie cyfrowe w transporcie drogowym) wykorzystująca sieci neuronowe do prognozy podaży i popytu na przewóz każdego ładunku w transporcie drogowym [188].

W praktyce przedsiębiorstwa transportowe coraz częściej korzystają z zasobów specjalistycznych systemów informatycznych TMS (*Transport Management System*) opartych na technologii GPS (*Global Positioning System*) oraz platformach umożliwiających

gromadzenie i analizowanie danych geograficznych GIS (*Geographic Information System*) [54, 55]. Najpowszechniej spotyka się pokładowe komputery oparte na technologii GPS: Globtrak [65, 86], GPS Atrax [61], Nawigator GPS [64], Drivebox [60], GPS Guardian [65], które pełnią rolę doradcy i kontrolera z pozycji on-line. Na bieżąco monitorują zużycie paliwa, informują o czasie pracy na „biegu jałowym” czy temperaturze w chłodni. Bardziej zaawansowane systemy DS Locate Truck [62], GPS TIR [65], dzięki funkcji eco-drivingu, która zbiera dane dotyczące liczby przyspieszeń i hamowań wspierają procesy decyzyjne, minimalizują koszty eksploatacji oraz zużycie pojazdu. Potwierdza się, że systemy te poprzez bieżący monitoring zużycia paliwa redukują jego koszty od 5% do 15%. Prowadzone badania w tym obszarze potwierdzają, że systemy TMS wspierają procesy decyzje w aspekcie minimalizowania kosztów eksploatacji pojazdów [157], umożliwiają oceny ich wydajności i skuteczności [77] oraz utrzymania w stanie zdatności [128].

Problematyka systemów wspierających procesy transportowe poruszona została w opracowaniu [131], gdzie zaproponowano podejście typu „multi-agent”, do którego dane przekazywane są bezpośrednio z systemu monitoringu sieci transportowej. Innym rozwiązaniem bazującym na zastosowaniu metody Fuzzy AHP jest aplikacja obejmująca wsparcie w procesie doboru trasy przewozowej między Busan w Korei, a Moskwą w Rosji dla czterech możliwych wariantów tras [93]. Z kolei w pracy [173][173] autorzy zaprezentowali koncepcję systemu wsparcia w obszarze podejmowania decyzji strategicznych w ramach realizacji polityki transportowej Turcji oraz analizy wpływu zmiennych socjalno-ekonomicznych na poziom popytu na usługi transportowe.

Szczegółową ocenę systemu informatycznego wspierającego zarządzanie eksploatacją pojazdów zaprezentowali autorzy opracowania [113]. Celem przeprowadzonych badań była analiza wdrożonego systemu telematycznego Poltrack oraz zbadanie wpływu tego systemu na proces zarządzania 14 pojazdami ciężarowych o DMC > 3,5 tony w przedsiębiorstwie transportowym Saltrans. Wdrażanie systemu rozpoczęto od montażu urządzeń pokładowych Garmin, nadajników, adapterów TCP, które pozwoliły na śledzenie aktywności pojazdu, zużycia paliwa oraz komunikację z kierowcami. Użytkowanie systemu już w trakcie okresu testowego wpłynęło na usprawnienie pracy osoby odpowiedzialnej za zarządzanie transportem. Firma postanowiła więc wdrożyć system, którego łączny koszt urządzeń wyniósł 67730,90 zł. Autorzy określili średni miesięczny koszt wdrożenia i korzystania z systemu w trakcie analizowanego 52-miesięcznego okresu eksploatacji pojazdów. W trakcie okresu użytkowania abonamentem objętych było 10 samochodów. Średni miesięczny koszt użytkowania systemu wyniósł 1302,52 zł, natomiast średni miesięczny koszt użytkowania systemu w jednym

pojeździe to 130,25 zł. Wyniki badań potwierdziły, że największymi korzyściami płynącymi z wdrożenia systemu Poltrack dla firmy są: automatyzacja procesów, bieżąca kontrola czasu pracy kierowców i ich odpoczynków, niezakłócona komunikacja pomiędzy dyspozytorem i kierowcą, spadek poziomu zużycia paliwa w pojazdach o 3–6% w zależności od samochodu oraz maksymalne wykorzystanie pojazdów z jednoczesną minimalizacją kosztów ich eksploatacji.

Wyniki swoich badań zaprezentowali również autorzy pracy [11], w której przedstawili ocenę funkcjonalności systemów telematycznych oraz korzyści z ich zastosowania w zarządzaniu flotą pojazdów w przedsiębiorstwie transportowym. Jednym z głównych problemów badanego przedsiębiorstwa było zbyt wysokie zużycie paliwa co wskazywało na nieracjonalne użytkowanie pojazdów. Przedmiotem prowadzonych badań było 14 pojazdów ciężarowych o DMC > 3,5 tony. Autorzy szczegółowo przeanalizowali 3 wdrożone przez firmę różne rozwiązania telematyczne i dokonali ich oceny. Analizie poddano system T-matic, Man Telematic oraz EcoFleet Seeme. Wyniki badań potwierdziły, że wdrożenie systemów przyniosło wiele korzyści w postaci: średnie zużycie paliwa w ciągnikach Renault Magnum wynosiło ok. 36 dm<sup>3</sup>/100 km. Po wdrożeniu systemów ustabilizowało się na poziomie ok. 29–31 dm<sup>3</sup>/100 km, eksploatowane przez firmę ciągniki MAN zużywały ok. 34–36 dm<sup>3</sup>/100km, po wprowadzeniu wsparcia telematycznego ok. 28–30 dm<sup>3</sup>/100 km. Bieżąca kontrola parametrów pracy kierowców i pojazdów pozwoliła w efekcie na wydłużenie dziennych przejazdów średnio o 8–10% przy długich trasach i prowadzenie pojazdu przez 9 godz. w ciągu 11 godz. pracy. Po wdrożeniu systemów kierowcy pokonują w ciągu miesiąca ok. 10 500–12 000 km, wcześniej było to ok. 9 500 – 10 000 km. Wzrost długości pokonywanych tras, mniejsze zużycie paliwa oraz bieżąca kontrola procesu transportowego dało podstawę do racjonalizacji przewozów co w efekcie przełożyło się na wzrost dochodów w firmie.

Nowoczesne systemy informatyczne generują wiele korzyści w aspekcie pozyskiwania i przetwarzania danych z obszaru użytkowania pojazdów samochodowych, ułatwiając jednocześnie wnioskowanie, modelowanie przyczynowo skutkowe oraz diagnozowanie i prognozowanie stanu pojazdu.



## 2.4. Podsumowanie

Analiza obszernej literatury przedmiotu opisuje szczegółowo procesy eksploatacyjne, użytkowania i obsługiwanie pojazdów samochodowych, jednak prowadzone badania na zbiorach rzeczywistych dotyczą przede wszystkim pojazdów ciężarowych o DMC powyżej 3,5 tony. W opracowaniach proponuje się metody racjonalnego zarządzania eksploatacją pojazdów poprzez zastosowanie metody doboru parametrów eksploatacyjnych pojazdów w aspekcie zwiększania ich trwałości [183], oceny gotowości technicznej pojazdów [34], określa prawdopodobieństwa wykonania zleconego zadania [52]. Przeanalizowana liczba pozycji literaturowych do których dotarł autor, poruszających problematykę eksploatacji  $PS_{N1}$  przedstawia wyniki badań dotyczące: analizy intensywności użytkowania pojazdów w celu oceny efektywności systemu transportowego [41], estymacji narastania przebiegu podczas eksploatacji pojazdów [138], zmniejszenia zużycia paliwa poprzez automatyzację procesów transportowych [11, 113].

Prowadzone badania w obszarze analizy intensywności użytkowania pojazdów weryfikują głównie przebieg tych pojazdów, nie uwzględniają problemów dotyczących specyfiki użytkowania pojazdów dostawczych tj. ich ładowności i przeciążeń, czasu pracy, czasu jazdy. Nie analizuje się przyczyn wystąpienia losowych awarii oraz ich związku z intensywnością użytkowania.

Przedstawione w literaturze rozwiązania, dotyczące optymalizacji procesu użytkowania pojazdów oparte na nowoczesnych systemach informatycznych wiążą się z kosztami ich zakupu i wdrożenia, dlatego dla mikroprzedsiębiorstw posiadających nieliczną i przestarzałą flotę, zakup systemu jest przedsięwzięciem często nierentownym. Jednocześnie, od jednostek decyzyjnych oczekuje się wskazywania rozwiązań najwłaściwszych z punktu widzenia efektywności procesu użytkowania. Kryteriami optymalizacji w przypadku eksploatacyjnych problemów decyzyjnych są głównie: przebieg, przychód, koszt. W ocenie autora koniecznym staje się więc opracowanie adekwatnych narzędzi do weryfikowania opłacalności wykonania danego zadania przewozowego oraz prowadzenie badań w zakresie wpływu intensywności użytkowania  $PS_{N1}$  na efektywność przedsiębiorstwa transportowego.

W niniejszej rozprawie, badania prowadzone są jedynie w obszarze procesu użytkowania  $PS_{N1}$ , jednak fakt świadczący o sprzężeniu tego procesu z czynnościami obsługowymi zmusza do analizy skutków użytkowania pojazdu oraz weryfikacji możliwych oddziaływań na jego stan techniczny. Identyfikacja problemów w systemie eksploatacji  $PS_{N1}$  oraz ich eliminacja możliwa jest za pomocą prognozowania, symulacji, modelowania, które poprzez zastosowanie

odpowiednich technik i narzędzi może stanowić wsparcie w zakresie podejmowania racjonalnych decyzji o zasięgu operacyjnym, jak i strategicznym. Przeprowadzona analiza literatury wykazała duże zainteresowania modelowaniem systemów obsługi pojazdów, systemów remontowych, optymalizacji konstrukcji pojazdów, modelowaniem systemów transportowych. Jako cel przyjmuje się najczęściej zwiększenie niezawodności, trwałości pojazdów, czasu ich eksploatacji, minimalizację kosztów przywracania zdadności lub czasu przebywania w serwisie. Praktyczne badania, prowadzone w oparciu o dane uzyskiwane z przedsiębiorstw, koncentrują się na minimalizacji kosztów eksploatacji pojazdów samochodowych, zwiększaniu niezawodności, skuteczności i jakości świadczonych usług oraz optymalizowaniu przydziału zadań przewozowych. Modelowanie zagadnień z obszaru eksploatacji pojazdów samochodowych przyjmuje najczęściej formę modelowania matematycznego, złożonych analiz statystycznych, programowania dynamicznego, algorytmów heurystycznych. W szczegółowo zaprezentowanych opracowaniach, badania prowadzone są z wykorzystaniem: modelu programowania dynamicznego z zastosowaniem programów komputerowych OpenStreetMap i Logistic [183], oprogramowania Waibul++ [6], systemu telematycznego Poltrack [113], T-matic, Man Telematic i EcoFleet Seeme [11], metody wskaźnikowej i rachunku prawdopodobieństwa przebywania pojazdu w określonym stanie niezawodnościowym [34, 52], analiz statystycznych tj. weryfikacji testów statystycznych (Shapiro-Wilka) dla przebiegów pojazdów [41], wyznaczania współczynników równań modeli narastania przebiegów [138]. Autor nie doszukał się pozycji literaturowych w których badania procesu użytkowania  $PS_{N1}$  prowadzone są z wykorzystaniem oprogramowania do statystycznej analizy danych.

Na podstawie zweryfikowanych już narzędzi i zaprezentowanych metod modelowania procesów eksploatacji pojazdów, autor podejmuje próbę modelowania procesu użytkowania  $PS_{N1}$  z zastosowaniem statystyki matematycznej, wykorzystując w tym celu oprogramowanie do zaawansowanej analizy danych. Wybór modelowania matematycznego podyktowany jest potrzebą:

- identyfikacji dużej liczby zmiennych opisujących proces użytkowania  $PS_{N1}$ ;
- określenia zależności między cechami techniczno-eksploatacyjnymi charakteryzującymi badany proces;
- określenia przebiegu zmienności tych cech, które mogą być przedmiotem badań;
- poszukiwania optymalnych rozwiązań w zakresie zarządzania procesem użytkowania pojazdów;

- prognozowania efektywności użytkowania pojazdów samochodowych.

Literatura potwierdza, że prezentowane metody i techniki matematycznego modelowania procesu użytkowania pojazdów samochodowych, w praktyce biznesowej, mogą stanowić wsparcie w podejmowaniu decyzji strategicznych w aspekcie zarządzania pojazdami. Model procesu użytkowania pojazdów samochodowych jest systemem dynamicznym, probabilistycznym, zdeterminowanym chwilową charakterystyką techniczno-eksploatacyjną pojazdu. Wybór modelowania matematycznego opartego na analizie statystycznej, w ocenie autora wydaje się być najłatwiej dostępną i najbardziej odpowiednią metodą rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych w przedsiębiorstwach transportowych.

Podjęcie pracy związanej z tematyką modelowania procesu użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych jest celowe. Uzupełnienie teorii w tym zakresie może prowadzić do rozpowszechnienia wiedzy w obszarze badanej problematyki jak również poznania zjawisk zachodzących w procesie użytkowania  $PS_{N1}$  dotąd nie znanych bądź znikomo opisanych. Praca może przyczynić się również do określenia jednej z metod modelowania procesu użytkowania  $PS_{N1}$  i usprawniania metod zarządzania nim w przedsiębiorstwach transportowych.

### 3. CEL PRACY I PROGRAM REALIZACJI BADAŃ

#### 3.1. Problem badawczy i cel pracy

Przedstawiona analiza literatury skoncentrowana w obszarze tematyki rozprawy dała podstawę do stwierdzenia, że w zbiorze istniejących opracowań, do których dotarł autor, istnieją problemy dotychczas nie podjęte w badaniach procesu użytkowania  $PS_{NI}$  w przedsiębiorstwach transportowych.

W ocenie autora zakres teorii z obszaru eksploatacji pojazdów samochodowych, powinien zatem zostać poszerzony o szczegółowe rozważania dotyczące:

- analizy procesu użytkowania  $PS_{NI}$  w przedsiębiorstwach transportowych;
- charakterystyki techniczno-eksploatacyjnej  $PS_{NI}$ ;
- badań efektywności procesu użytkowania  $PS_{NI}$  w przedsiębiorstwach transportowych;
- oceny wpływu cech techniczno-eksploatacyjnych  $PS_{NI}$  na efektywność ekonomiczną przedsiębiorstw transportowych;
- analizy kosztów użytkowania  $PS_{NI}$  związanych z realizacją zlecenia transportowego;
- opracowania założeń do model matematycznego procesu użytkowania  $PS_{NI}$ ;
- analizy metod oceny oraz modelowania procesu użytkowania  $PS_{NI}$ ;
- analizy metod wspierających racjonalne zarządzanie procesem użytkowania  $PS_{NI}$  w przedsiębiorstwach transportowych.

Przegląd literatury krajowej i zagranicznej do której dotarł autor oraz jego doświadczenie wykazały istnienie luki badawczej potwierdzającej niewielką liczbę opracowań oraz metod i technik wspierających procesy decyzyjne w obszarze użytkowania  $PS_{NI}$ . Znikoma jest również wiedza dotycząca rozwiązywania problemów strategicznych w zakresie oceny i modelowania procesu użytkowania  $PS_{NI}$  w przedsiębiorstwach transportowych.

W konsekwencji powyższych rozważań sformułowano następujący problem badawczy:

*W jaki sposób można usprawnić proces użytkowania  $PS_{NI}$  w przedsiębiorstwach transportowych poprzez zastosowanie modelu wspierającego podejmowanie decyzji?*

Problemy cząstkowe:

*Jakie cechy techniczno-eksploatacyjne i w jakim stopniu wpływają na proces użytkowania  $PS_{NI}$ ?*

*Jaki jest wpływ istotnych zmiennych na efektywność przedsiębiorstw transportowych użytkujących  $PS_{NI}$ ?*

*W jaki sposób udoskonalić proces użytkowania PS<sub>NI</sub> w przedsiębiorstwach transportowych, aby uzyskać satysfakcjonujący poziom efektywności?*

*Jakie wystąpić mogą negatywne skutki intensywnego użytkowania PS<sub>NI</sub> i jak wpłynąć mogą na sytuację ekonomiczną przedsiębiorstwa?*

Chęć rozpoznania zjawisk towarzyszących pracy PS<sub>NI</sub> w przedsiębiorstwach transportowych, identyfikacja rzeczywistej dynamiki działania oraz efektywności procesu użytkowania PS<sub>NI</sub> stały się fundamentem do postawienia celu głównego rozprawy:

*Opracowanie modelu procesu użytkowania PS<sub>NI</sub> w aspekcie oceny efektywności użytkowania pojazdów w przedsiębiorstwach transportowych.*

Cele szczegółowe:

*Opracowanie metodyki postępowania dla modelowania procesu użytkowania PS<sub>NI</sub> oraz wnioskowania statystycznego dla złożonego zbioru danych.*

*Zastosowanie opracowanego modelu do usprawniania procesu użytkowania PS<sub>NI</sub> w przedsiębiorstwach transportowych.*

Analiza zgromadzonych danych, dokonanie oceny stanu rzeczywistego oraz zbudowanie modelu wspomagającego podejmowanie decyzji strategicznych w zakresie wielokryterialnych problemów przedsiębiorstw transportowych, stanowi podstawę do sformułowania następującej tezy badawczej:

*Zastosowanie opracowanego modelu procesu użytkowania PS<sub>NI</sub> może stanowić narzędzie wspierające procesy decyzyjne w przedsiębiorstwach transportowych.*

### **3.2. Obiekt i przedmiot badań**

Obiektem badań niniejszego opracowania jest 7 przedsiębiorstw transportowych, które w składzie swojej floty transportowej posiadają m.in. PS<sub>NI</sub>. Wszystkie przedsiębiorstwa należą do sektora MŚP oraz świadczą usługi przewozowe na terenie Polski na rzecz przedsiębiorstwa handlowego działającego w branży FMCG (*Fast Moving Consumer Goods*).

Wykaz podmiotów gospodarczych przedstawiono w tab. 3.1.

Tab. 3.1. Wykaz badanych przedsiębiorstw transportowych użytkujących PS<sub>N1</sub>

Nr	Wielkość	Liczba pracowników	Liczba pojazdów dostawczych	Pojazdy
1	mikro	5	4	P <sub>5</sub> , P <sub>6</sub> , P <sub>8</sub> , P <sub>9</sub>
2	mikro	4	2	P <sub>21</sub> , P <sub>23</sub>
3	mikro	7	2	P <sub>7</sub> , P <sub>10</sub>
4	małe	13	3	P <sub>14</sub> , P <sub>15</sub> , P <sub>17</sub>
5	małe	50	7	P <sub>13</sub> , P <sub>16</sub> , P <sub>18</sub> , P <sub>19</sub> , P <sub>20</sub> , P <sub>22</sub> , P <sub>24</sub>
6	małe	14	4	P <sub>1</sub> , P <sub>3</sub> , P <sub>4</sub> , P <sub>12</sub>
7	małe	10	2	P <sub>2</sub> , P <sub>11</sub>

Przedsiębiorstwa transportowe definiuje się jako podmioty gospodarcze świadczące usługi przewozu rzeczy, towarów, ładunków przystosowanymi do tego środkami transportowymi. Celem zamieszczonych w tab. 3.1 przedsiębiorstw transportowych jest realizacja zleceń przewozowych zgodnie z zapotrzebowaniem klientów, którzy każdego dnia zlecają wysyłki, odbiory i przeładunki towaru o zróżnicowanej masie, wymiarach, na różnorodnych trasach oraz w ustalonych przez odbiorców oknach czasowych.

Badania prowadzone były w okresie od 1.01.2016 r. do 31.12.2017 roku. Obiektem badań są pojazdy samochodowe kategorii N1, natomiast realizowane przez nie zlecenia transportowe stanowią zbiór analizowanych obserwacji. Przedmiotem prowadzonych badań jest proces użytkowania PS<sub>N1</sub>, realizujących zlecenia transportowe na rzecz jednego przedsiębiorstwa handlowego.

### 3.3. Podstawy metodologiczne rozprawy

Z przeprowadzonej analizy stanu zagadnienia wynika, że niewielka jest liczba opracowań odnoszących się do metodologii badań procesu użytkowania PS<sub>N1</sub> w przedsiębiorstwach transportowych. Dla osiągnięcia założonego celu opracowano schemat realizacji pracy i określono następujące zadania cząstkowe (rys. 3.1):

- określenie problemów badawczych, celu i zakresu badań na podstawie przeprowadzonej analizy literatury z obszaru eksploatacji i modelowania procesu użytkowania PS<sub>N1</sub>;
- identyfikacja czynników charakteryzujących realizację zleceń transportowych, poprzedzona przeprowadzeniem badań ankietowych, których celem było określenie warunków i sposobów użytkowania PS<sub>N1</sub> w przedsiębiorstwach transportowych, następnie dokonanie charakterystyki przedsiębiorstw transportowych oraz procesu użytkowania PS<sub>N1</sub>;

- opracowanie założeń do modelu procesu użytkowania  $PS_{N1}$ ;
- identyfikacja istotnych czynników determinujących proces użytkowania  $PS_{N1}$  poprzedzona statystyczną analizą opisową;
- opracowanie matematycznego modelu procesu użytkowania  $PS_{N1}$  dla przedsiębiorstw transportowych;
- analiza wpływu użytkowania pojazdów  $PS_{N1}$  na proces ich obsługi;
- sformułowanie wniosków końcowych;
- przedstawienie propozycji dalszych badań.

<b>Modelowanie procesu użytkowania PS<sub>N1</sub> w przedsiębiorstwach transportowych</b>	
Analiza stanu zagadnienia	
Z obszaru eksploatacji PS <sub>N1</sub>	Z metod modelowania procesu użytkowania PS <sub>N1</sub>
Wnioski	
Cel i zakres pracy	
Charakterystyka obiektu badawczego	
Badania ankietowe przedsiębiorstw użytkujących PS <sub>N1</sub>	
Analiza funkcjonowania przedsiębiorstw transportowych	
Charakterystyka procesu użytkowania PS <sub>N1</sub>	
Określenie czynników charakteryzujących realizację zlecenia transportowego	
Zdefiniowanie założeń do modelu procesu użytkowania PS <sub>N1</sub>	
Wyznaczenie statystyk opisowych	
Analiza wyników	
Identyfikacja istotnych czynników determinujących proces użytkowania	
Testowanie założeń dla zbioru istotnych zmiennych	
Opracowanie modelu matematycznego	
Analiza wpływu użytkowania pojazdów PS <sub>N1</sub> na proces ich obsługi	
Ocena stopnia realizacji celu pracy	
Analiza uzyskanych wyników	
Wnioski końcowe	
Propozycje dalszych badań	

Rys. 3.1. Schemat realizacji pracy

W trakcie prowadzonych badań, realizacja poszczególnych zadań oraz osiągnięcie postawionych celów badawczych wymagało zastosowania empirycznych oraz teoretycznych metod, technik i narzędzi badawczych. Metody empiryczne umożliwiły identyfikację przedsiębiorstw transportowych, procesu realizacji zleceń transportowych oraz analizę funkcjonowania procesu użytkowania PS<sub>N1</sub>. Metody teoretyczne dały podstawę do modelowania oraz uporządkowania materiału faktograficznego dotyczącego procesu użytkowania PS<sub>N1</sub>.

W celu odpowiedzi na pytania badawcze przeanalizowano próbę 13101 zrealizowanych zleceń transportowych. Charakterystyka parametryczna dla każdego przedsiębiorstwa transportowego w odniesieniu do poszczególnych zmiennych ilościowych opisuje: średnią, medianę, wartości minimalne i maksymalne, dolny i górny kwartył, wariancję, odchylenie



standardowe, współczynnik zmienności, skośność i kurtozę. W następnej kolejności dokonano weryfikacji obserwacji odstających stosując testy górne, dolne, dwustronne do m.in. testów: normalnego, Tukeya, Grubbsa, percentylowego w zależności od typu i przebiegu zmiennych losowych dla zmiennych ilościowych, dla jakościowych test częstościowy.

Następnie przeprowadzono modelowanie regresyjne z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów (ang. *Least squares method*). Budowa liniowego modelu regresji wieloczynnikowej umożliwiła oszacowanie estymatorów modelu regresji, błędu standardowego estymacji, współczynnika determinacji  $R^2$ , wskaźnika nadmiarowości oraz weryfikacje hipotez statystycznych. W dalszej kolejności przeprowadzona została analiza awaryjności pojazdów stosując test H Kruskala-Wallisa z wykorzystaniem predyktorów istotnych w modelu. Ostatnim etapem modelowania była analiza wartości resztowych modelu i jego weryfikacja. Założenie o normalności reszt zweryfikowano za pomocą testu Shapiro-Wilka, weryfikację autokorelacji reszt przeprowadzono z wykorzystaniem testu Durбина-Watsona, do weryfikacji założenia o homoscedastyczności reszt zastosowano test Bartletta, a do weryfikacji wartości oczekiwanej składnika losowego wykorzystano statystykę T.

Do rozwiązania problemu badawczego rozprawy oraz dla potrzeb osiągnięcia jej celów i potwierdzenia sformułowanej tezy, za niezbędne uznano wykorzystanie następujących metod, technik oraz narzędzi. Analizę literatury przeprowadzono w celu sformułowania wniosków, problemu badawczego, celu oraz tezy badawczej. Analiza zleceń transportowych oraz procesu użytkowania  $PS_{N1}$  umożliwiła określenie czynników charakteryzujących realizację zlecenia transportowego. W celu zgromadzenia informacji dotyczących specyfiki użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych przeprowadzono wywiad i ankietowanie pracowników oraz ekspertów, wykorzystując wywiad i ankietę bezpośrednią. Analiza ekspertyz serwisowych oraz metoda obserwacji wykorzystane zostały w celu identyfikacji awaryjności pojazdów oraz analizy procesu ich użytkowania. Identyfikacja istotnych czynników determinujących proces użytkowania nastąpiła poprzez wykorzystanie takich metod i technik badawczych jak porównanie i agregacja danych, statystyka opisowa, analiza wariancji oraz korelacji, natomiast synteza umożliwiła opracowanie założeń i ograniczeń do modelu procesu użytkowania  $PS_{N1}$ . Symulację komputerową oraz modelowanie regresyjne wykorzystano do modelowania matematycznego, regresje wieloczynnikową przeprowadzono przy zastosowaniu programu statystycznego SPSS Statistics. Wnioskowanie statystyczne przeprowadzono za pomocą estymacji parametrów oraz weryfikacji hipotez statystycznych.

Wykorzystane metody, techniki i narzędzia badawcze okazały się niezbędne do opisu, analizy, interpretacji oraz oceny procesu użytkowania  $PS_{N1}$ .

## **4. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ**

### **4.1. Badanie specyfiki przedsiębiorstw transportowych użytkujących PS<sub>N1</sub>**

Zgodnie z tematem rozprawy obiektem prowadzonych badań są przedsiębiorstwa transportowe, które w swojej flocie posiadają m.in. PS<sub>N1</sub>. Ogólna klasyfikacja przedsiębiorstw transportowych przedstawiana jest z punktu widzenia różnych kryteriów, w zależności od przedmiotu i celu danej analizy ekonomicznej lub technicznej. Najczęściej jako kryteria przyjmuje się liczbę zatrudnionych, wielkość obrotów, przychody ze sprzedaży podstawowej, wartość środków trwałych lub lokalizację. W przypadku przedsiębiorstw transportowych, dodatkowym kryterium podziału może być: kierunek przewozów, rodzaj ładunku lub też liczba pojazdów w przedsiębiorstwie [190].

Analiza dostępnej literatury pozwoliła zestawić najważniejsze pozycje klasyfikujące przedsiębiorstwa transportowe ze względu na ustalone kategorie (tab. 4.1) [15, 35, 36, 145, 146].

Tab. 4.1. Klasyfikacja przedsiębiorstw transportowych na podstawie wybranej literatury

<b>Komisja Europejska nr 280/96</b>	<b>Podział przedsiębiorstw ze względu na liczbę zatrudnionych osób oraz wysokość obrotów</b>						
	Mikroprzedsiębiorstwa		Małe przedsiębiorstwa		Średnie przedsiębiorstwa		Duże przedsiębiorstwo
	W co najmniej dwóch ostatnich latach obrotowych: - zatrudniało średniorocznie mniej niż 10 osób; - roczny obrót lub bilans nie przekraczał 2 mln EUR		W co najmniej dwóch ostatnich latach obrotowych: - zatrudniało średniorocznie więcej niż 10 osób, mniej niż 250; - roczny obrót lub bilans nie przekraczał 10 mln EUR		W co najmniej dwóch ostatnich latach obrotowych: - zatrudniało średniorocznie mniej niż 250 osób; - roczny obrót nie przekraczał 50 mln EUR, a/lub całkowity bilans roczny nie przekraczał 43 mln EUR		W co najmniej dwóch ostatnich latach obrotowych: - zatrudniało średniorocznie więcej niż 250 osób; - roczny obrót przekraczał 50 mln EUR, a/lub całkowity bilans roczny przekraczał 43 mln EUR
<b>Instytut Transportu Samochodowego</b>	<b>Podział przedsiębiorstw ze względu na liczbę posiadanych pojazdów</b>						
	Mikroprzedsiębiorstwa		Małe przedsiębiorstwa		Średnie przedsiębiorstwa		Duże przedsiębiorstwa
	Posiadające do 5 pojazdów		Posiadające od 6 do 9 pojazdów		Posiadające od 10 do 49 pojazdów		Posiadające 50 i więcej pojazdów
<b>Główny Inspektorat Transportu Drogowego</b>	<b>Podział przedsiębiorstw ze względu na DMC posiadanych pojazdów</b>						
	Posiadające pojazdy samochodowe o DMC do 6 ton			Posiadające pojazdy samochodowe o DMC do 20 ton		Posiadające pojazdy samochodowe o DMC powyżej 20 ton	
	<b>Podział przedsiębiorstw ze względu na liczbę wypisów z licencji pojazdów</b>						
1 licencja	2 – 4 licencje	5 – 10 licencji	11 – 20 licencji	21 – 50 licencji	51 – 100 licencji	Powyżej 100 licencji	
<b>Główny Urząd Statystyczny</b>	<b>Podział przedsiębiorstw ze względu na liczbę posiadanych pojazdów</b>						
	Posiadające do 5 pojazdów	Posiadające od 6 do 9 pojazdów	Posiadające od 10 do 19 pojazdów	Posiadające od 20 do 49 pojazdów	Posiadające od 50 do 99 pojazdów	Posiadające powyżej 100 pojazdów	

Źródło: [15, 35, 36, 145, 146]

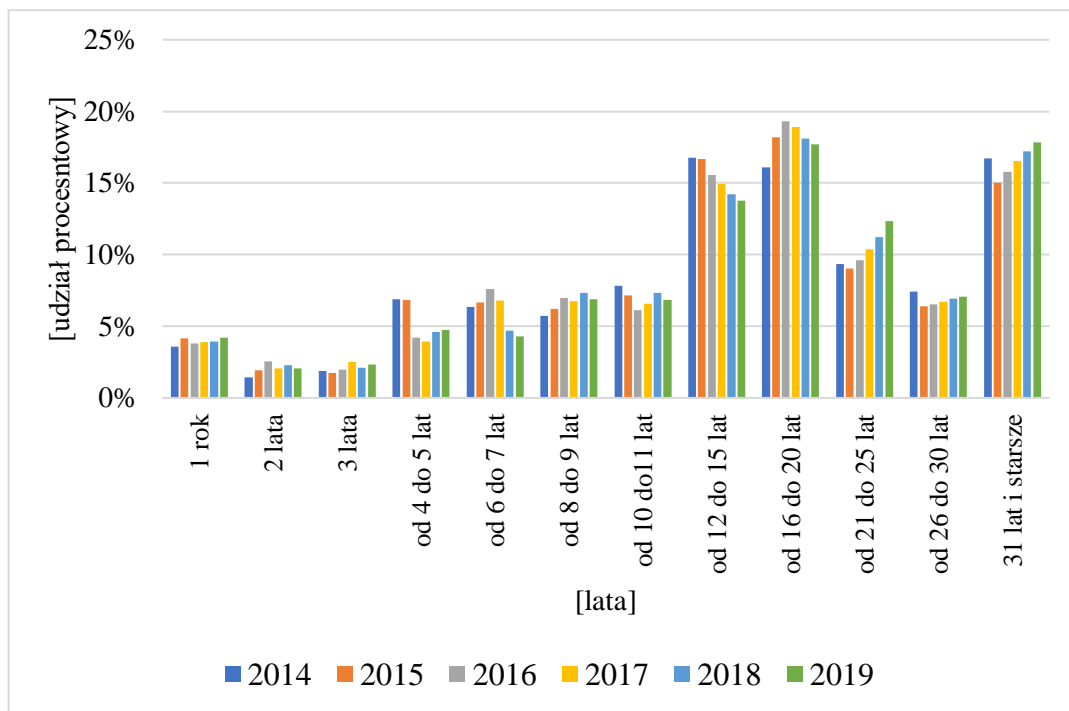
Zgodnie z ustawowym kryterium dotyczącym liczby pracowników, praktycznie wszystkie przedsiębiorstwa transportowe w 2018 roku – 99,8% znajdowały się w sektorze MŚP. Nawiązując do danych zaprezentowanych na Rys. 1.1. w latach 2014 – 2019 udział przedsiębiorstw transportowych posiadających do 19 pojazdów ciężarowych i ciągników siodłowych w stosunku do wszystkich przedsiębiorstw posiadających tabor transportowy wynosił 68%.

Forma organizacji mikro i małych przedsiębiorstw transportowych znacznie odbiega od specyfiki średnich i dużych firm o większej liczbie pojazdów. Ma to związek głównie z typem użytkowanych pojazdów, ich wiekiem, ładownością, średnimi przebiegami [15]. Zgodnie z decyzją Komisji Europejskiej do sektora MŚP należałyby również przedsiębiorstwa posiadające 160 pojazdów, co potwierdza, że podziały, określone w przywołanej ustawie nie przystają do rzeczywistej specyfiki transportu samochodowego ładunków. Powstaje zatem konflikt, który wskazuje na potrzebę zintegrowania wiedzy w zakresie podziału przedsiębiorstw ze względu na kryteria: liczbę zatrudnionych pracowników oraz liczbę pojazdów.

Ze względu na dotychczas prowadzone badania oraz biorąc pod uwagę potrzebę analizy przedsiębiorstw transportowych posiadających PS<sub>N1</sub>, autor postanowił przyjąć następujący podział:

- mikro przedsiębiorstwa, zatrudniają do 9 pracowników łącznie, posiadają od 1 do 5 pojazdów;
- małe przedsiębiorstwa, zatrudniają do 49 pracowników łącznie, posiadają od 6 do 49 pojazdów;
- średnie przedsiębiorstwa, zatrudniają do 249 pracowników łącznie, posiadają od 50 do 99 pojazdów.

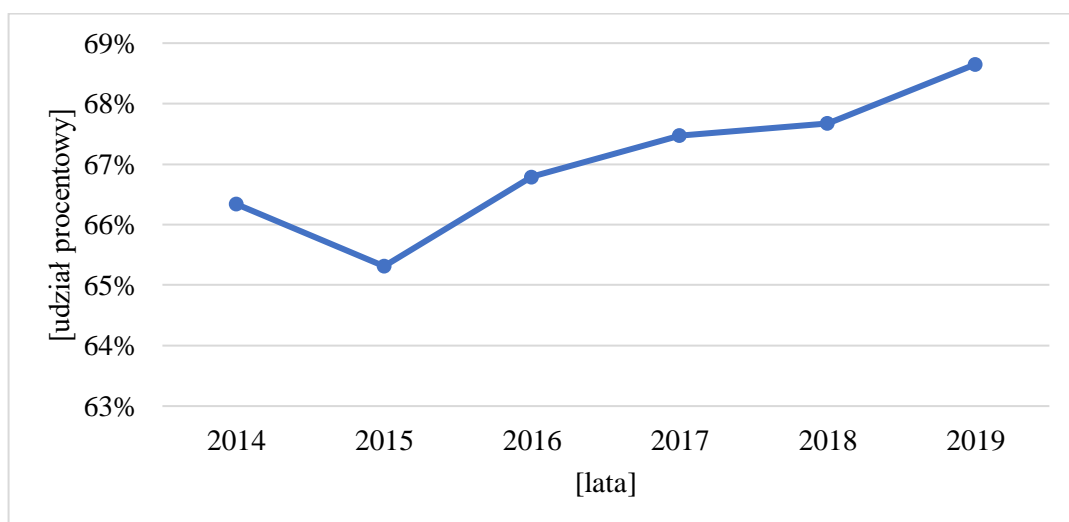
Przedsiębiorstwa transportowe, szczególnie te, które w swojej bazie posiadają jedynie pojazdy samochodowe kategorii N1, działające na silnie dywersyfikujących się rynkach usługowych, wykazują duże rozdrobnienie. Przeważająca liczba mikroprzedsiębiorstw posiada do 5 pojazdów, a ich właściciele są jednocześnie kierowcami pojazdów. Mikroprzedsiębiorstwa rzadziej korzystają z leasingów w stosunku do większych firm oraz często wykorzystują starszą flotę. Zgodnie z danymi przedstawionymi przez GUS przeprowadzona została analiza wieku PS<sub>N1</sub>, która klasyfikuje pojazdy na 12 kategorii ze względu na ich wiek (rys. 4.1.) [36].



Rys. 4.1. Grupy wiekowe pojazdów samochodowych kategorii N1

Źródło: [36].

Analiza wieku  $PS_{N1}$ , badanych w latach 2014 – 2019 wykazała trzy najbardziej liczne grupy wiekowe pojazdów. Są to grupy: od 12 do 15 lat, od 16 do 20 lat oraz 31 lat i starsze. Średnia roczna wartość tych grup w stosunku do grup pozostałych w każdym badanym roku wynosi ok 15% – 20%. Stąd wynika, że ponad 68% wszystkich pojazdów samochodowych kategorii N1 stanowią pojazdy liczące ponad 12 lat. Od 2015 roku, odsetek tej grupy wiekowej stale wzrasta (rys. 4.2) [36].



Rys. 4.2. Udział procentowy grupy pojazdów w wieku 12 lat i starsze w stosunku do wszystkich pojazdów samochodowych kategorii N1

Źródło: [36].

Badania przeprowadzone w 2018 r. na zlecenie firmy Carefleet S.A. wskazują, że ponad połowa firm z sektora MŚP kupuje samochody używane głównie w komisach i centrach poleasingowych. Pojazdy z rynku wtórnego są najczęściej kupowane przez najmniejsze firmy, zatrudniające od 1 do 9 osób. Posiadanie samochodów używanych w swoich flotach deklaruje niemal 73% badanych przedstawicieli mikroprzedsiębiorstw. Im mniejsza firma, tym częściej nabywa samochody z rynku wtórnego. Badania wykazują, że 68% przedsiębiorstw transportowych w sektorze MŚP nabywa pojazdy z rynku wtórnego, co może potwierdzać znaczny udział procentowy starszych PS<sub>N1</sub> w grupie od 12 lat, w stosunku do wszystkich pojazdów [59].

Przedsiębiorstwa z sektora MŚP użytkujące PS<sub>N1</sub>, zgodnie z polskim prawem mają możliwość korzystania z wielu udogodnień, które są efektem luk w prawie transportowym oraz nieprecyzyjnych zapisów dotyczących rejestrowania i użytkowania pojazdów dostawczych. Formalnie, pojazdy te, traktowane są jako pojazdy lekkie ciężarowe przystosowane do przewozu ładunków, jednak podczas rejestracji zyskują prawa równe prawom pojazdów osobowych:

- kierowcy posiadają jedynie prawo jazdy kategorii B;
- czas jazdy i czas pracy są nienormowane;
- nie mają również obowiązku ponoszenia kosztów związanych z opłatami za korzystanie z dróg objętych systemem ViaTOLL;
- pojazdy dostawcze nie podlegają kontroli Inspekcji Transportu Drogowego.

Okoliczności te stwarzają dogodne warunki dla przedsiębiorstw transportowych, do wykorzystywania pewnych nieprecyzyjnych zapisów oraz „luk” w prawie do maksymalizowania intensywności użytkowania pojazdów z założeniem, że jest to forma najbardziej efektywna ekonomicznie i funkcjonalnie z punktu widzenia zarządzania potencjałem pojazdu. Jest to jednak podstawa do stwierdzenia o nieuczciwej konkurencji na rynku wszystkich przewoźników świadczących usługi transportowe.

Wyboru próby badawczej dokonano stosując technikę doboru celowego, który zdaniem autora pozwolił na dobór takich przedsiębiorstw transportowych, które są źródłem najbardziej wartościowych informacji dotyczących użytkowania PS<sub>N1</sub>. Analizowane przedsiębiorstwa charakteryzują się pewnymi specyficznymi cechami, które mają duże znaczenie dla przebiegu procesu użytkowania pojazdów.

Wybrana grupa badawcza przedsiębiorstw transportowych charakteryzuje się poniższymi uwarunkowaniami:

1. Wielkość przedsiębiorstw. Obiekty badań zalicza się do mikro i małych firm, które charakteryzują się szczególnymi atrybutami wynikającymi z możliwości wykorzystania zasobów własnych oraz zewnętrznych. W grupie tych przedsiębiorstw znajdują się firmy rodzinne, co niewątpliwie jest czynnikiem stymulującym ich funkcjonowanie, ale utrudnia dokładne rozpoznanie i zbadanie procesów zachodzących wewnątrz przedsiębiorstwa.
2. Wahania popytu na usługi transportowe ładunków FMCG. Specyfika przedmiotu transportu, tj. jajek, mięsa, wędlin powoduje, że zapotrzebowanie na tego typu produkty cechuje się sezonowością związaną z porą roku, pogodą, świętami, trendami.
3. Odbiorcy towarów szybko psujących się stawiają głównie na ich jakość, dlatego na przewoźnikach wymusza się ekspresowy czas realizacji usługi transportowej.
4. Brak ciągłości dostaw, występujący w momencie, kiedy producenci mają nieplanowe przestoje maszyn lub inne problemy związane z produkcją. Uniemożliwia to podjęcie załadunku w określonym terminie, wydłuża proces realizacji zleceń transportowych i może zwiększyć koszty z nim związane.
5. Brak systematyczności dostaw, który cechuje się tym, że niektóre zlecenia transportowe w związku z nagłym zapotrzebowaniem klienta końcowego zlecane są do realizacji z 3-4 godzinnym wyprzedzeniem, są to tzw. zlecenia transportowe *ad-hoc*<sup>1</sup>, za które przedsiębiorstwo transportowe otrzymuje zazwyczaj wyższą niż standardowa cenę.
6. Umowny charakter cen. Dla przewozu ładunków drobnicowych w transporcie samochodowym nie istnieje żaden ustalony algorytm wyliczania stawek (poza firmami kurierskimi, które działają w oparciu o określone taryfy). Zleceniodawca wraz z przewoźnikiem ustala stawkę, którą poza warunkami przewozu determinuje również indywidualny charakter partnerstwa biznesowego.
7. Minimalizacja pustych przebiegów. Pojazdy dostawcze specjalizują się przede wszystkim w przewozie ładunków drobnicowych, co wymusza na przewoźnikach załadunki i rozładunki w wielu miejscach. Oznacza to, że warunki jednego

---

<sup>1</sup> jednorazowe, doraźne zlecenie transportowe, wymagające szybkiego terminu realizacji

zlecenia transportowego określać będą, np. 4 różne miejsca załadunku oraz 5 miejsc rozładunku.

Dobór przedsiębiorstw transportowych przeprowadzono na podstawie założonych kryteriów, które przedstawiono w tab. 4.2.

Tab. 4.2. Kryteria doboru przedsiębiorstw transportowych użytkujących PS<sub>N1</sub>

<b>Przedsiębiorstwa transportowe użytkujące PS<sub>N1</sub></b>			
<b>Wielkość:</b>	<b>Charakterystyka taboru:</b>	<b>Przedmiot transportu:</b>	<b>Warunki realizacji przewozu:</b>
– mikro;	– pojazdy samochodowe kategorii N1;	produkty FMCG: – jaja;	– na podstawie zlecenia transportowego;
– małe.	– typ nadwozia: chłodnia;	– mięso;	– jeden zleceniodawca;
	– bez leasingów.	– wędliny.	– jeden kierowca realizujący jedno zlecenie transportowe.

Proces realizacji usługi transportowej w badanych przedsiębiorstwach rozpoczyna się otrzymaniem zlecenia transportowego od zleceniodawcy, jakim jest firma handlowa z branży FMCG, która ustala zasady i warunki wykonania określonego zadania przewozowego. Zlecenia transportowe, które otrzymują przedsiębiorstwa transportowe użytkujące PS<sub>N1</sub> zawierają poniższe informacje:

- data realizacji zlecenia;
- miejsce załadunku i rozładunku;
- okna czasowe, w których ładunek ma zostać podjęty i dostarczony;
- rodzaj ładunku oraz warunki jego przewozu;
- masa przewożonego ładunku;
- ewentualny czas oczekiwania lub postoju;
- cena za realizację usługi, czyli cena za realizację określonej usługi, na określonym odcinku, w określonych warunkach, dla określonej masy ładunku.

Struktura realizacji zleceń transportowych zawsze odpowiada strukturze realizacji zlecenia dostawy zgodnie z oczekiwaniami klientów ostatecznych (klientów firmy handlowej). W analizowanym przypadku były nimi centra dystrybucyjne znanych sklepów, tj. Tesco, Auchan, Żabka, Netto, Piotr i Paweł, Carrefour zlokalizowane na terenie Polski. Klient końcowy zamawia w firmie handlowej dany produkt na określonych warunkach, natomiast firma handlowa składa zamówienie na produkt w konkretnej fermie lub ubojni w zależności od zapotrzebowania na rodzaj towaru, następnie organizuje dostawę do klienta końcowego, tj. szuka przedsiębiorstwa transportowego, ustala cenę za realizację usługi, koordynuje przewóz, rozlicza się z przewoźnikiem, a następnie z centrum dystrybucyjnym. Firma



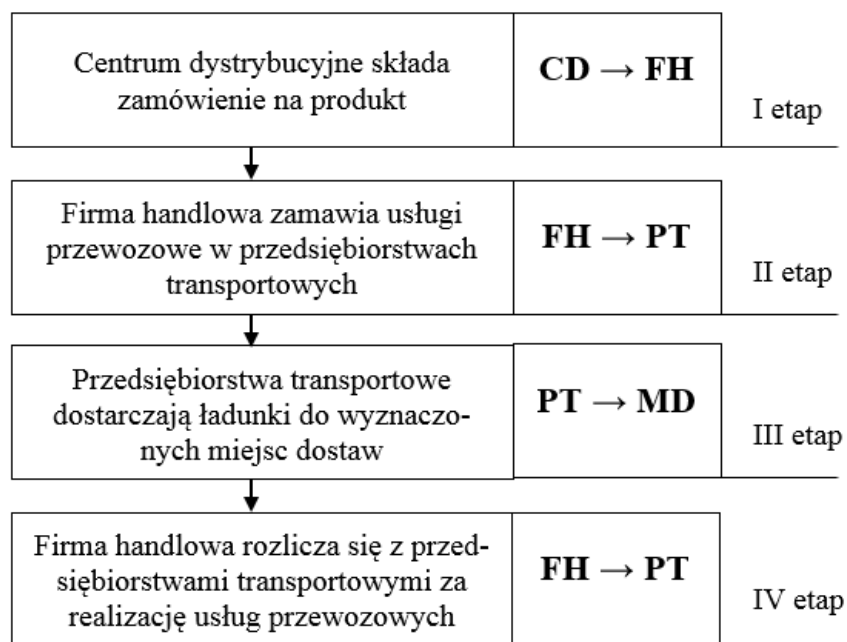
handlowa nie posiada własnej floty transportowej, dlatego współpracuje z przedsiębiorstwami transportowymi, którym zleca realizację przewozów. Załadunki towaru odbywają się w 5 różnych lokalizacjach na terenie Polski, natomiast rozładunki to 57 lokalizacji przypisanych 6 różnym centróm dystrybucyjnym (tab. 4.3).

Tab. 4.3. Identyfikacja załadunków i rozładunków w procesie realizacji zlecenia transportowego

Miejsca załadunku	Miejsca rozładunku	
	Centrum dystrybucyjne	Liczba lokalizacji miejsc dostaw
Ferma 1	Auchan	7
Ferma 2	Carrefour	11
Ferma 3	Tesco	14
Ferma 4	Netto	6
Ubojnia 1	Piotr i Paweł	7
Ubojnia 2	Żabka	12

Przebieg procesu użytkowania pojazdu w ramach realizacji zamówienia dostawy do klienta odbywa się w etapie trzecim. W I etapie centra dystrybucyjne *CD* określają miejsce dostawy, ilość konkretnego towaru i czas realizacji dostawy, informacje te przekazują w formie zamówienia do firmy handlowej *FH*, która w etapie II ustala indywidualną cenę i zleca przedsiębiorstwu transportowemu *PT* wykonanie usługi dostarczenia towaru zgodnie z zapotrzebowaniem *CD*. W etapie III ma miejsce proces przewozowy, podczas którego przedsiębiorstwo transportowe po uprzednim przygotowaniu pojazdu do użytkowania przyjmuje zlecenie transportowe i realizuje dowóz towaru do wyznaczonego miejsca dostaw *MD*. IV etap to rozliczenie następujące pomiędzy przedsiębiorstwem transportowym, a firmą handlową.

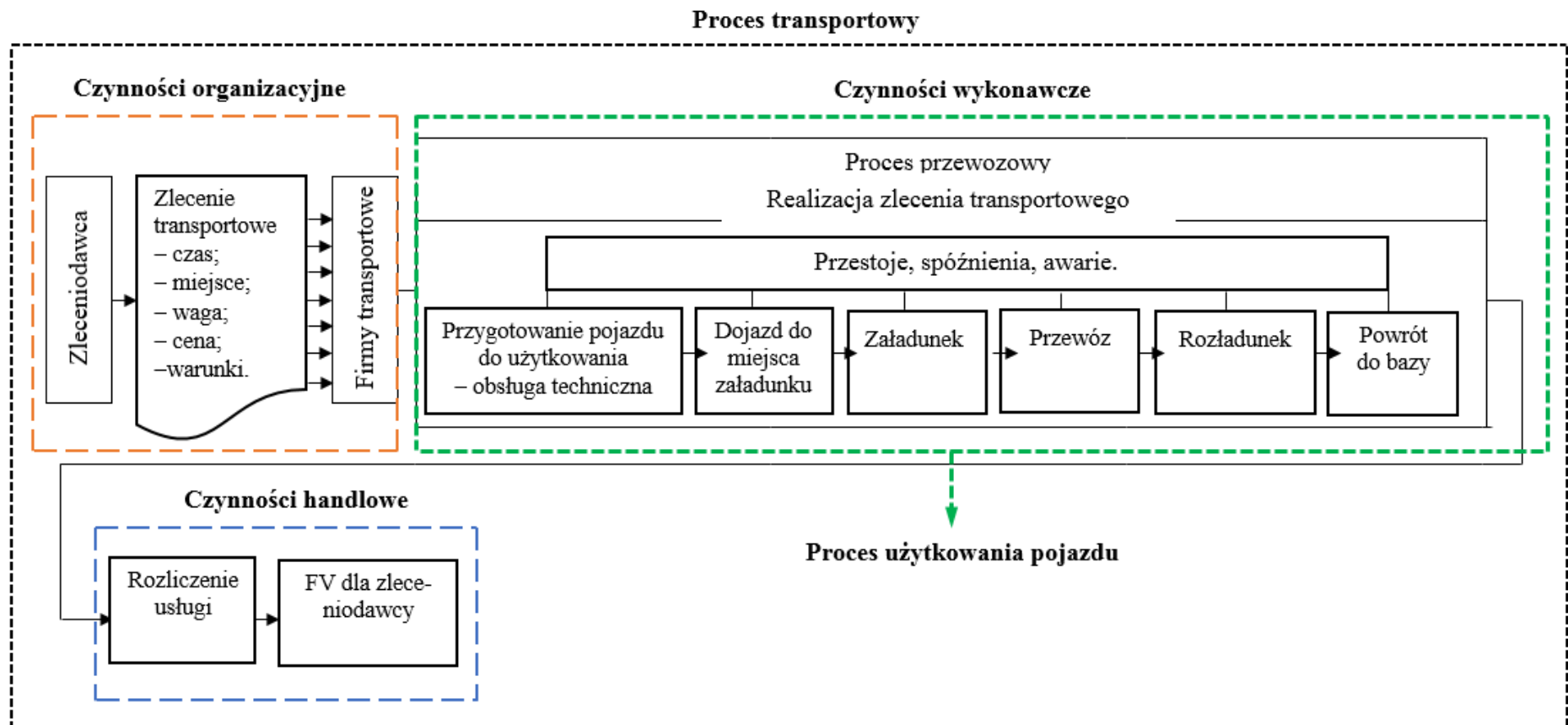
Etapy realizacji zamówienia dostawy do klienta ostatecznego przedstawiono na rys. 4.3.



Rys. 4.3. Schemat realizacji działań operacyjnych w obszarze relacji biznesowych pomiędzy poszczególnymi podmiotami łańcucha dostaw

Proces użytkowania  $PS_{N1}$ , określony realizowanym procesem przewozowym, obejmuje zakres działań, w które zaangażowany jest pojazd od chwili wyjazdu z bazy do miejsca podjęcia ładunku, aż do czasu powrotu do bazy po wykonaniu określonej pracy.

Schemat realizacji zlecenia transportowego z uwzględnieniem etapów procesu przewozowego przedstawiono na rys. 4.4.



Rys. 4.4. Schemat realizacji zlecenia transportowego

Realizacja wielofazowego procesu transportowego jako usługi świadczonej przez przedsiębiorstwo transportowe, obejmuje trzy podstawowe grupy czynności tj. organizacyjne, wykonawcze oraz handlowe. Czynności organizacyjne jako jeden z elementów systemu zarządzania, bezpośrednio kształtują specyfikę realizowania czynności wykonawczych, dlatego są tak ważne z punktu widzenia oceny procesu użytkowania. W badanych mikroprzedsiębiorstwach często zarządzający jest jednocześnie kierowcą, dlatego jest w pełni odpowiedzialny za efekty realizacji procesu użytkowania PS<sub>N1</sub>.

Dobrana próba badawcza, zdaniem autora stanowi próbę reprezentatywną populacji pojazdów dostawczych, co po zdefiniowaniu odpowiednich założeń oraz przeprowadzeniu szczegółowych obserwacji i wywiadów umożliwi zebranie informacji, które stworzą zbiór danych charakteryzujących proces użytkowania PS<sub>N1</sub>.

Struktura każdego przedsiębiorstwa transportowego jest różnorodna, zależna od specyfiki działania, liczby zatrudnionych pracowników, posiadanych pojazdów, przyjętej strategii eksploatacji oraz doświadczenia kierowców. Rezultaty podejmowanych działań w obszarze użytkowania PS<sub>N1</sub> oraz ich intensywność, zależą przede wszystkim od zastosowania odpowiednich metod i technik racjonalnego zarządzania potencjałem pojazdu.

Procesy użytkowania i obsługi technicznego PS<sub>N1</sub> w przedsiębiorstwach transportowych powinny być zawsze realizowane w oparciu o przyjęte strategie eksploatacyjne, które polegają na ustaleniu sposobu zarządzania użytkowaniem i obsługiwaniem pojazdu oraz relacji między nimi w świetle przyjętych kryteriów.

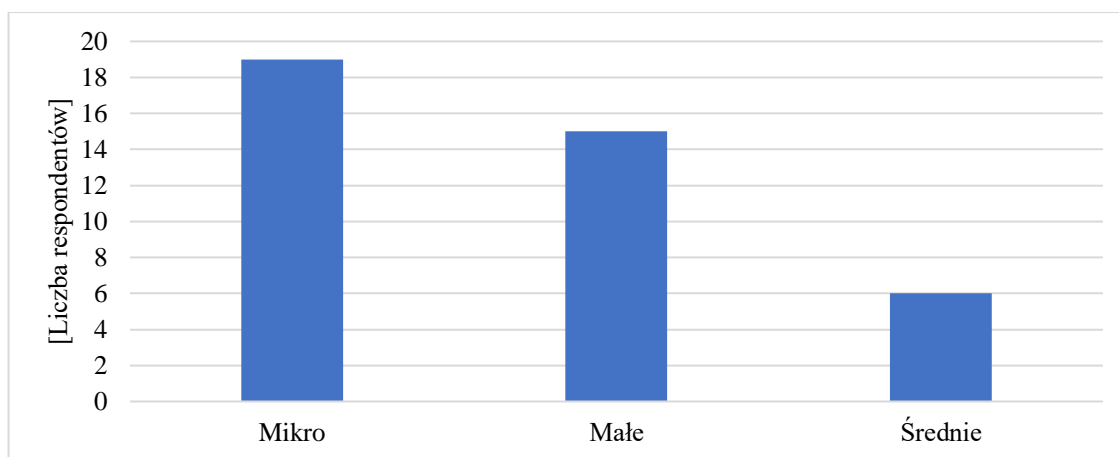
W praktyce najczęściej stosowaną strategią eksploatacji jest strategia mieszana odpowiednio dostosowana do indywidualnych wymagań i warunków eksploatacji danego pojazdu. Spośród pozostałych strategii, najczęściej opisywanych w literaturze przedmiotu [104, 143, 184]: strategii wg niezawodności, efektywności ekonomicznej, ilości wykonanej pracy i stanu technicznego, strategia mieszana wydaje się być najlepszą formą zarządzania pojazdami w mikro i w małych przedsiębiorstwach. Jest to często efekt podejmowania działań doraźnych i braku analizowania intensywności użytkowania. System obsługowo-naprawczy w takich przedsiębiorstwach często nie ma struktury i kierowany jest przede wszystkim subiektywnymi odczuciami użytkownika pojazdu. W razie wystąpienia awarii pojazd niezwłocznie kierowany jest do serwisu w celu przywrócenia zdatności, jednak nie jest przeprowadzana analiza przyczyn zaistniałej sytuacji oraz warunków i zastosowanych metod użytkowania pojazdu.

Podstawą do oceny procesu użytkowania PS<sub>N1</sub> w przedsiębiorstwach transportowych jest analiza przyjętej strategii eksploatacji, zasad oraz specyfiki działań podejmowanych w zakresie zarządzania użytkowaniem i obsługiwaniem pojazdów. Potrzeba zidentyfikowania istotnych

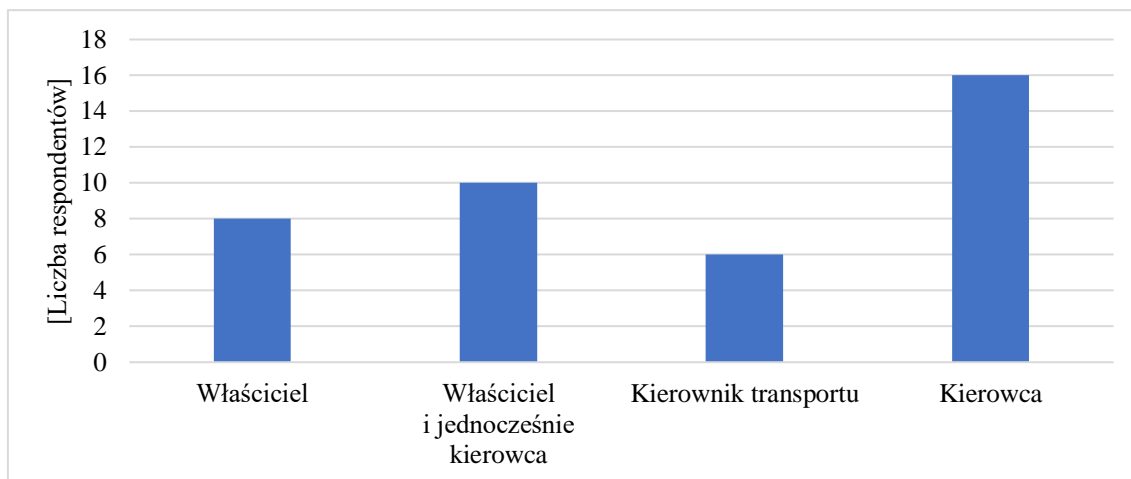
cech techniczno-eksploatacyjnych charakteryzujących proces użytkowania pojazdów wskazuje na konieczność zebrania informacji opisujących rzeczywiste warunki użytkowania pojazdów w przedsiębiorstwach transportowych.

#### 4.2. Badania ankietowe

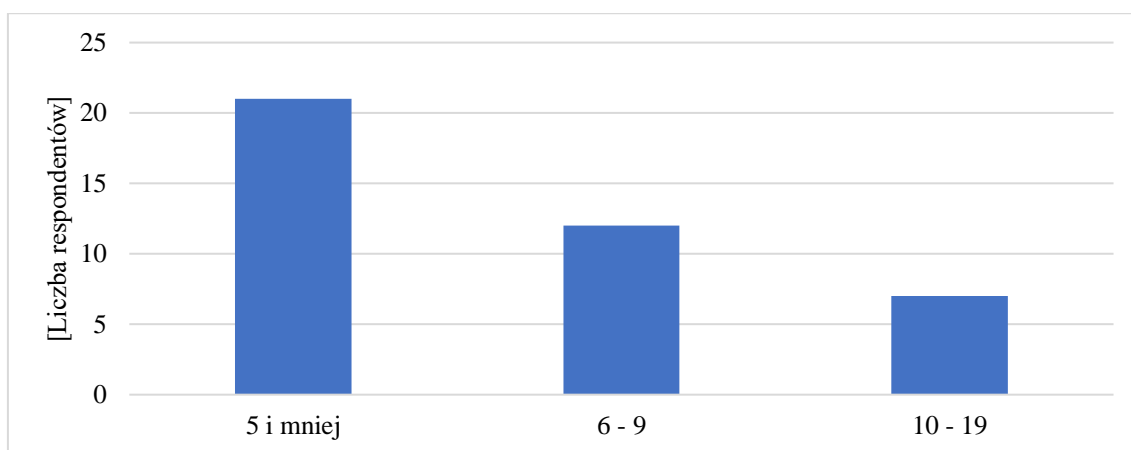
W celu zweryfikowania warunków i zasad użytkowania pojazdów dostawczych w przedsiębiorstwach transportowych, przeprowadzona została anonimowa ankieta (załącznik nr 2), której respondentami było 40-stu: kierowców, kierowników i właścicieli mikro, małych i średnich przedsiębiorstw transportowych użytkujących PS<sub>NI</sub>. Do grupy ankietowanych należą również pracownicy przedsiębiorstw transportowych, które stanowią obiekt badań niniejszej rozprawy. Badania ankietowe mają poszerzyć wiedzę w obszarze użytkowania pojazdów dostawczych, przybliżyć specyfikę przedsiębiorstw użytkujących te pojazdy oraz pomóc w określeniu obszarów, które wskazywać mogą na problemy związane z użytkowaniem pojazdów dostawczych w przedsiębiorstwach. Gromadzenie informacji odbywało się poprzez samodzielne wypełnianie kwestionariusza przez respondentów. Wyniki ankiet przedstawiono w trzech grupach odnoszących się do informacji ogólnych (rys. 4.5 – 4.8), planowania i intensywności użytkowania pojazdów (rys. 4.9 – 4.15) oraz do działań podejmowanych w ramach obsługi pojazdów (rys. 4.16 – 4.17).



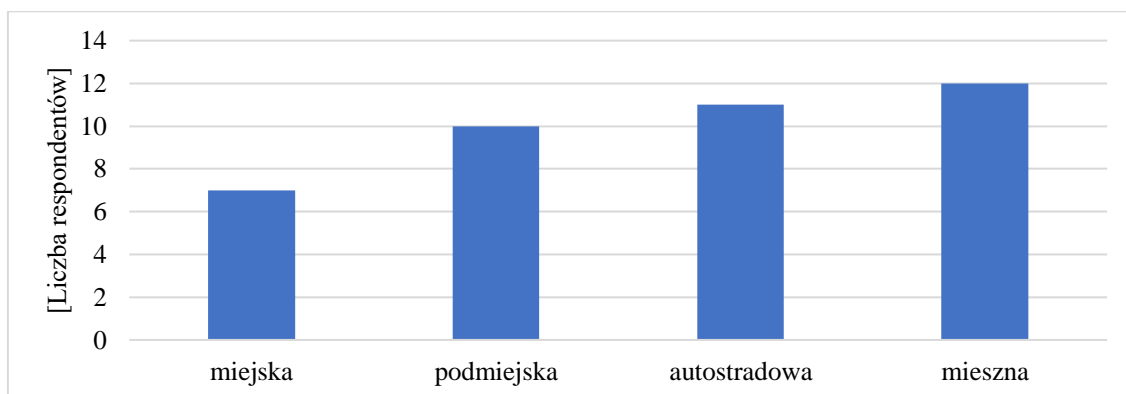
Rys. 4.5. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Jaka jest wielkość przedsiębiorstwa transportowego?”



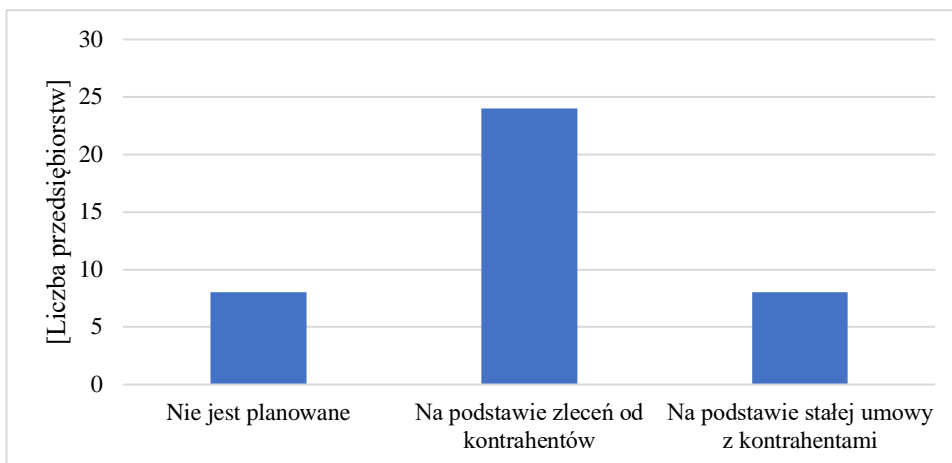
Rys. 4.6. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Jaką pełni Pan/Pani funkcję w przedsiębiorstwie?”



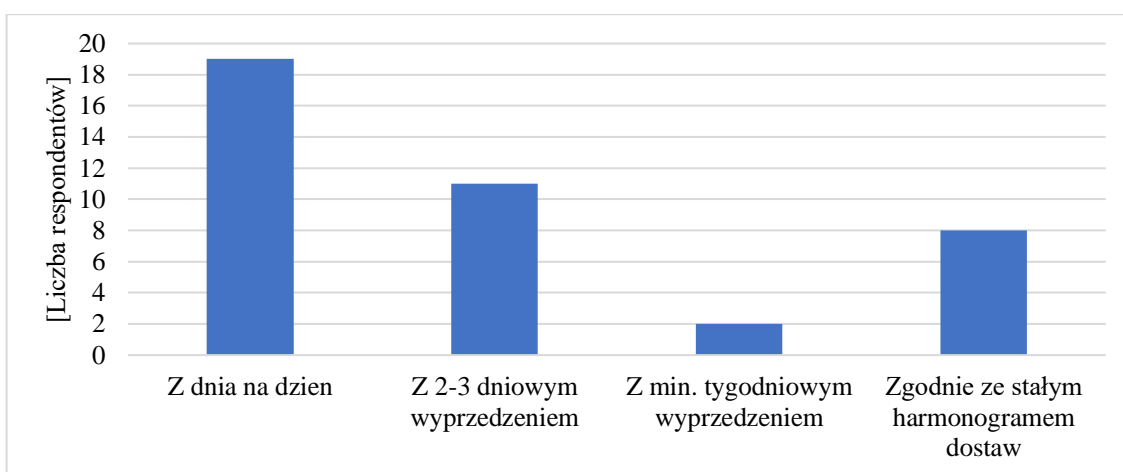
Rys. 4.7. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Ile pojazdów dostawczych zarejestrowanych jest w Pana/Pani przedsiębiorstwie?”



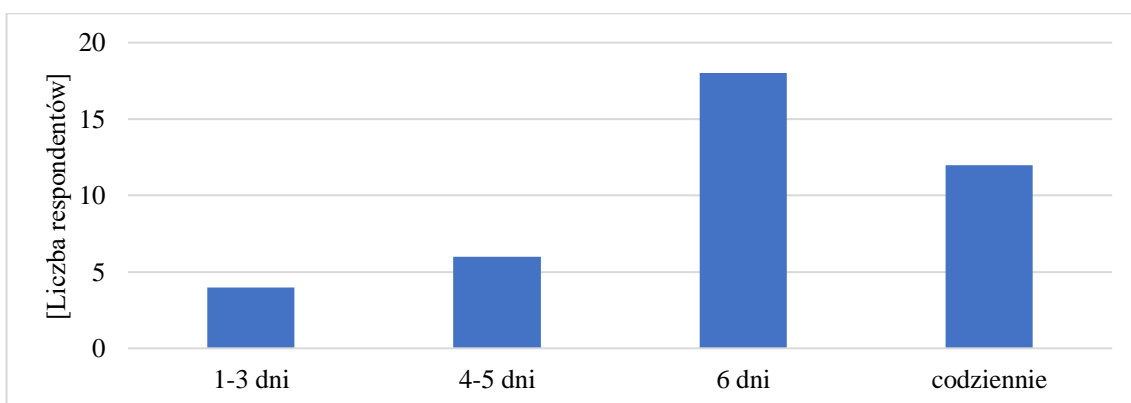
Rys. 4.8. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Jaka jest specyfika jazdy pojazdów dostawczych w Pana/Pani przedsiębiorstwie?”



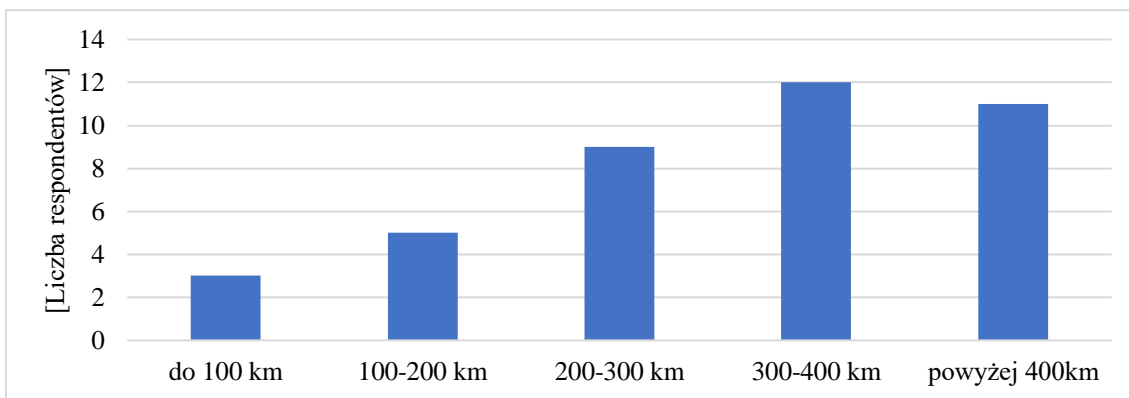
Rys. 4.9. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Na jakiej podstawie planowanie jest użytkowanie pojazdów?”



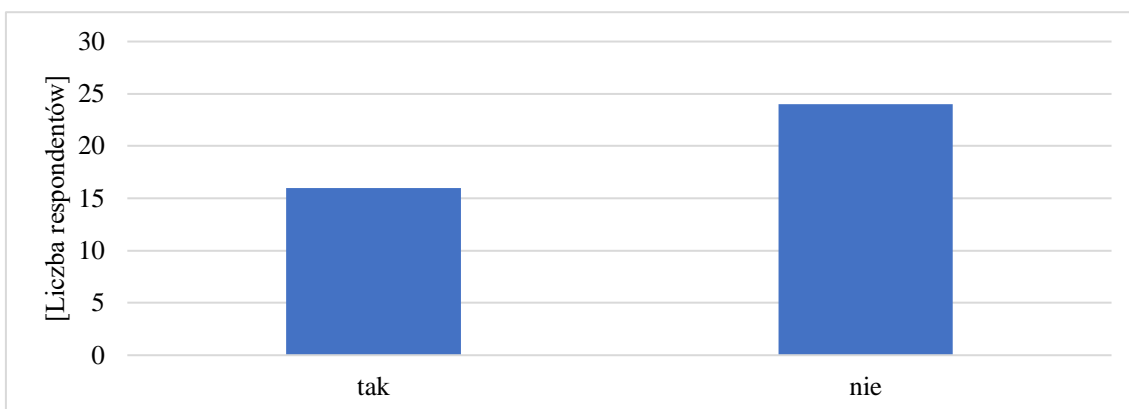
Rys. 4.10. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Z jakim wyprzedzeniem planowane jest użytkowanie pojazdów?”



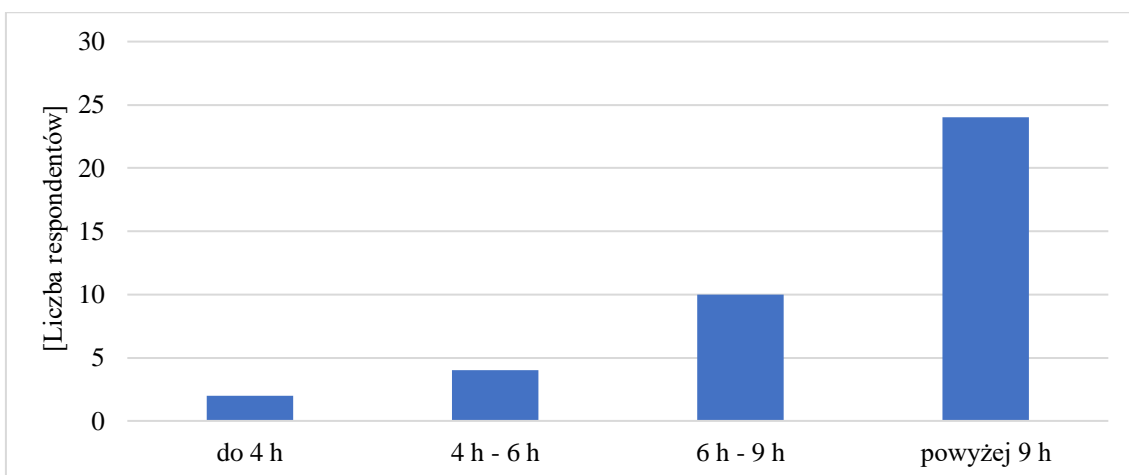
Rys. 4.11. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Jak często użytkowane są pojazdy w odniesieniu do tygodnia?”



Rys. 4.12. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Jaki jest średni dzienny przebieg pojazdów?”

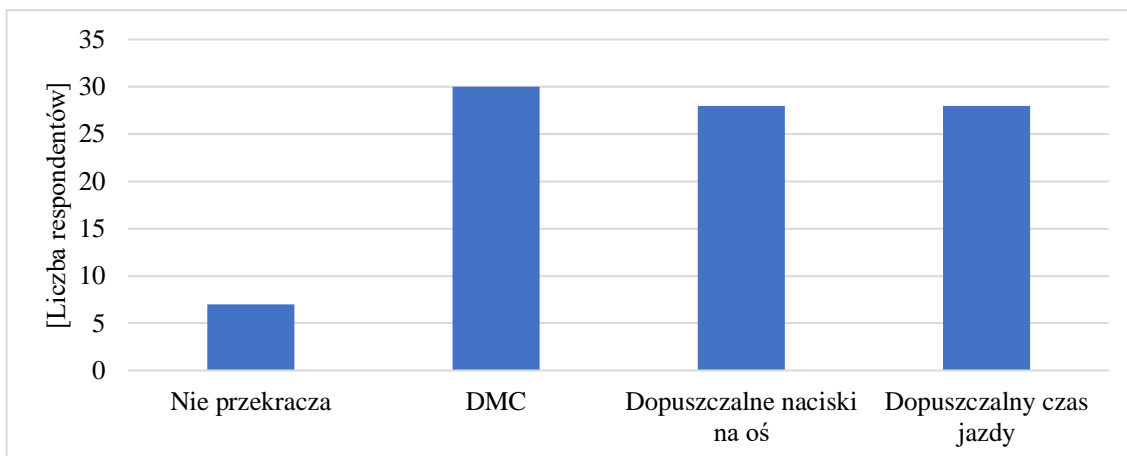


Rys. 4.13. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Czy stosuje się Pan/Pani do zasad jazdy ekonomicznej?”

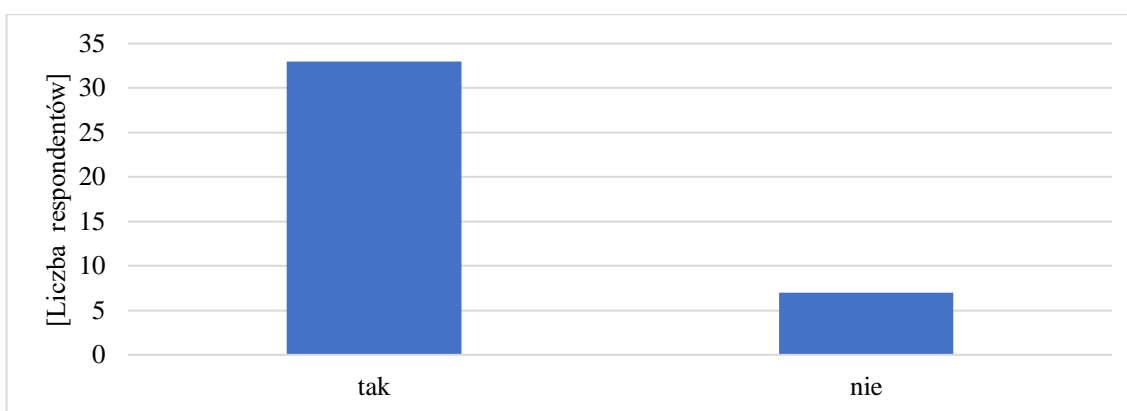


Rys. 4.14. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Jaki jest średni czas realizacji zlecenia transportowego?”

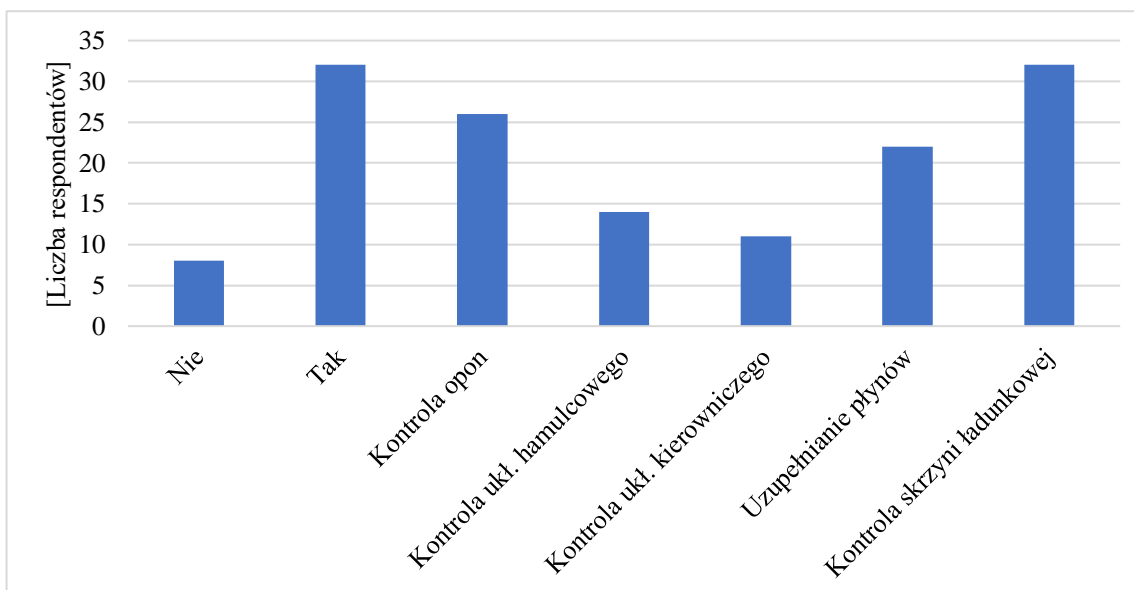




Rys. 4.15. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Czy przekracza Pan/Pani dopuszczalne normy użytkowania? Jeśli tak to jakie?”



Rys. 4.16. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Czy stosuje się Pan/Pani do wytycznych określonych w instrukcji obsługi pojazdu w zakresie wykonywania przeglądów okresowych?”



Rys. 4.17. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Czy wykonuje Pan/Pani codzienną obsługę techniczną pojazdu przed rozpoczęciem pracy, jeśli tak to jakie są to czynności?”

Wyniki przeprowadzonej ankiety wskazują, że praktycznie połowa ankietowanych (48%) pracuje w mikroprzedsiębiorstwach i są to w większości (40%) kierowcy. Przeważają przedsiębiorstwa (53%), posiadające do 5 pojazdów dostawczych w swojej flocie transportowej. Specyfika jazdy wszystkich pojazdów nieznacznie się różni, jednakże dominuje cykl jazdy mieszanej oraz autostradowej. W odniesieniu do planowania intensywności użytkowania pojazdów wyniki potwierdzają, że 60% respondentów planuje użytkowanie pojazdów na podstawie zleceń transportowych, które otrzymuje od kontrahentów z dnia na dzień (48%). Może to stanowić przyczynę braku możliwości wdrożenia optymalnej strategii eksploatacji, która mogłaby stanowić wsparcie w podejmowaniu decyzji biznesowych. Kolejne wyniki przedstawione na rys. 4.11 wskazują, że 75% pojazdów dostawczych jest użytkowanych 6 – 7 dni w tygodniu, a zgodnie z wynikami przedstawionymi na rys. 4.12 średni dzienny przebieg pojazdów w 58% wynosi powyżej 300 km. Jedynie 8% pojazdów ma średni dzienny przebieg do 100 km. Czas realizacji zlecenia u 60% badanych wynosi powyżej 9 godzin. Może to stanowić podstawę do przypuszczeń, że czas pracy kierowcy często pokrywający się z czasem jazdy jest przekraczany. Przyczyną tego jest brak konieczności rejestrowania czasu pracy kierowcy, co czynić muszą kierowcy pojazdów samochodowych o DMC powyżej 3,5 tony. Weryfikacja intensywności użytkowania pojazdów w badanych przedsiębiorstwach wskazała na przekraczanie dopuszczalnych obciążeń. Jedynie 18% badanych potwierdza użytkowanie zgodnie z przyjętymi normami. 75% respondentów przekracza DMC pojazdu, natomiast 70% potwierdza przekraczanie dopuszczalnych nacisków na oś oraz dopuszczalnego czasu jazdy, co potwierdza przypuszczenia dotyczące poprzednio uzyskanego wyniku. W obszarze obsługi pojazdów, wyniki potwierdzają, że 83% badanych stosuje się do wytycznych określonych w instrukcji obsługi w zakresie wykonywania przeglądów okresowych. 80% badanych potwierdza codzienną obsługę techniczną pojazdów przed realizacją każdego zlecenia transportowego. Do czynności obsługi codziennej zalicza się: kontrolę skrzyni ładunkowej 80%, kontrolę opon 65%, uzupełnianie płynów 55%, kontrolę układu hamulcowego 35% oraz układu kierowniczego 28%. Większość ankietowanych 60% nie stosuje się do zasad ekonomicznej jazdy.

### 4.3. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają, że proces użytkowania pojazdów dostawczych w przedsiębiorstwach transportowych jest planowany na bieżąco i zależy głównie od indywidualnego zapotrzebowania kontrahentów. Badania ankietowe dotyczące intensywności użytkowania pojazdów wykazały, że 75% respondentów potwierdza użytkowanie pojazdów powyżej 6 dni w tygodniu, przy czym 57% potwierdza, że średni dzienny przebieg pojazdu wynosi powyżej 300 km. Można zatem założyć, że średnia roczna intensywność użytkowania w odniesieniu do przebiegu to 93600 km. Zgodnie z informacjami zawartymi w Katalogu Norm Eksploatacji Techniki Lądowej docelowa norma eksploatacji dla pojazdów dostawczych wynosi 15 lat lub 450 000 km [89]. Oznacza to, że pojazdy użytkowane z taką intensywnością, wykorzystałyby swój potencjał użytkowy w ciągu niespełna 5 lat od momentu rozpoczęcia eksploatacji. Do tego częste przeładowania pojazdów oraz wydłużony czas pracy potwierdzony przez 60% respondentów wskazują na brak racjonalnego zarządzania użytkowaniem pojazdów. Może to być w ocenie autora przyczyną zwiększonego prawdopodobieństwa wystąpienia awarii i nieplanowanych przestojów oraz niskiej efektywności ekonomicznej związanej ze zwiększeniem kosztów eksploatacji (kosztów zużycia paliwa, napraw). Większość ankietowanych potwierdza jednak stosowanie się do wytycznych określonych w instrukcji obsługi pojazdu w zakresie wykonywania przeglądów okresowych oraz obsługi dziennej, zgodnie ze wskazaniem producenta. Stanowi to jak najbardziej element efektywnej strategii eksploatacji, która jest wsparciem w utrzymaniu zdolności pojazdów w procesie użytkowania i zapewniania bezpieczeństwa oraz optymalnej jakości świadczonych usług. Wyniki badań ankietowych wskazują jednak, że nie są znane efekty użytkowania pojazdów ze zwiększoną intensywnością niż zalecana. Przedsiębiorstwa nie prowadzą analizy przyczynowo-skutkowej w momencie wystąpienia awarii, nieplanowanych przestojów, wzrostu kosztów eksploatacji lub zmniejszenia jakości świadczonych usług.

Koniecznym staje się zatem przeprowadzenie szczegółowej analizy problematyki procesu użytkowania na przykładzie rzeczywiście funkcjonujących przedsiębiorstw oraz analizy cech techniczno-eksploatacyjnych determinujących jego efekty. Badanie intensywności użytkowania pojazdów oraz zależności i korelacji pomiędzy charakteryzującymi go cechami może stanowić podstawę do oceny efektywności działającego przedsiębiorstwa oraz zbudowania modelu wspierającego podejmowanie decyzji w zakresie racjonalnego zarządzania potencjałem  $PS_{N1}$ .

W ocenie autora koszty użytkowania PS<sub>N1</sub> w przedsiębiorstwach transportowych, mogą wskazywać na zależności pomiędzy intensywnością użytkowania pojazdów, a efektywnością funkcjonalną i ekonomiczną danego przedsiębiorstwa. Wyniki danych obserwacji i pomiarów mogłyby stanowić dla przedsiębiorstw szansę na zwiększanie swojej konkurencyjności poprzez racjonalne minimalizowanie kosztów użytkowania pojazdów lub dostrzeżenie obszarów problematycznych do tej pory nie zauważanych. Mogą być również podstawą do budowania narzędzi wspierających procesy decyzyjne w obszarze zarządzania PS<sub>N1</sub>.

Fakt istnienia powyższego zjawiska stał się obiektem zainteresowań organów rządowych. W maju 2017 roku Komisja Europejska wystąpiła do Parlamentu z oficjalnym wnioskiem ustawodawczym nazwanym „Pakiet mobilności”. Ogólnym celem proponowanych zmian jest poprawa oraz wsparcie właściwego funkcjonowania jednolitego rynku transportu drogowego, a także jego efektywności i konkurencyjności. Szczególną uwagę zwraca się na równowagę pomiędzy bezpieczeństwem, sprawiedliwością społeczną, a zrównoważoną gospodarką. Rozporządzenie (WE) nr 1071/2009, które obejmuje założenia Pakietu mobilności, wprowadza zmiany dla przedsiębiorstw użytkujących pojazdy o DMC do 3,5 tony, które chcą uzyskać dostęp do zawodu przewoźnika drogowego. Obejmują one wprowadzenie obowiązku kontrolowania czasu pracy kierowcy za pomocą tachografów. Termin wprowadzenia zmian planowany jest na 1 stycznia 2026 r. W ciągu 21 miesięcy od daty publikacji pakietu mobilności przedsiębiorstwa transportowe użytkujące PS<sub>N1</sub>, będą miały obowiązek spełniania wszystkich wymogów dotyczących wykonywania zawodu przewoźnika drogowego, w tym m.in. posiadać licencję oraz zabezpieczenie finansowe na każdy pojazd. Założeniem pakietu mobilności jest przede wszystkim określenie wspólnych zasad i zbliżenie warunków konkurencji pomiędzy wszystkimi przewoźnikami, dlatego od momentu ujednolicenia regulacji prawnych z pewnością zmieni się specyfika użytkowania pojazdów dostawczych.

## **5. BADANIE PROCESU UŻYTKOWANIA PS<sub>N1</sub> W PRZEDSIĘBIORSTWACH TRANSPORTOWYCH**

### **5.1. Badanie cech techniczno-eksploatacyjnych opisujących proces użytkowania PS<sub>N1</sub>**

Identyfikacja i analiza rzeczywistej sytuacji eksploatacyjnej pojazdów dostawczych w przedsiębiorstwach transportowych, a także zastosowane metody, techniki i narzędzia badawcze pozwoliły na zidentyfikowanie zbioru istniejących danych opisujących proces użytkowania PS<sub>N1</sub> w wybranych przedsiębiorstwach transportowych.

Badanie cech techniczno-eksploatacyjnych, warunkujących proces użytkowania PS<sub>N1</sub>, przeprowadzono w dwóch etapach:

- Etap I dotyczył zgromadzenia ogólnych informacji ujętych w specyfikacjach technicznych pojazdów (tab. 5.1). Zbiór danych opisujących każdy pojazd przedstawiono w tab. 5.2. Informacje dotyczą: modelu, roku produkcji, masy własnej, dopuszczalnej masy ładunku, pojemności silnika, wartości przebiegu oraz wartości rynkowej pojazdu w momencie rozpoczęcia badań, a także wartości fabrycznego zużycia paliwa w cyklu mieszanym. Do przygotowania zbioru danych posłużyły dowody rejestracyjne pojazdów, instrukcje pojazdów, obserwacje uczestniczące oraz wywiady z księgowymi i zarządzającymi pojazdami.
- Etap II polegał na zestawieniu informacji opisujących proces realizacji zlecenia transportowego (tab. 5.3). Zbiór danych zawiera informacje dotyczące użytkowania i obsługi pojazdów, kosztów, przychodu i dochodu związanego z realizacją zlecenia transportowego. Zbiór danych został przygotowany w oparciu o informacje zawarte w zleceniach transportowych, książkach serwisowych, instrukcjach obsługi pojazdu. Dane zostały uzupełnione o informacje uzyskane podczas wywiadów z kierowcami, właścicielami przedsiębiorstw oraz księgowymi.

W ocenie autora przygotowany zbiór danych w procesie badawczym mógł posłużyć do rzetelnej oceny procesu użytkowania PS<sub>N1</sub> w przedsiębiorstwach transportowych.

Każde z 7 przedsiębiorstw transportowych stanowiących obiekt badań użytkuje określoną (od 2 do 7) liczbę pojazdów samochodowych kategorii N1. Są to pojazdy wyprodukowane w latach 2004-2011 przez 3 producentów (Renault, Fiat, Citroen), które obejmują 4 modele, tj.: Renault Master, Renault Mascott, Citroen Jumper i Fiat Ducato. Przebiegi początkowe

pojazdów w momencie rozpoczęcia badań kształtowały się na poziomie od 52 tys. km do 396 tys. km. Dopuszczalna ładowność pojazdów oscyluje w przedziale 720-1300 kg.

Przykładowy pojazd samochodowy kategorii N1, model Renault Master z nadwoziem typu chłodnia przedstawiono na rys. 5.1.



Rys. 5.1. Renault Master z nadwoziem typu chłodnia

Jest to pojazd typu chłodnia z kontenerem o zabudowie umożliwiającej utrzymywanie kontrolowanej temperatury w zakresie od  $-30$  do  $+30^{\circ}\text{C}$ . Na ścianie czołowej znajduje się agregat chłodniczy, pozwalający chłodzić lub ogrzewać kontener. Specyfikacja techniczna pojazdu przedstawionego na rys. 5.1 obejmuje jego poszczególne cechy zamieszczone w tab. 5.1.

Tab. 5.1. Specyfikacja techniczna Renault Master

<b>Rok produkcji</b>	2011 r.
<b>Przebieg</b>	203362 km
<b>Pojemność silnika</b>	2300 cm <sup>3</sup>
<b>Moc</b>	93 kW
<b>dł. x szer. x wys.</b>	4100 mm x 2130 mm x 2140 mm
<b>Typ nadwozia</b>	Chłodnia
<b>Skrzynia biegów</b>	Manualna
<b>Rodzaj paliwa</b>	Diesel
<b>Napęd</b>	Na tylną oś
<b>Ładowność</b>	1100 kg

<b>Dopuszczalna Masa Całkowita</b>	3500 kg
<b>Masa własna pojazdu</b>	2400 kg
<b>Rozstaw osi</b>	3450 mm
<b>Dopuszczalny nacisk na oś</b>	22,05 kN
<b>Wyposażenie dotyczące bezpieczeństwa</b>	ABS, Alarm, ASR (kontrola trakcji), Centralny zamek, Immobilizer, Poduszka powietrzna kierowcy, ESP
<b>Wyposażenie pozostałe</b>	CB radio, Komputer pokładowy, Podwójne tylne koła, Przesuwane drzwi, Tempomat, Winda
<b>Usytuowanie silnika</b>	Przed kabiną kierowcy

Zgodnie z etapem I prowadzonych badań w obszarze cech techniczno-eksploatacyjnych, warunkujących proces użytkowania  $PS_{N1}$ , na podstawie specyfikacji technicznych opracowano zbiór danych opisujących charakterystykę techniczną każdego obiektu badawczego (tab. 5.2).

Tab. 5.2. Charakterystyka techniczna pojazdów samochodowych kategorii N1

Nr pojazdu	Przedsiębiorstwo	Model pojazdu	Rok produkcji	Masa własna [kg]	Dopuszczalna ładowność [kg]	Pojemność silnika [dm <sup>3</sup> ]	Przebieg początkowy na dzień 1.01.2016 [km]	Wartość rynkowa pojazdu na dzień 1.01.2016 [zł]	Fabryczne zużycie paliwa w cyklu mieszanym [dm <sup>3</sup> /100km]
$P_1$	6	Renault Master	2011	2 400	1 100	2,3	59 255	29 400	12
$P_2$	7	Renault Master	2011	2 250	1 250	2,3	82 482	27 600	12
$P_3$	6	Renault Master	2011	2 400	1 100	2,3	203 362	26 400	12
$P_4$	6	Fiat Ducato	2011	2 270	1 230	3,0	396 725	30 600	13
$P_5$	1	Fiat Ducato	2011	2 200	1 300	2,3	220 603	30 000	11
$P_6$	1	Citroen Jumper	2011	2 550	950	2,2	168 803	26 400	12
$P_7$	3	Citroen Jumper	2011	2 200	1 300	2,2	160 848	30 240	12
$P_8$	1	Renault Master	2010	2 200	1 100	2,5	278 920	33 000	12
$P_9$	1	Renault Master	2010	2 300	1 200	2,3	141 440	35 400	12
$P_{10}$	3	Renault Master	2010	2 300	1 000	2,3	341 360	30 600	12
$P_{11}$	7	Fiat Ducato	2010	2 300	1 100	2,3	149 710	49 200	11

$P_{12}$	6	Citroen Jumper	2010	2 300	1 200	2,2	113 610	30 000	12
$P_{13}$	5	Renualt Mascott	2009	2 780	720	3,0	214 394	33 600	13
$P_{14}$	4	Renualt Mascott	2008	2 750	750	3,0	211 659	38 400	13
$P_{15}$	4	Renualt Mascott	2008	2 750	750	3,0	223 574	42 000	13
$P_{16}$	5	Renault Master	2007	2 500	1 000	2,5	168 068	19 800	12
$P_{17}$	4	Citroen Jumper	2007	2 350	1 150	2,2	167 483	25 200	12
$P_{18}$	5	Citroen Jumper	2007	2 300	1 200	2,2	52 083	36 000	12
$P_{19}$	5	Renualt Master	2006	2 500	1 000	2,3	170 930	28 800	12
$P_{20}$	5	Renualt Mascott	2006	2 750	750	3,0	261 380	27 000	13
$P_{21}$	2	Renault Master	2006	2 500	1 000	3,0	362 720	29 880	13
$P_{22}$	5	Renualt Mascott	2005	2 400	1 100	3,0	356 740	21 480	13
$P_{23}$	2	Renualt Mascott	2005	2 500	1 000	3,0	271 260	27 480	13
$P_{24}$	5	Renualt Mascott	2004	2 500	1 000	3,0	223 390	35 400	13

Każdy z pojazdów w okresie od 1.01.2016 r. do 31.12.2017 r. wykonywał usługi przewozowe na podstawie warunków, określonych w zleceniu transportowym. Każde zlecenie transportowe stanowi obserwację, która jest podstawą prowadzonych badań w zakresie oceny, a następnie modelowania procesu użytkowania  $PS_{N1}$ .

Zbiór danych, zgromadzonych podczas realizacji dwóch etapów zbierania informacji zawiera 13101 obserwacji stanowiących jednostkę analizy. Każda obserwacja opisana jest przez 34 zmienne, które zestawiono w 5 grupach:

1. Grupa ogólne: określa numer porządkowy badanego pojazdu, nr przedsiębiorstwa transportowego, datę realizacji zlecenia transportowego, model pojazdu, jego wiek i ładowność.
2. Grupa użytkowanie: wskazuje na warunki oraz intensywność użytkowania pojazdu w czasie realizacji zlecenia transportowego. Opisują ją zmienne: przebieg dzienny pojazdu, czas jazdy, czas pracy, czas postoju, zużycie paliwa, masa ładunku, współczynnik przeciążenia, sezonowość, cena jednostkowa, planowany przychód oraz cena za realizację usługi transportowej.



3. Grupa obsługiwanie: wskazuje na wykonanie poszczególnych czynności w zakresie obsługi okresowej tj. uzupełnianie płynów, kontrola ogumienia, kontrola hamulców, wskazuje również na moment wystąpienia awarii oraz określa jej rodzaj: pęknięta rama, awaria układu chłodniczego, hamulcowego, kierowniczego, awaria silnika i skrzyni biegów.
4. Grupa koszt realizacji zlecenia transportowego: określa koszty stałe i zmienne opisujące proces użytkowania oraz obsługiwanie, są to koszty napraw, przeglądu, paliwa, wynagrodzenia kierowcy, mandatów, amortyzacji, ubezpieczenia, opłat drogowych, środków czystości, wymiany opon oraz sumaryczny koszt realizacji zlecenia.
5. Grupa efektywność: informuje o uzyskanym dochodzie z realizacji zlecenia transportowego, określa wartość nadwyżki lub deficytu ekonomicznego uzyskanego w ramach realizacji zlecenia transportowego.

Zestawienie wybranych obserwacji wraz z opisującymi je zmiennymi zaprezentowano w tab. 5.3.

Tab. 5.3. Zestawienie wybranych obserwacji wraz z opisującymi je zmiennymi w podziale na grupy

Ogólne										Użytkowanie							Obsługiwanie					Koszt realizacji zlecenia transportowego										Efektywność	
Nr pojazdu [t]	Firma	Data realizacji zlecenia	Model	Wiek pojazdu [lata]	Ładowność [kg]	Przebieg dzienny [km]	Czas jazdy [h]	Czas pracy [h]	Czas postoju [h]	Zużycie paliwa [dm <sup>3</sup> /100 km]	Masa ładunku [kg]	Współczynnik przeciążenia [%]	Sezonowość	Cena jednostkowa [zł/km]	Planowany przychód [zł]	Cena za realizację usługi [zł]	Uzpełnienie płynów	Kontrola ogumienia	Kontrola hamulców	Awaria	Rodzaj awarii	Koszt napraw [zł]	Koszt przeglądu [zł]	Koszt paliwa [zł]	Koszt wynagrodzenia [zł]	Koszt mandatu [zł]	Koszt amortyzacji [zł]	Koszt ubezpieczenia [zł]	Koszt opłat drogowych [zł]	Koszt środków czystości [zł]	Koszt wymiany opon [zł]	Koszt realizacji zlecenia transportowego	Dochód [zł]
5		2018-01-02	Fiat Ducato	8	1300	500	10:00	11:00	01:00	15	1500	115,4%	dobry	1,20	600,00 zł	830,00 zł	brak	brak	brak	brak	brak	0,00 zł	10,00 zł	226 zł	187,00 zł	0 zł	30,14 zł	8,22 zł	120 zł	10,00 zł	10,96 zł	603 zł	510,00 zł
5		2018-01-03	Fiat Ducato	8	1300	350	07:00	08:00	01:00	14	1400	107,7%	dobry	1,43	500,00 zł	600,00 zł	brak	brak	brak	brak	brak	0,00 zł	10,00 zł	148 zł	187,00 zł	0 zł	30,14 zł	8,22 zł	50 zł	10,00 zł	10,96 zł	454 zł	320,00 zł
5		2018-01-04	Fiat Ducato	8	1300	400	08:00	09:00	01:00	14	1250	98,2%	dobry	1,50	600,00 zł	600,00 zł	brak	brak	brak	brak	brak	0,00 zł	10,00 zł	169 zł	187,00 zł	0 zł	30,14 zł	8,22 zł	50 zł	10,00 zł	10,96 zł	475 zł	310,00 zł
5		2018-01-05	Fiat Ducato	8	1300	500	10:00	11:00	01:00	15	1500	115,4%	dobry	1,00	500,00 zł	650,00 zł	brak	brak	brak	brak	brak	0,00 zł	10,00 zł	227 zł	187,00 zł	0 zł	30,14 zł	8,22 zł	50 zł	10,00 zł	10,96 zł	533 zł	300,00 zł
5		2018-01-06	Fiat Ducato	8	1300	400	08:00	08:00	00:00	15	1500	115,4%	dobry	1,25	500,00 zł	500,00 zł	brak	brak	brak	brak	brak	0,00 zł	10,00 zł	182 zł	187,00 zł	0 zł	30,14 zł	8,22 zł	50 zł	10,00 zł	10,96 zł	488 zł	170,00 zł
5		2018-01-07	Fiat Ducato	8	1300	300	06:00	07:00	01:00	18	1840	128,2%	dobry	1,67	500,00 zł	500,00 zł	brak	brak	brak	brak	brak	0,00 zł	10,00 zł	140 zł	187,00 zł	0 zł	30,14 zł	8,22 zł	50 zł	10,00 zł	10,96 zł	448 zł	210,00 zł
5		2018-01-08	Fiat Ducato	8	1300	430	08:36	09:38	01:00	14	1400	107,7%	dobry	1,16	500,00 zł	600,00 zł	brak	brak	brak	brak	brak	0,00 zł	10,00 zł	175 zł	187,00 zł	0 zł	30,14 zł	8,22 zł	120 zł	10,00 zł	10,96 zł	551 zł	280,00 zł
5		2018-01-09	Fiat Ducato	8	1300	300	05:12	06:12	01:00	13	1200	92,3%	dobry	2,00	600,00 zł	650,00 zł	brak	brak	brak	brak	brak	0,00 zł	10,00 zł	113 zł	187,00 zł	0 zł	30,14 zł	8,22 zł	120 zł	10,00 zł	10,96 zł	489 zł	430,00 zł
5		2018-01-10	Fiat Ducato	8	1300	350	09:00	10:00	01:00	13	1800	138,5%	dobry	1,71	600,00 zł	600,00 zł	brak	brak	brak	brak	brak	0,00 zł	10,00 zł	131 zł	187,00 zł	0 zł	30,14 zł	8,22 zł	120 zł	10,00 zł	10,96 zł	507 zł	290,00 zł
5		2018-01-11	Fiat Ducato	8	1300	500	08:00	09:00	01:00	13	1200	92,3%	dobry	1,00	500,00 zł	650,00 zł	brak	brak	brak	brak	brak	0,00 zł	10,00 zł	187 zł	187,00 zł	0 zł	30,14 zł	8,22 zł	120 zł	10,00 zł	10,96 zł	563 zł	320,00 zł
5		2018-01-12	Fiat Ducato	8	1300	300	09:00	10:00	01:00	15	1550	119,2%	dobry	1,67	500,00 zł	600,00 zł	brak	brak	brak	brak	brak	0,00 zł	10,00 zł	130 zł	187,00 zł	0 zł	30,14 zł	8,22 zł	120 zł	10,00 zł	10,96 zł	506 zł	340,00 zł
5		2018-01-13	Fiat Ducato	8	1300	500	08:50	09:25	00:35	15	1500	115,4%	dobry	1,00	500,00 zł	650,00 zł	brak	brak	brak	brak	brak	0,00 zł	10,00 zł	215 zł	187,00 zł	0 zł	30,14 zł	8,22 zł	120 zł	10,00 zł	10,96 zł	582 zł	300,00 zł

Opis i charakterystykę zmiennych techniczno-eksploatacyjnych przypisanych do poszczególnych grup, opisujących daną obserwację zestawiono w tab. 5.4.

Tab. 5.4. Charakterystyka zmiennych techniczno-eksploatacyjnych procesu użytkowania  $PS_{N1}$

Lp.	Nazwa zmiennej	Oznaczenie	Etykieta/ jednostka	Opis
<b>Ogólne</b>				
1	Nr pojazdu	$L_p$	Liczba [lp]	Liczba porządkowa przypisana każdemu obiektowi badawczemu
2	Firma	$F_p$	Liczba [lp]	Liczba porządkowa określająca dane przedsiębiorstwo transportowe
3	Data realizacji zlecenia	$D_p$	Format daty rrrr-mm-dd	Data realizacji zlecenia transportowego tj. data obserwacji
4	Model pojazdu	$M_p$	Rodzaj modelu	Rodzaj modelu: dane obejmują obserwacje dla 4 modeli: Renault Master <i>RM</i> , Renault Mascott <i>RS</i> , Fiat Ducato <i>FD</i> , Citroen Jumper <i>CJ</i>
5	Wiek pojazdu	$W_p$	Liczba lat	Wiek pojazdu określony na podstawie różnicy roku analizowania danych, a rokiem produkcji pojazdu
6	Ładowność pojazdu	$\xi_p$	[kg]	Ładowność pojazdu określona na podstawie specyfikacji technicznej, informuje o maksymalnej masie ładunku, jaką może przewozić dany pojazd
<b>Użytkowanie</b>				
7	Przebieg dzienny	$P_u$	[km]	Liczba kilometrów przebyta w ramach realizacji danego zlecenia transportowego
8	Czas jazdy	$J_u$	[h]	Czas jazdy kierowcy nie uwzględniający postojów, przerw, innej pracy (załadunki, rozładunki)
9	Czas pracy	$C_u$	[h]	Czas pracy kierowcy uwzględniający czas jazdy, postojów, przerw i innej pracy (załadunki, rozładunki)
10	Czas postoju	$T_u$	[h]	Czas postoju kierowcy uwzględniający postój, przerwy i inną pracę (załadunki, rozładunki)
11	Zużycie paliwa	$S_u$	[dm <sup>3</sup> /100 km]	Zużycie paliwa w dm <sup>3</sup> na 100 km
12	Masa ładunku	$M_u$	[kg]	Masa zleconego i transportowanego ładunku
13	Współczynnik przeciążenia	$W_u$	[%]	Wielkość liczbowa wyrażona w procentach określająca relacje $\frac{M_u}{\xi_p}$
14	Sezonowość	$Z_u$	Format 0; 0,5; 1	Określa okresy zidentyfikowane w firmie handlowej, charakteryzujące specyfikę transportowanych produktów FMCG. 0 – sezon dobry, w którym odnotowuje się największą sprzedaż produktów, przypada na miesiące: 10; 11; 12; 1; 0,5 – sezon średni, w którym odnotowuje się średnią sprzedaż produktów, przypada na miesiące: 2; 3; 4; 5; 1 – sezon zły, w którym odnotowuje się najmniejszą sprzedaż produktów, przypada na miesiące: 6; 7; 8; 9
15	Cena jednostkowa	$K_u$	[zł/km]	Cena jednostkowa wyrażona w zł/km określona w zleceniu transportowym

16	Planowany przychód	$P_r$	[zł]	Planowana wartość przychodu określona na podstawie ceny jednostkowej wyrażonej w zł/km określonej w zleceniu transportowym oraz planowanego przebiegu dziennego
17	Cena usługi transportowej	$R_u$	[zł]	Cena za realizację usługi obejmująca zdarzenia losowe
<b>Obsługiwanie</b>				
18	Uzupełnienie płynów	$P_o$	Format 0; 1	Określa czy przed realizacją zlecenia transportowego dokonano obsługi dziennej: 1 – tak; 0 – nie
19	Kontrola ogumienia	$K_o$	Format 0; 1	Określa czy przed realizacją zlecenia transportowego dokonano obsługi dziennej: 1 – tak; 0 – nie
20	Kontrola hamulców	$H_o$	Format 0; 1	Określa czy przed realizacją zlecenia transportowego dokonano obsługi dziennej: 1 – tak; 0 – nie
21	Awaria	$A_o$	Format 0; 1	Oznacza wystąpienie awarii: 1 – tak; 0 – nie
22	Rodzaj awarii	$R_o$	Rodzaj	Określa obszary w których nastąpiła awaria: pęknięta rama, układ chłodniczy, układ hamulcowy, układ kierowniczy, silnik i skrzynia biegów
<b>Koszt realizacji zlecenia transportowego</b>				
23	Koszt napraw	$N_k$	[zł]	Koszt określający wartość wykonanej naprawy
24	Koszt przeglądu	$R_k$	[zł]	Koszt określający wartość wykonania usługi przeglądu
25	Koszt paliwa	$P_k$	[zł]	Koszt określający wartość zużytego paliwa na realizację danego zlecenia transportowego
26	Koszt wynagrodzenia	$W_k$	[zł]	Koszt określający wartość wynagrodzenia kierowcy realizującego dane zlecenie transportowe
27	Koszt mandatu	$B_k$	[zł]	Koszt nałożonego podczas kontroli drogowej mandatu za wykroczenia drogowe
28	Koszt amortyzacji	$A_k$	[zł]	Koszt określający wartość stopniowego zużywania się pojazdu
29	Koszt ubezpieczenia	$U_k$	[zł]	Koszt określający wartość opłaty ubezpieczeniowej pojazdu
30	Koszt opłat drogowych	$D_k$	[zł]	Koszt opłat za przejazd drogami płatnymi, parkingi, postoje
31	Koszt środków czystości	$C_k$	[zł]	Koszt określający wartość środków zakupionych na utrzymanie czystości w pojeździe
32	Koszt wymiany opon	$O_k$	[zł]	Koszt określający wartość wykonania usługi wymiany opon
33	Koszt realizacji zlecenia transportowego	$K_k$	[zł]	Sumaryczny koszt realizacji zlecenia transportowego
<b>Efektywność</b>				
34	Dochód	$D_u$	[zł]	Wartość nadwyżki/deficytu ekonomicznego uzyskanego w ramach realizacji zlecenia transportowego

Identyfikacja 34 zmiennych stanowi zbiór cech ilościowych i jakościowych, które przedstawiają istotną właściwość badanego zjawiska. Celem użytkowania badanych  $PS_{N1}$  jest założony (zawsze subiektywnie oceniany) poziom efektywności ekonomicznej, świadczący o rentowności przedsiębiorstwa. W dalszej części rozprawy przeprowadzona zostanie statystyka opisowa dla określonych zmiennych, analiza struktury zbioru danych poprzez zbadanie rozkładów empirycznych każdej zmiennej, odkrywanie i badanie zależności występujących pomiędzy zmiennymi oraz testowanie hipotez statystycznych. W efekcie działania te mają doprowadzić do zbudowania takiego modelu, który stanowić będzie wsparcie w podejmowaniu decyzji dotyczących racjonalnego zarządzania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych.

## **5.2. Badanie efektywności użytkowania $PS_{N1}$ w przedsiębiorstwach transportowych**

Sposób użytkowania pojazdów dostawczych, przyjęta strategia eksploatacji oraz specyfika przedsiębiorstwa mają istotny wpływ na efektywność jego działalności gospodarczej. Prawidłowe zarządzanie eksploatacją pojazdów ma na celu podniesienie ich sprawności technicznej, niezbędnej do realizacji zadań oraz spowalniania procesu starzenia fizycznego. Mając na uwadze różnorodność badanych obiektów, zdefiniowane zostały współczynniki eksploatacyjne, za pomocą których dokonano oceny efektywności eksploatacji każdego pojazdu. Opracowane wyniki badań dla 24 pojazdów zestawiono w tab. 5.5 i dokonano ich analizy w odniesieniu do każdego przedsiębiorstwa transportowego (tab.5.6).

Badanie efektywności użytkowania  $PS_{N1}$  przeprowadzono na podstawie zdefiniowanych współczynników:

### **Współczynnik wykorzystania czasu pracy pojazdu $E_1$ :**

$$E_1 = \frac{C_{u1}}{E_w} \cdot 100 \quad (5.1)$$

gdzie:

$C_{u1}$  – całkowity czas pracy pojazdu [h];

$E_w$  – maksymalny, całkowity czas pracy pojazdu [h].

Dla badanego okresu przyjęto, że maksymalny, całkowity czas pracy pojazdu wynosi 5463 h przy założeniu, że pojazdy nie wykonują przewozów w niedzielę i święta oraz ich maksymalny, dzienny czas pracy wynosi 9 h.

**Współczynnik efektywnej pracy pojazdu  $E_2$ :**

$$E_2 = \frac{J_{u1}}{C_{u1}} \cdot 100 \quad (5.2)$$

gdzie:

$J_{u1}$  – całkowity czas jazdy pojazdu [h].

**Współczynniki intensywności użytkowania pojazdu  $E_3, E_4$ :**

$$E_3 = \frac{P_{u1}}{J_{u1}} \quad (5.3)$$

gdzie:

$P_{u1}$  – całkowity zrealizowany przebieg pojazdu [km].

$$E_4 = \frac{M_{u1}}{P_{u1}} \quad (5.4)$$

gdzie:

$M_{u1}$  – całkowita przewieziona masa ładunku [t].

**Współczynnik gotowości technicznej pojazdu  $E_5$ :**

$$E_5 = \frac{C_{u1}}{C_{u1} + C_{NZ}} \quad (5.5)$$

gdzie:

$C_{NZ}$  – całkowity czas niezdatności pojazdu do pracy [h].

Dla pojazdów przebywających w naprawie po wystąpieniu awarii określono całkowity czas niezdatności pojazdu do pracy zgodnie ze wzorem  $C_{NZ} = L_{d1} \cdot L_{zt}$ , gdzie:  $L_{d1}$  – liczba dni w których pojazd przebywa w naprawie,  $L_{zt}$  – średni czas trwania zlecenia transportowego.

**Współczynnik wykorzystania potencjału użytkowego pojazdu  $E_6$ :**

$$E_6 = \frac{P_{r2}}{R_d} \quad (5.6)$$

gdzie:

$P_{r2}$  – przebieg końcowy pojazdu [km];

$R_d$  – resurs docelowy [km].

Zgodnie z informacjami zawartymi w Katalogu Norm Eksploatacji Techniki Lądowej docelowa norma eksploatacji dla pojazdów dostawczych wynosi 15 lat lub 450 000 km [92].

**Współczynnik efektywności ekonomicznej pojazdu  $E_7$ :**

$$E_7 = \frac{D_{u1}}{M_{u1} \cdot P_{u1}} \quad (5.7)$$

gdzie:

$D_{u1}$  – całkowity uzyskany dochód [h].

Na podstawie wybranych zmiennych przedstawionych w tab. 5.5 scharakteryzowano proces użytkowania każdego pojazdu w badanym zakresie czasowym. Przedstawiony zbiór zmiennych obejmuje:

- $M_p$  – model pojazdu [RM, RS, FD, CJ];
- $R_p$  – rok produkcji [rok];
- $P_{r1}$  – przebieg początkowy pojazdu [km];
- $P_{u1}$  – całkowity zrealizowany przebieg pojazdu [km];
- $P_{r2}$  – przebieg końcowy pojazdu [km];
- $L_z$  – liczba zleceń [lp];
- $L_{zt}$  – średni czas trwania zlecenia [h];
- $W_{u1}$  – średnia wartość współczynnika przeciążenia [%];
- $M_{u1}$  – całkowita przewieziona masa ładunku [t];
- $C_{u1}$  – całkowity czas pracy pojazdu [h];
- $J_{u1}$  – całkowity czas jazdy pojazdu [h];
- $T_{u1}$  – całkowity czas postoju pojazdu [h];
- $C_{NZ}$  – całkowity czas niezdatności pojazdu do pracy [h];
- $D_{u1}$  – całkowity dochód [zł].

Zbiór danych przedstawiający wartości zmiennych w ujęciu całościowym stanowi podstawę do analizy i porównania efektywności procesu użytkowania w odniesieniu do każdego pojazdu, a następnie co zaprezentowano w tab. 5.6 do przeprowadzenia analizy porównawczej przedsiębiorstw transportowych.

Tab. 5.5. Zbiór zmiennych techniczno-eksploatacyjnych stanowiących podstawę do badań efektywności użytkowania PS<sub>NI</sub>

Nr pojazdu [lp]	Model pojazdu	Rok produkcji [rok]	Przebieg początkowy [km]	Zrealizowany przebieg [km]	Przebieg końcowy [km]	Liczba zleceń [lp]	Średni czas trwania zlecenia [h]	Średnia wartość współczynnika przeciążenia [%]	Całkowita przewieziona masa ładunku [t]	Całkowiwy czas pracy pojazdu [h]	Całkowiwy czas jazdy pojazdu [h]	Całkowiwy czas postoju [h]	Czas niezdatności pojazdu [h]	Całkowiwy dochód [zł]
1	RM	2011	59 255	204 498	263 753	598	7,84	133	871	4688,95	4165,10	523,85	94,09	189 043
2	RM	2011	82 482	211 679	294 161	609	7,88	131	997	4798,65	4313,98	484,67	0	184 555
3	RM	2011	203 362	205 555	408 917	590	7,78	150	975	4591,72	4120,60	471,12	85,61	161 585
4	FD	2011	396 725	216 755	613 480	579	8,59	136	966	4973,03	4335,73	637,30	154,60	169 659
5	FD	2011	220 603	228 749	449 352	548	9,35	132	942	5125,50	4530,60	594,90	280,59	154 614
6	CJ	2011	168 803	239 924	408 727	594	9,06	170	960	5380,90	4720,08	660,82	36,24	197 671
7	CJ	2011	160 848	299 264	460 112	537	12,44	137	953	6681,60	5960,20	721,40	435,49	107 835
8	RM	2010	278 920	282 040	560 960	553	11,74	141	858	6490,37	5640,80	849,57	199,52	145 300
9	RM	2010	141 440	259 790	401 230	573	10,70	128	878	6129,22	5195,80	933,42	64,18	165 414
10	RM	2010	341 360	206 100	547 460	574	8,85	130	745	5079,50	4122,00	957,50	0	129 020
11	FD	2010	149 710	206 090	355 800	562	8,90	157	970	5000,80	4121,80	879,00	0	95 862
12	CJ	2010	113 610	205 950	319 560	563	8,87	115	779	4993,27	4117,60	875,67	58,51	103 611
13	RS	2009	214 394	209 055	423 449	520	9,26	104	391	4812,92	4279,88	533,03	0	101 068
14	RS	2008	211 659	203 437	415 096	518	8,91	101	392	4613,65	4181,63	432,02	0	122 960
15	RS	2008	223 574	186 852	410 426	516	8,22	101	391	4239,10	3742,40	496,70	0	111 207
16	RM	2007	168 068	203 864	371 932	518	8,95	106	594	4636,63	4081,83	554,80	0	130 519
17	CJ	2007	167 483	225 034	392 517	522	9,88	105	630	5157,13	4525,73	631,40	0	141 865
18	CJ	2007	52 083	211 834	263 917	518	9,55	105	653	4945,43	4356,37	589,07	0	170 397
19	RM	2006	170 930	256 050	426 980	518	11,19	106	547	5797,53	5168,13	629,40	0	127 761
20	RS	2006	261 380	217 240	478 620	520	10,21	113	439	5307,93	4537,53	770,40	0	132 412
21	RM	2006	362 720	194 560	557 280	520	9,58	117	608	4979,37	4061,70	917,67	0	126 725
22	RS	2005	356 740	186 520	543 260	524	9,03	107	618	4730,90	3830,90	900,00	0	128 662
23	RS	2005	271 260	216 430	487 690	514	9,90	109	560	5088,37	4284,20	804,17	0	146 642
24	RS	2004	223 390	172 870	396 260	513	8,61	109	559	4415	3532,00	883,00	0	112 291



Na podstawie zbioru zmiennych techniczno-eksploatacyjnych zamieszczonych w tab. 5.5 zdefiniowano siedem współczynników:  $E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7$ , których wartości dla każdego pojazdu przedstawiono w tab. 5.6.

Tab. 5.6. Zestawienie współczynników efektywności użytkowania PS<sub>N1</sub>

Nr pojazdu [lp]	Współczynnik wykorzystania czasu pracy pojazdu [%]	Współczynnik efektywnej pracy pojazdu [%]	Współczynnik intensywności użytkowania [km/h]	Współczynnik intensywności użytkowania [t/km]	Współczynnik gotowości technicznej pojazdu	Współczynnik wykorzystania potencjału użytkowego [%]	Współczynnik efektywności ekonomicznej [zł/tkm]
1	86%	89%	49,10	0,0043	0,98	59%	0,00106
2	88%	90%	49,07	0,0047	1,00	65%	0,00087
3	84%	90%	49,88	0,0047	0,98	91%	0,00081
4	91%	87%	49,99	0,0045	0,97	136%	0,00081
5	94%	88%	50,49	0,0041	0,95	100%	0,00072
6	98%	88%	50,83	0,0040	0,99	91%	0,00086
7	122%	89%	50,21	0,0032	0,94	102%	0,00038
8	119%	87%	50,00	0,0030	0,97	125%	0,00060
9	112%	85%	50,00	0,0034	0,99	89%	0,00073
10	93%	81%	50,00	0,0036	1,00	122%	0,00084
11	92%	82%	50,00	0,0047	1,00	79%	0,00048
12	91%	82%	50,02	0,0038	0,99	71%	0,00065
13	88%	89%	48,85	0,0019	1,00	94%	0,00124
14	84%	91%	48,65	0,0019	1,00	92%	0,00154
15	78%	88%	49,93	0,0021	1,00	91%	0,00152
16	85%	88%	49,94	0,0029	1,00	83%	0,00108
17	94%	88%	49,72	0,0028	1,00	87%	0,00100
18	91%	88%	48,63	0,0031	1,00	59%	0,00123
19	106%	89%	49,54	0,0021	1,00	95%	0,00091
20	97%	85%	47,88	0,0020	1,00	106%	0,00139
21	91%	82%	47,90	0,0031	1,00	124%	0,00107
22	87%	81%	48,69	0,0033	1,00	121%	0,00112
23	93%	84%	50,52	0,0026	1,00	108%	0,00121
24	81%	80%	48,94	0,0032	1,00	88%	0,00116

Analiza współczynników efektywności użytkowania w odniesieniu do każdego pojazdu wykazała, że:

- wartość współczynnika wykorzystania czasu pracy  $E_1 > 100\%$  dla pojazdów 7, 8 i 9, oznacza, że pojazdy te pracują ponadnormatywnie w odniesieniu do czasu pracy;
- wartości współczynnika efektywnej pracy  $E_2$  dla wszystkich pojazdów mieści się w przedziale 80% – 91%, co oznacza, że postoje (przerwy, przestoje na załadunku, rozładunku, na trasie) stanowią od 9% do 20% czasu pracy pojazdów;
- współczynnik intensywności użytkowania  $E_3$  dla wszystkich pojazdów przyjmuje wartości w zakresie 47,90 – 50,83, najniższe wartości odnotowano dla pojazdu 20 – 47,88 i 21 – 47,90, najwyższe wartości dla pojazdu 5 – 50,49 i 6 – 50,83;
- najniższe wartości współczynnika intensywności użytkowania  $E_4 = 0,0019$ , odnotowano dla pojazdu 13 i 14, a najwyższe  $E_4 = 0,0047$  dla pojazdów 2,3,11;
- dla 9 pojazdów współczynnik gotowości technicznej  $E_5$  mieścił się w przedziale 0,94 – 0,99, dla pozostałych pojazdów  $E_5 = 1$ , najniższą wartość  $E_5 = 0,94$  wykazano dla pojazdu 7, kolejno  $E_5 = 0,95$  dla pojazdu ;
- wartość współczynnika wykorzystania potencjału użytkowego  $E_6 > 100\%$  dla pojazdów 4, 7, 8, 10, 22, 21, 22, 23, oznacza, że pojazdy wykorzystywały swój potencjał użytkowy w odniesieniu do docelowego ресурсu określonego w Katalogu Norm Eksploatacji Techniki Lądowej. Najniższą wartość  $E_6 = 59\%$  odnotowano dla pojazdu 1 i 18, które charakteryzowały się najniższymi przebiegami początkowymi;
- najwyższą wartość współczynnika efektywności ekonomicznej  $E_7 = 0,00154$  odnotowano dla pojazdu 14, który ma również najwyższą wartość  $E_2$  i najniższą  $E_4$ . Najniższą wartość  $E_7 = 0,00038$  przyjmuje pojazd 7, dla którego współczynnik gotowości technicznej  $E_5$  był na najniższym poziomie;
- dla pojazdów zdefiniowanych w trzech grupach w zależności od przebiegów początkowych, zaobserwowano następujące wartości współczynników:
  - **$P_{r1} < 150\ 000\ \text{km}$ :**  
 $E_1 = 93\%$ ,  $E_2 = 86\%$ ,  $E_3 = 49,47$ ,  $E_4 = 0,0040$ ,  $E_5 = 0,99$ ,  $E_6 = 70\%$ ,  $E_7 = 0,00084$ ;
  - **$150\ 000\ \text{km} < P_{r1} < 250\ 000\ \text{km}$ :**  
 $E_1 = 92\%$ ,  $E_2 = 88\%$ ,  $E_3 = 49,73$ ,  $E_4 = 0,0030$ ,  $E_5 = 0,99$ ,  $E_6 = 92\%$ ,  $E_7 = 0,00102$ ;
  - **$P_{r1} > 250\ 000\ \text{km}$ :**  
 $E_1 = 96\%$ ,  $E_2 = 84\%$ ,  $E_3 = 49,28$ ,  $E_4 = 0,0032$ ,  $E_5 = 0,99$ ,  $E_6 = 120\%$ ,  $E_7 = 0,00101$ ;

- dla pojazdów zdefiniowanych w trzech grupach w zależności od roku produkcji zaobserwowano następujące wartości współczynników:
  - **2004 r. – 2006 r.:**  
 $E_1 = 92\%$ ,  $E_2 = 84\%$ ,  $E_3 = 48,91$ ,  $E_4 = 0,0027$ ,  $E_5 = 1$ ,  $E_6 = 107\%$ ,  $E_7 = 0,00114$ ;
  - **2007 r. – 2009 r.:**  
 $E_1 = 87\%$ ,  $E_2 = 89\%$ ,  $E_3 = 49,29$ ,  $E_4 = 0,0024$ ,  $E_5 = 1$ ,  $E_6 = 84\%$ ,  $E_7 = 0,00127$ ;
  - **2010 r. – 2011 r.:**  
 $E_1 = 98\%$ ,  $E_2 = 87\%$ ,  $E_3 = 49,97$ ,  $E_4 = 0,0040$ ,  $E_5 = 0,98$ ,  $E_6 = 94\%$ ,  $E_7 = 0,00073$ ;
- dla pojazdów zdefiniowanych w czterech grupach w zależności od modelu pojazdu, zaobserwowano następujące wartości współczynników:
  - **Renault Master:**  
 $E_1 = 96\%$ ,  $E_2 = 87\%$ ,  $E_3 = 49,49$ ,  $E_4 = 0,0035$ ,  $E_5 = 0,99$ ,  $E_6 = 95\%$ ,  $E_7 = 0,00089$ ;
  - **Renault Mascott:**  
 $E_1 = 87\%$ ,  $E_2 = 86\%$ ,  $E_3 = 49,06$ ,  $E_4 = 0,0024$ ,  $E_5 = 1$ ,  $E_6 = 100\%$ ,  $E_7 = 0,00131$ ;
  - **Fiat Ducato:**  
 $E_1 = 92\%$ ,  $E_2 = 86\%$ ,  $E_3 = 50,16$ ,  $E_4 = 0,0044$ ,  $E_5 = 0,97$ ,  $E_6 = 105\%$ ,  $E_7 = 0,00067$ ;
  - **Citroen Jumper:**  
 $E_1 = 99\%$ ,  $E_2 = 87\%$ ,  $E_3 = 49,88$ ,  $E_4 = 0,0034$ ,  $E_5 = 0,98$ ,  $E_6 = 82\%$ ,  $E_7 = 0,00082$

Podjmując próbę oceny efektywności procesu użytkowania  $PS_{NI}$  w przedsiębiorstwach transportowych dokonano analizy porównawczej w odniesieniu do wartości współczynników dla każdego przedsiębiorstwa. Wyniki przedstawiono w tab. 5.7.

Tab. 5.7. Zestawienie współczynników efektywności użytkowania PS<sub>NI</sub> w odniesieniu do każdego przedsiębiorstwa transportowego

Firma	Nr pojazdu	Model pojazdu	Rok produkcji	Liczba zleceń	Średnia wartość współczynnika przeciążenia [%]	Średni czas trwania zlecenia [h]	Współczynnik wykorzystania czasu pracy pojazdu [%]	Współczynnik efektywnej pracy pojazdu [%]	Współczynnik intensywności użytkowania [km/h]	Współczynnik intensywności użytkowania [t/km]	Współczynnik gotowości technicznej pojazdów	Współczynnik wykorzystania potencjału użytkowego [%]	Współczynnik efektywności ekonomicznej [zł/tkm]
1	5	FD	2011	548	132	9,35	94%	88%	50,49	0,0041	0,95	100%	0,00072
1	6	CJ	2011	594	170	9,06	98%	88%	50,83	0,0040	0,99	91%	0,00086
1	8	RM	2010	553	141	11,74	119%	87%	50,00	0,0030	0,97	125%	0,00060
1	9	RM	2010	573	128	10,70	112%	85%	50,00	0,0034	0,99	89%	0,00073
					<b>143</b>	<b>10,21</b>	<b>106%</b>	<b>87%</b>	<b>50,33</b>	<b>0,00364</b>	<b>0,98</b>	<b>101%</b>	<b>0,00073</b>
Firma	Nr pojazdu	Model pojazdu	Rok produkcji	Liczba zleceń	Średnia wartość współczynnika przeciążenia [%]	Średni czas trwania zlecenia [h]	Współczynnik wykorzystania czasu pracy pojazdu [%]	Współczynnik efektywnej pracy pojazdu [%]	Współczynnik intensywności użytkowania [km/h]	Współczynnik intensywności użytkowania [t/km]	Współczynnik gotowości technicznej pojazdów	Współczynnik wykorzystania potencjału użytkowego [%]	Współczynnik efektywności ekonomicznej [zł/tkm]
2	21	RM	2006	520	117	9,58	91%	82%	47,90	0,0031	1	124%	0,00107
2	23	RS	2005	514	109	9,90	93%	84%	50,52	0,0026	1	133%	0,00121
					<b>113</b>	<b>9,74</b>	<b>92%</b>	<b>83%</b>	<b>49,21</b>	<b>0,0029</b>	<b>1</b>	<b>128%</b>	<b>0,00114</b>
Firma	Nr pojazdu	Model pojazdu	Rok produkcji	Liczba zleceń	Średnia wartość współczynnika przeciążenia [%]	Średni czas trwania zlecenia [h]	Współczynnik wykorzystania czasu pracy pojazdu [%]	Współczynnik efektywnej pracy pojazdu [%]	Współczynnik intensywności użytkowania [km/h]	Współczynnik intensywności użytkowania [t/km]	Współczynnik gotowości technicznej pojazdów	Współczynnik wykorzystania potencjału użytkowego [%]	Współczynnik efektywności ekonomicznej [zł/tkm]
3	7	CJ	2011	537	137	12,44	122%	89%	50,21	0,0032	0,94	116%	0,00038
3	10	RM	2010	574	130	8,85	93%	81%	50,00	0,0036	1,00	122%	0,00084
					<b>133</b>	<b>10,646</b>	<b>108%</b>	<b>85%</b>	<b>50,105</b>	<b>0,0034</b>	<b>0,97</b>	<b>119%</b>	<b>0,00061</b>

Firma	Nr pojazdu	Model pojazdu	Rok produkcji	Liczba zleceń	Średnia wartość współczynnika przeciążenia [%]	Średni czas trwania zlecenia [h]	Współczynnik wykorzystania czasu pracy pojazdu [%]	Współczynnik efektywnej pracy pojazdu [%]	Współczynnik intensywności użytkowania [km/h]	Współczynnik intensywności użytkowania [t/km]	Współczynnik gotowości technicznej pojazdów	Współczynnik wykorzystania potencjału użytkowego [%]	Współczynnik efektywności ekonomicznej [zł/tkm]
4	14	RS	2008	518	101	8,91	84%	91%	48,65	0,0019	1	91%	0,00154
4	15	RS	2008	516	101	8,22	78%	88%	49,93	0,0021	1	85%	0,00152
4	17	CJ	2007	522	105	9,88	94%	88%	49,72	0,0028	1	89%	0,00100
					<b>102</b>	<b>9,00</b>	<b>85%</b>	<b>89%</b>	<b>49,43</b>	<b>0,0023</b>	<b>1</b>	<b>88%</b>	<b>0,00135</b>

Firma	Nr pojazdu	Model pojazdu	Rok produkcji	Liczba zleceń	Średnia wartość współczynnika przeciążenia [%]	Średni czas trwania zlecenia [h]	Współczynnik wykorzystania czasu pracy pojazdu [%]	Współczynnik efektywnej pracy pojazdu [%]	Współczynnik intensywności użytkowania [km/h]	Współczynnik intensywności użytkowania [t/km]	Współczynnik gotowości technicznej pojazdów	Współczynnik wykorzystania potencjału użytkowego [%]	Współczynnik efektywności ekonomicznej [zł/tkm]
5	13	RS	2009	520	104	9,26	88%	89%	48,85	0,0019	1	93%	0,00124
5	16	RM	2007	518	106	8,95	85%	88%	49,94	0,0029	1	81%	0,00108
5	18	CJ	2007	518	105	9,55	91%	88%	48,63	0,0031	1	62%	0,00123
5	19	RM	2006	518	106	11,19	106%	89%	49,54	0,0021	1	99%	0,00091
5	20	RS	2006	520	113	10,21	97%	85%	47,88	0,0020	1	111%	0,00139
5	22	RS	2005	524	107	9,03	87%	81%	48,69	0,0033	1	141%	0,00112
5	24	RS	2004	513	109	8,61	81%	80%	48,94	0,0032	1	107%	0,00116
					<b>107</b>	<b>9,54</b>	<b>91%</b>	<b>86%</b>	<b>48,92</b>	<b>0,0027</b>	<b>1</b>	<b>99%</b>	<b>0,00116</b>

Firma	Nr pojazdu	Model pojazdu	Rok produkcji	Liczba zleceń	Średnia wartość współczynnika przeciążenia [%]	Średni czas trwania zlecenia [h]	Współczynnik wykorzystania czasu pracy pojazdu [%]	Współczynnik efektywnej pracy pojazdu [%]	Współczynnik intensywności użytkowania [km/h]	Współczynnik intensywności użytkowania [t/km]	Współczynnik gotowości technicznej pojazdów	Współczynnik wykorzystania potencjału użytkowego [%]	Współczynnik efektywności ekonomicznej [zł/tkm]
6	1	RM	2011	598	133	7,84	86%	89%	49,10	0,0043	0,98	57%	0,00106
6	3	RM	2011	590	150	7,78	84%	90%	49,88	0,0047	0,98	82%	0,00081
6	4	FD	2011	579	136	8,59	91%	87%	49,99	0,0045	0,97	132%	0,00081
6	12	CJ	2010	563	115	8,87	91%	82%	50,02	0,0038	0,99	70%	0,00065
					<b>133</b>	<b>8,27</b>	<b>88%</b>	<b>87%</b>	<b>49,75</b>	<b>0,0043</b>	<b>0,98</b>	<b>85%</b>	<b>0,00083</b>

Firma	Nr pojazdu	Model pojazdu	Rok produkcji	Liczba zleceń	Średnia wartość współczynnika przeciążenia [%]	Średni czas trwania zlecenia [h]	Współczynnik wykorzystania czasu pracy pojazdu [%]	Współczynnik efektywnej pracy pojazdu [%]	Współczynnik intensywności użytkowania [km/h]	Współczynnik intensywności użytkowania [t/km]	Współczynnik gotowości technicznej pojazdów	Współczynnik wykorzystania potencjału użytkowego [%]	Współczynnik efektywności ekonomicznej [zł/tkm]
7	2	RM	2011	609	131	7,88	88%	90%	49,07	0,0047	1	57%	0,00087
7	11	FD	2010	562	157	8,90	92%	82%	50,00	0,0047	1	79%	0,00048
					<b>144</b>	<b>8,39</b>	<b>90%</b>	<b>86%</b>	<b>49,53</b>	<b>0,0047</b>	<b>1</b>	<b>68%</b>	<b>0,00068</b>

Przeprowadzona analiza efektywności użytkowania pojazdów w przedsiębiorstwach transportowych wykazała, że:

- firma 1 posiadająca 4 różnorodne pojazdy osiągnęła najwyższą wartość współczynnika intensywności  $E_3 = 50,33$  dla następujących wartości poszczególnych zmiennych: średnia wartość przebiegu początkowego  $P_{r1} = 202\,442$  km, całkowita przewieziona masa ładunku  $M_{u1} = 3\,638$  t, średnia wartość współczynnika przeciążenia  $W_{u1} = 143\%$ , całkowita wartość dochodu  $D_{u1} = 662\,999$  zł, zrealizowany przebieg  $P_{u1} = 1\,010\,503$  km;
- firma 2 posiadająca najstarszą flotę składającą się z dwóch różnorodnych pojazdów osiągnęła najniższą wartość współczynnika efektywnej pracy pojazdu  $E_2 = 83\%$  oraz najwyższą wartość współczynnika wykorzystania potencjału użytkowego  $E_6 = 128\%$ , co wynika z następujących wartości poszczególnych zmiennych: średnia wartość przebiegu początkowego  $P_{r1} = 316\,990$  km, całkowita przewieziona masa ładunku  $M_{u1} = 1\,168$  t, średnia wartość współczynnika przeciążenia  $W_{u1} = 113\%$ , całkowita wartość dochodu  $D_{u1} = 273\,363$  zł, zrealizowany przebieg  $P_{u1} = 410\,990$  km;
- firma 3 posiadająca dwa pojazdy różnej marki osiągnęła najwyższą wartość współczynnika wykorzystania czasu pracy pojazdu  $E_1 = 108\%$ , najniższą wartość współczynnika gotowości technicznej  $E_5 = 0,97$  i jednocześnie najniższą wartość współczynnika efektywności ekonomicznej  $E_7 = 0,00061$ . Dla firmy określono następujące wartości poszczególnych zmiennych: średnia wartość przebiegu początkowego  $P_{r1} = 251\,104$  km, całkowita przewieziona masa ładunku  $M_{u1} = 1\,698$  t, średnia wartość współczynnika przeciążenia  $W_{u1} = 133\%$ , całkowita wartość dochodu  $D_{u1} = 236\,855$  zł, zrealizowany przebieg  $P_{u1} = 505\,364$  km;
- firma 4 posiadająca trzy pojazdy różnej marki osiągnęła najniższą wartość współczynnika wykorzystania czasu pracy pojazdu  $E_1 = 85\%$  ale najwyższą wartość współczynnika efektywnej pracy pojazdu  $E_2 = 89\%$  i jednocześnie najwyższą wartość współczynnika efektywności ekonomicznej  $E_7 = 0,00135$ . Dla firmy określono następujące wartości poszczególnych zmiennych: średnia wartość przebiegu początkowego  $P_{r1} = 200\,905$  km, całkowita przewieziona masa ładunku  $M_{u1} = 1\,413$  t, średnia wartość współczynnika przeciążenia  $W_{u1} = 102\%$ , całkowita wartość dochodu  $D_{u1} = 376\,033$  zł, zrealizowany przebieg  $P_{u1} = 615\,323$  km;



- firma 5 posiadająca najliczniejszą flotę osiągnęła najniższą wartość współczynnika intensywności użytkowania pojazdu  $E_3 = 48,92$ . Dla firmy określono następujące wartości poszczególnych zmiennych: średnia wartość przebiegu początkowego  $P_{r1} = 207\,712$  km, całkowita przewieziona masa ładunku  $M_{u1} = 3\,803$  t, średnia wartość współczynnika przeciążenia  $W_{u1} = 107\%$ , całkowita wartość dochodu  $D_{u1} = 903\,110$  zł, zrealizowany przebieg  $P_{u1} = 1\,457\,433$  km;
- firma 6 posiadająca flotę 4 pojazdów różnej marki osiągnęła średnie wartości wszystkich współczynników, natomiast poszczególne zmienne przyjęły następujące wartości: średnia wartość przebiegu początkowego  $P_{r1} = 193\,238$  km, całkowita przewieziona masa ładunku  $M_{u1} = 3\,591$  t, średnia wartość współczynnika przeciążenia  $W_{u1} = 133\%$ , całkowita wartość dochodu  $D_{u1} = 623\,898$  zł, zrealizowany przebieg  $P_{u1} = 832\,758$  km;
- firma 7 posiadająca 2 pojazdy różnej marki osiągnęła najwyższą wartość współczynnika intensywności użytkowania  $E_4 = 0,0047$  oraz najniższą wartość współczynnika wykorzystania potencjału użytkowego  $E_6 = 68\%$ . Poszczególne zmienne przyjęły następujące wartości: średnia wartość przebiegu początkowego  $P_{r1} = 116\,096$  km, całkowita przewieziona masa ładunku  $M_{u1} = 1\,967$  t, średnia wartość współczynnika przeciążenia  $W_{u1} = 144\%$ , całkowita wartość dochodu  $D_{u1} = 280\,417$  zł, zrealizowany przebieg  $P_{u1} = 417\,769$  km.

Posiadanie w przedsiębiorstwie określonej liczby środków transportowych oraz optymalne przydzielanie im zadań związane jest z determinacją kosztów eksploatacją. W przedsiębiorstwach, także transportowych, jedną z najczęściej stosowanych metod podziału kosztów jest ich układ rodzajowy, zawierający 7 grup, które stanowią jednocześnie nazwy kont syntetycznych [175]:

- amortyzacja;
- zużycie materiałów i energii;
- usługi obce;
- podatki i opłaty;
- wynagrodzenia;
- ubezpieczenia społeczne i inne świadczenia;
- pozostałe koszty (rodzajowe).

W wielu publikacjach usługi obce stanowią największy udział procentowy w stosunku do wszystkich kosztów przedsiębiorstwa transportowego [180, 192]. Literatura często nie określa

jakiego typu oraz z jakiego sektora są to przedsiębiorstwa, nie ma też informacji jak liczny jest tabor oraz ilu kierowców jest zatrudnionych, dlatego trudno jest przyjąć jedną i poprawną klasyfikację kosztów oraz ich wartości.

W niniejszej rozprawie obiektem badań są przedsiębiorstwa transportowe z sektora MŚP użytkujące PS<sub>N1</sub>, dlatego struktura kosztów nieco różni się od ogólnej klasyfikacji kosztów rodzajowych przedsiębiorstw. Powodem tego jest fakt posiadania przez MŚP często jedynie własnego, starszego, nieleasingowanego taboru, tj. bez usług obcych. Zagadnienia związane szczegółowo z kosztami przedsiębiorstw transportu samochodowego ładunków są przedmiotem zainteresowań wielu autorów [2, 16], którzy najczęściej sprowadzają je do czterech podstawowych grup rodzajowych i określają ich wartości procentowe w stosunku do pozostałych kosztów w sposób następujący [150, 174, 181]:

- amortyzacja 6% – 12%;
- eksploatacja 20% – 68%;
- wynagrodzenie kierowców 14% – 45 %;
- pozostałe koszty 12% – 30 %.

Amortyzacja zgodnie z prawem podatkowym i ustawą o rachunkowości to koszty związane ze stopniowym zużywaniem się pojazdu. Zużycie środków trwałych wyrażone w sposób wartościowy przedstawia się w bilansie sprawozdawczym jako odpis amortyzacyjny od środka trwałego, który ustala się indywidualnie na podstawie wieku i wartości pojazdu oraz przewidywanego okresu użytkowania,

Koszty z grupy eksploatacja związane są z użytkowaniem i obsługiwaniem pojazdów, zależą głównie od przebiegu i intensywności ich użytkowania. Do grupy zalicza się:

- koszt zużytych materiałów pędnych;
- koszt napraw bieżących i obsługi technicznej;
- koszt zakupu i wymiany ogumienia;
- koszt zużytych olejów i smarów.

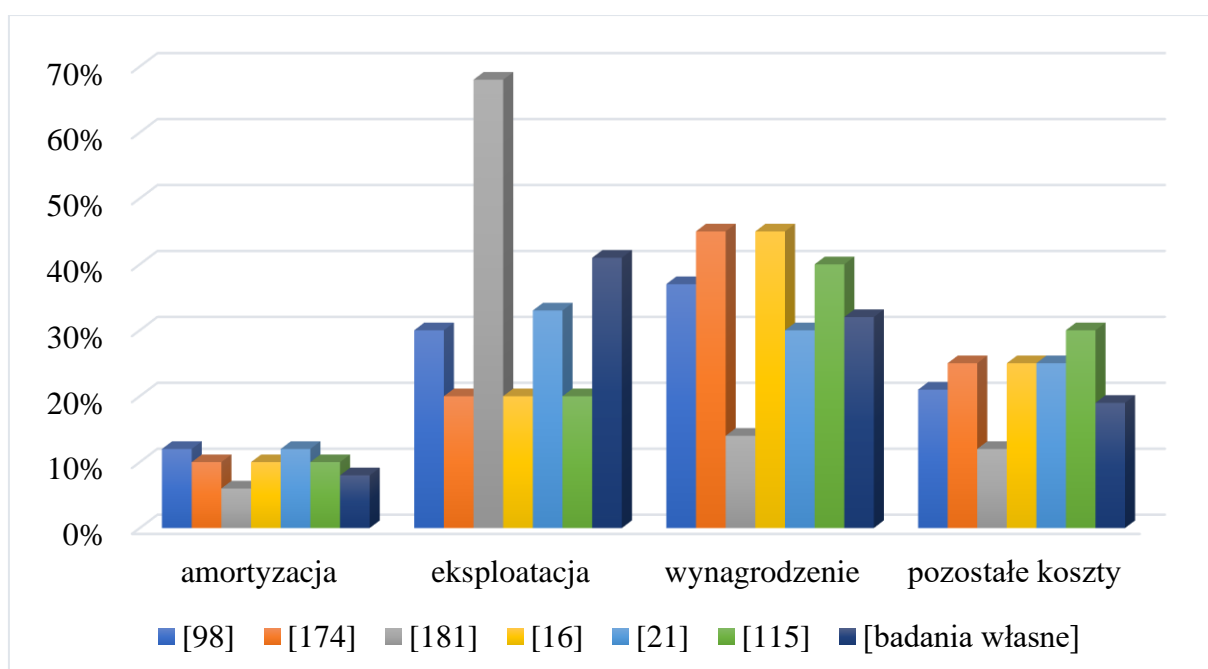
W publikacji [181] autorzy przedstawili analizę kosztów transportu drogowego w przedsiębiorstwie handlowo-usługowo. Wartość kosztów eksploatacji pojazdów w latach 2009 – 2011 sięgała 68% wszystkich kosztów przedsiębiorstwa. W każdym roku największy udział w kosztach eksploatacji miało zużycie materiałów i energii, które kształtowało się na poziomie od 31% do 35%.

Wynagrodzenia, to koszty związane ze świadczeniami wypłacanymi kierowcom z tytułu zatrudnienia w firmie.

Do pozostałych kosztów zalicza się:

- podatek od środków transportowych;
- ubezpieczenia obowiązkowe;
- koszty zarządzania;
- inne (np. opłaty drogowe, mandaty).

Na rys. 5.2 przedstawiono udziały poszczególnych grup kosztów w odniesieniu do wybranych pozycji literaturowych uzupełnionych o wyniki badań własnych przeprowadzonych w przedsiębiorstwach transportowych.



Rys. 5.2. Udziały poszczególnych grup kosztów przedsiębiorstwa transportu samochodowego ładunków na podstawie wybranej literatury oraz badań własnych

Wyniki badań własnych wpisują się w teorię w zakresie struktury kosztów w przedsiębiorstwach transportu samochodowego ładunków. Przeprowadzona analiza wykazała, że dla 24 pojazdów w okresie 2 lat koszty związane z realizacją zleceń transportowych kształtowały się następująco:

1. Amortyzacja pojazdów kształtuje się na poziomie 6,7% w stosunku do wszystkich kosztów.
2. Eksploatacja wynosi 44,5% w stosunku do wszystkich kosztów. Koszty zaliczone do tej grupy obejmują: koszty paliwa 39,7%, koszty wymiany opon 2,3%, koszt przeglądów 2,1%, koszty napraw 0,4%.
3. Wynagrodzenia kształtują się na poziomie 34,7%.

4. Pozostałe koszty wynoszą 14,1% w stosunku do wszystkich kosztów związanych z realizacją zleceń transportowych i obejmują koszty opłat drogowych 9,7%, zakupionych środków czystości 2,2%, ubezpieczenia 1,7% oraz kosztów poniesionych w związku z wystawionymi mandatami 0,5%.

Racjonalne gospodarowaniem  $PS_{N1}$ , ma na celu minimalizację kosztów ich eksploatacji. Efektem procesu użytkowania pojazdów jest nie tylko przychód z realizacji zleceń, ale również koszt przygotowania pojazdów do użytkowania, ich obsługi, serwisowania, zabezpieczenia w materiały eksploatacyjne, amortyzacji, ewentualnych mandatów, opłat drogowych czy kosztów pracowników.

Przedsiębiorstwa transportowe z sektora MŚP stanowiące obiekt badań niniejszej rozprawy, przeanalizowane zostały w odniesieniu do kosztów związanych z realizacją zleceń transportowych. Informacje dotyczące kosztów, pozyskiwane były różnymi metodami: z kart transportowych, wywiadów przeprowadzanych z właścicielami przedsiębiorstw, kierowcami, przedstawicielami serwisów i warsztatów oraz z księgowymi obsługującymi przedsiębiorstwa od strony finansowej. Na potrzeby ustandaryzowania danych i przekształcenia ich do wartości dziennych, zostały one uśrednione i podzielone przez liczbę dni w roku, tj. 365.

Analiza kosztów realizacji zleceń transportowych wykazała istnienie dwóch rodzajów kosztów, tj. zmiennych i stałych w obszarze określonych grup, są to:

1. Dla kosztów procesu użytkowania:
  - koszt paliwa  $P_k$  – koszt zmienny;
  - koszt mandatu  $B_k$  – koszt zmienny;
  - koszt amortyzacji  $A_k$  – koszt stały;
  - koszt wynagrodzenia  $W_k$  – koszt stały;
  - koszt ubezpieczenia  $U_k$  – koszt stały;
  - koszt opłat drogowych  $D_k$  – koszt zmienny.
2. Dla kosztów procesu obsługiwanian:
  - koszt napraw  $N_k$  – koszt zmienny;
  - koszt przeglądu  $R_k$  – koszt stały;
  - koszt środków czystości  $C_k$  – koszt stały;
  - koszt wymiany opon  $O_k$  – koszt stały.

Do kosztów procesu użytkowania zalicza się koszty:

- $P_k$  – koszt paliwa zużytego na realizację danego zlecenia transportowego. Koszt ten zależy od przebiegu, ceny jednostkowej za litr oleju napędowego i rzeczywistego zużycia paliwa/100km. Ważnym czynnikiem kształtującym koszt zużycia paliwa jest również ekonomiczny styl jazdy kierowcy, jazda z pełnym/niepełnym obciążeniem, rzetelność i doświadczenie kierowcy. Informacje dotyczące kosztu paliwa uzyskano z kart transportowych;
- $B_k$  – koszt nałożonego podczas kontroli drogowej mandatu za wykroczenia drogowego;
- $A_k$  – koszt amortyzacji, określa wartość stopniowego zużywania się pojazdu. Informacje dotyczące wartości comiesięcznych odpisów amortyzacyjnych otrzymano od osób, prowadzących ewidencje środków trwałych (księgowość, administracja). Do każdego pojazdu przypisana została odpowiednia, stała wartość kosztów dziennej amortyzacji. Wysokość odpisów uzależniona jest od wartości pojazdu oraz rodzaju pojazdu. Przykładowa dzienna wartość odpisu amortyzacji dla wybranego pojazdu Renault Master z 2011 roku:

$$A_k = \frac{742,88 \text{ zł} \cdot 12}{365 \text{ dni}} = 24,42 \text{ zł} \quad (5.8)$$

- $W_k$  – koszt określony przez wartość wynagrodzenia kierowcy realizującego dane zlecenie transportowe. Z informacji uzyskanych od kierowców oraz właścicieli przedsiębiorstw określono stałą, średnią wartość wynagrodzenia kierowcy w wysokości 5000 zł brutto miesięcznie. Dzienna wartość kosztów wynagrodzenia kierowcy w ramach realizacji danego zlecenia transportowego wynosi:

$$W_k = \frac{5000 \text{ zł} \cdot 12}{365 \text{ dni}} = 164,38 \text{ zł} \quad (5.9)$$

- $U_k$  – koszt określony przez wartość opłaty ubezpieczeniowej pojazdu. Przedsiębiorstwa transportowe określiły wartość opłaty rocznej wynoszącej na 3000 zł. Dzienna wartość opłaty ubezpieczeniowej dla każdego pojazdu wynosi:

$$U_k = \frac{3000 \text{ zł}}{365 \text{ dni}} = 8,22 \text{ zł} \quad (5.10)$$

- $D_k$  – koszt opłat za przejazd drogami płatnymi, parkingi, postoje.

Do kosztów obsługiwanego zalicza się:

$N_k$  – koszt określony przez wartość wykonanej naprawy w konsekwencji wystąpienia awarii;

$R_k$  – koszt określony przez wartość wykonania usługi przeglądu. Przedsiębiorstwa transportowe potwierdziły częstotliwość wykonania przeglądu raz na 2 miesiące. Koszt jednego przeglądu określono na 600 zł brutto. Dzienna wartość wykonania usługi przeglądu dla każdego pojazdu wynosi:

$$R_k = \frac{6 \cdot 600 \text{ zł}}{365 \text{ dni}} = 9,86 \text{ zł} \quad (5.11)$$

$C_k$  – koszt określony przez wartość środków zakupionych na potrzebę utrzymywania czystości w pojeździe. Przedsiębiorstwa transportowe określiły wysokość kosztów miesięcznych na 300 zł. Dzienna wartość środków zakupionych na poczet utrzymania czystości dla każdego pojazdu wynosi:

$$C_k = \frac{300 \text{ zł} \cdot 12}{365 \text{ dni}} = 9,86 \text{ zł} \quad (5.12)$$

$O_k$  – koszt określony przez wartość wykonania usługi wymiany opon. Przedsiębiorstwa transportowe określiły wykonanie dwóch wymian w ciągu roku (w październiku i marcu). Każda usługa wymiany opon to koszt jednorazowy 2000 zł. Dzienna wartość wykonania usługi wymiany opon dla każdego pojazdu wynosi:

$$O_k = \frac{2 \cdot 2000 \text{ zł}}{365 \text{ dni}} = 10,96 \text{ zł} \quad (5.13)$$

Ważną cechą opisującą system eksploatacji pojazdu jest wielkość nakładów ponoszonych nie tylko na proces użytkowania, ale też na skorelowany z nim proces obsługiwanego pojazdu – obsługi i naprawy środków transportu. Szczegółowa analiza kosztów związanych z eksploatacją pojazdu oraz utrzymaniem go w stanie zdatności i gotowości technicznej stanowić może podstawę do podjęcia decyzji o likwidacji pojazdu, zakupie nowego, zmusza do ustalenia nowych stawek przewozowych lub poszukiwania innych rozwiązań wspierających zarządzanie użytkowaniem pojazdów. Efektywne zarządzanie pojazdami dostawczymi wymaga od użytkowników takich narzędzi, które w szybki i prosty sposób umożliwiają ocenę podejmowanych decyzji i wybór tych najbardziej korzystnych. Wszelkie działania zorientowane na maksymalizację dochodu wymagają znajomości kryteriów optymalizacji decyzji ekonomicznych. Przedsiębiorstwa transportowe starając się wybrać najlepsze rozwiązanie, za cel przyjmują: maksymalną wydajność pojazdu dostawczego (liczbę przejechanych km, masę przewiezionego ładunku, liczbę roboczogodzin) oraz minimalizację

kosztów związanych z użytkowaniem i obsługiwaniem pojazdów, co w efekcie pozwala na uzyskanie maksymalnego dochodu.

### 5.3. Wymagania stawiane PS<sub>N1</sub> w zakresie racjonalnego zarządzania ich eksploatacją

Podjęcie decyzji w obszarze użytkowania pojazdów dostawczych w przedsiębiorstwach transportowych, podobnie jak we wszystkich innych działalnościach biznesowych, ukierunkowane jest zawsze na maksymalizację dochodu. Zarządzający pracą pojazdu oraz użytkownicy PS<sub>N1</sub> podejmują decyzje w zakresie przydziału zadań przewozowych, użytkowania czy obsługiwania pojazdu kształtując tym samym wynik finansowy przedsiębiorstwa [26]. W celu uzyskania pożądanej efektywności procesu użytkowania pojazdu, powinno się zatem uwzględniać wszelkie informacje dotyczące pojazdu, jego uwarunkowań technicznych, eksploatacyjnych oraz występujących ograniczeń mogących wpływać na realizację procesu przewozowego.

Na podstawie analizy literatury, wywiadów z kierowcami, pracownikami warsztatów i serwisów samochodowych w tab. 5.8 wymieniono obszary decyzyjne, które dla kierowcy i zarządzającego użytkowaniem PS<sub>N1</sub> w przedsiębiorstwach transportowych stanowią grupę logicznie powiązanych ze sobą operacji myślowych lub obliczeniowych i prowadzą do rozwiązania określonego problemu decyzyjnego. Wymienione obszary decyzyjne obejmują działania, które należy podejmować w ramach optymalizacji procesu użytkowania i obsługiwania PS<sub>N1</sub> w przedsiębiorstwach transportowych, w innym przypadku pojawia się prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń niekorzystnie wpływających na stan techniczny pojazdu, jakość realizowanego przewozu czy bezpieczeństwo kierowcy.

Tab. 5.8. Obszary decyzyjne procesu użytkowania i obsługiwania PS<sub>N1</sub> w przedsiębiorstwach transportowych

Obszar decyzyjny	Skutki nieracjonalnych decyzji
<p>Prawidłowe wykorzystywanie charakterystyki technicznej i eksploatacyjnej pojazdu:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– poruszanie się w dopuszczalnych granicach prędkości;</li> <li>– nieprzekraczanie nominalnej ładowności pojazdu dostawczego;</li> <li>– przestrzeganie warunków ładowania i równomiernego obciążania pojazdu samochodowego.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– wcześniejsze zużycie silnika spowodowane znacznym jego obciążeniem;</li> <li>– przedwczesne zmęczenie lub uszkodzenia zawieszenia, resorów i amortyzatorów;</li> <li>– uszkodzenie skrzyni ładunkowej;</li> <li>– uszkodzenie ładunku;</li> <li>– przedwczesne zużycie układu jezdny, hamulcowego, chłodniczego, kierowniczego;</li> <li>– wzrost kosztów utrzymania pojazdu.</li> </ul>

<p>Stosowanie prawidłowej techniki jazdy:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– prawidłowe, płynne ruszanie, właściwe hamowanie;</li> <li>– odpowiedni dobór biegów do warunków i prędkości jazdy, unikanie nadmiernych sił odśrodkowych podczas jazdy po łukach.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– niekorzystny wpływ na trwałość i gotowość techniczną pojazdu;</li> <li>– przedwczesne zużycie pojazdu;</li> <li>– uszkodzenia, zniszczenia elementów układu przekazania mocy (sprzęgło, wały, przeguby, przekładnie) oraz układu jezdnego;</li> <li>– niekorzystny wpływ na stan zawieszenia i ogumienia;</li> <li>– przegrzewanie bębnow hamulcowych i przedwczesne zużycie okładziny szczęk hamulcowych;</li> <li>– znaczne obciążenia pracy silnika;</li> <li>– wzrost kosztów utrzymania pojazdu.</li> </ul>
<p>Właściwe przygotowanie pojazdu do realizacji zadania transportowego:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– zastosowanie odpowiednich zamocowań zapobiegających przesuwaniu się ładunków;</li> <li>– zapewnianie obsługi dziennej i przeglądu stanu pojazdu;</li> <li>– bieżące usuwanie wszelkich niesprawności i rozregulowań;</li> <li>– zaopatrzenie w niezbędne materiały eksploatacyjne właściwej jakości.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zniszczenia skrzyni ładunkowej;</li> <li>– niebezpieczeństwo przesuwania się ładunku, jego zniszczenia oraz uszkodzenia skrzyni ładunkowej;</li> <li>– niższa jakość świadczonych usług;</li> <li>– zmniejszenie poziomu gotowości technicznej oraz niezawodności pojazdu;</li> <li>– wzrost kosztów utrzymania pojazdu.</li> </ul>
<p>Zapewnienie pojazdom terminowego i pełnego wykonywania należnych obsług i napraw bieżących:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– bieżąca kontrola pracy wszystkich zespołów, podzespołów, układów i mechanizmów pojazdu;</li> <li>– bezzwłoczne zgłaszanie niesprawności i usterek do szczegółowej diagnozy i ewentualnej regulacji;</li> <li>– utrzymywanie odpowiedniego stanu zaplecza technicznego koniecznego do zaopatrywania pojazdów w materiały pędne, oleje, smary i inne materiały eksploatacyjne;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– niezdatność pojazdu;</li> <li>– brak gotowości technicznej pojazdu;</li> <li>– nieskuteczność działania;</li> <li>– wzrost zawodności pojazdu;</li> <li>– wzrost kosztów utrzymania pojazdu.</li> </ul>



<ul style="list-style-type: none"> <li>– przestrzeganie reguły wykonywania należnych przeglądów i obsług technicznych bez względu na stan i zachowanie się pojazdu w czasie eksploatacji.</li> </ul>	
<p>Właściwe przechowywanie pojazdów poza okresami użytkowania i obsługi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– eliminacja szkodliwych następstw powstałych w czasie zakończonej eksploatacji.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ograniczona trwałość pojazdu samochodowego;</li> <li>– skrócenie okresu użytkowania;</li> <li>– zmniejszenie poziomu gotowości technicznej;</li> <li>– wzrost kosztów utrzymania pojazdu;</li> <li>– niższy poziom dyspozycyjności pojazdu.</li> </ul>
<p>Prawidłowe administrowanie pojazdami:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– prowadzenie ewidencji i księzek technicznych posiadanych pojazdów z zapisami przebiegów, wymian zespołów, napraw głównych, przeglądów, analizy zużycia części zamiennych;</li> <li>– planowanie i kontrolowanie obsług technicznych i napraw bieżących;</li> <li>– prowadzenie ewidencji obsady pojazdów, wyposażenia i przekazywania;</li> <li>– prowadzenie ewidencji wypadków drogowych i awarii technicznych pojazdów.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– niższa jakość świadczonych usług;</li> <li>– wzrost kosztów utrzymania pojazdu;</li> <li>– niższy poziom dyspozycyjności pojazdu;</li> <li>– niższa skuteczność dostaw;</li> <li>– wydłużenie czasu realizacji zleceń transportowych;</li> <li>– wzrost kosztów utrzymania pojazdu.</li> </ul>
<p>Zatrudnianie doświadczonych kierowców.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– nieekonomiczna jazda;</li> <li>– niski poziom bezpieczeństwa jazdy oraz dostawy;</li> <li>– wydłużenie czasu realizacji zleceń transportowych;</li> <li>– niższa jakość świadczonych usług;</li> <li>– wzrost kosztów utrzymania pojazdu;</li> <li>– przedwczesne zużycie pojazdów;</li> <li>– ograniczenie możliwości przewozowych.</li> </ul>

Podejmowanie złożonych decyzji dotyczących użytkowania PS<sub>N1</sub> zawsze odbywa się w warunkach niepewności, ponieważ może obejmować wiele prawdopodobnych i często niekorzystnych dla przedsiębiorstwa zdarzeń.

Na potrzeby prowadzonych badań dokonana została analiza zalecanych przez producenta jednego z obiektu badań, tj. pojazdu Fiat Ducato, czynności w zakresie jego użytkowania, obsługi i serwisowania. Producent zwraca szczególną uwagę na te, które zwiększają wydajność pojazdu, jego niezawodność, ekologię i bezpieczną jazdę [69]:

- zaleca się użytkowanie opon nie starszych niż 6 lat;
- chcąc uniknąć problemów w okresie mrozów należy dbać o to, by akumulator był zawsze naładowany oraz uważać, by poziom oleju napędowego nie był zbyt niski, co mogłoby spowodować gromadzenie się skroplonych oparów wody na dnie zbiornika paliwa;
- nie przekraczać prędkość obrotowej silnika 4500 obr./min;
- nie przekraczać: dopuszczalnej masy całkowitej, maksymalnego dopuszczalnego obciążenia przedniej i tylnej osi przy rozmieszczeniu ładunku, maksymalnych obciążeń bagażnika;
- nie przekraczać dopuszczalnych rozmiarów i ciśnienia opon;
- równomiernie rozmieszczać ładunek na podłodze pomiędzy dwiema osiami;
- należy jak najczęściej korzystać z trybu ECO (ekologiczna jazda);
- korzystać z układu wentylacji, gdyż jazda z prędkością 100 km/h z otwartymi szybami powoduje wzrost zużycia paliwa o 4%;
- uzupełniając paliwo nie dopuszczać do przelewania zbiornika;
- minimalizować zużycie paliwa przy wykorzystaniu: obrotomierza, wskaźnika zmiany prędkości lub bilansu trasy.

W zakresie obsługi pojazdu producent zaleca m.in.:

- a) obsługę codzienną, przed rozpoczęciem realizacji zlecenia transportowego:
  - kontrolę oleju silnikowego;
  - kontrolę płynu chłodzącego silnik;
  - kontrolę płynu hamulcowego;
  - kontrolę zużycia i ciśnienia w oponach;
  - kontrolę układu oświetlenia;
- b) obsługę tygodniową:
  - kontrolę układu hydraulicznego;

- kontrolę filtrów paliwa;
- kontrolę wspomagania kierownicy.

Proces użytkowania i obsługi mocno ze sobą korelują. Racjonalne użytkowanie pojazdu oraz prawidłowe wykonywanie czynności kontrolnych, uwzględniające zalecenia producenta daje możliwość sprawnego, szybkiego oraz niskobudżetowego obsługiwanie i serwisowania pojazdu. Szczegółowo opisane w instrukcji obsługi przeglądy okresowe mają na celu zapewnienie długiej eksploatacji pojazdu i bezawaryjnego działania. Regularne wykonywanie czynności obsługowych stanowi najlepszą gwarancję niezawodnego i bezpiecznego funkcjonowania pojazdu oraz utrzymania kosztów jego eksploatacji na optymalnym jego poziomie. Efekty procesu użytkowania PS<sub>N1</sub> zależą zatem również od rzetelnej kontroli parametrów technicznych tych pojazdów. W ramach poszczególnych przeglądów okresowych instrukcja określa zadania, które w ramach tych przeglądów powinny zostać wykonane. W tab. 5.9 przedstawiono charakterystykę czynności, które powinny być wykonane podczas przeglądu standardowego dla Fiata Ducato. Producent przewidział cykl kontroli co 40000 – 45000 km w zależności od silnika, w tym przypadku jest to Multijet 120.

Tab. 5.9. Charakterystyka czynności wykonywanych podczas przeglądu standardowego dla Citroen Jumper z silnikiem Multijet 120

Zrealizowana czynność km	Przebieg [tys. km]				
	45	90	135	180	225
Kontrola stanu/zużycia opon i ewentualna regulacja ciśnienia	●	●	●	●	●
Kontrola ustawienia reflektorów	●	●	●	●	●
Kontrola funkcjonowania wycieraczek szyby przedniej i ewentualna regulacja spryskiwaczy	●	●	●	●	●
Kontrola ustawienia/zużycia piór wycieraczek szyby przedniej	●	●	●	●	●
Kontrola stanu zużycia klocków hamulcowych i funkcjonowania sygnalizatora zużycia klocków hamulców tarczowych przednich i tylnych	●	●	●	●	●
Kontrola wzrokowa stanu/napięcia pasków napędów		●			●
Kontrola i ewentualna regulacja skoku dźwigni hamulca ręcznego	●	●	●	●	●
Kontrola emisji/dymienia spalin	●	●	●	●	●
Kontrola stanu czystości zamków i czyszczenie/smarowanie zespołów dźwigni	●	●	●	●	●
Wymiana oleju silnikowego i filtra oleju (lub co każde 12 miesięcy)	●	●	●	●	●
Wymiana oleju silnikowego i filtra oleju <sup>1,2</sup>					
Wymiana filtra paliwa	●	●	●	●	●
Wymiana wkładu filtra powietrza <sup>3</sup>	●	●	●	●	●
Kontrola i ewentualne uzupełnienie poziom płynów (chłodzenia silni – hamulcowego – wspomagania kierownicy – spryskiwaczy szyb)	●	●	●	●	●
Kontrola paska napędu rozrządu		●			
Wymiana paska napędów różnych			●		
Wymiana paska napędu rozrządu <sup>4</sup>				●	
Kontrola funkcjonowania systemów kontroli silnika (przez gniazdko diagnostyczne)	●	●	●	●	●

Wymienić płyn hamulcowy (lub co 24 miesiące)		•		•	
Wymienić filtr przeciwpyłowy (lub co 24 miesiące)	•	•	•	•	•
<p>1 – olej silnikowy i filtr powinny być wymieniane po zaświeceniu się lampki sygnalizacyjnej w zestawie wskaźników lub co 2 lata.</p> <p>2 – w przypadku używania samochodu przeważnie w przejazdach w mieście konieczna jest wymiana oleju silnikowego i filtra co 12 miesięcy;</p> <p>3 – jeżeli samochód jest wyposażony w filtr specyficzny dla obszarów zakurzonych: – kontrola i czyszczenie filtra co 20000 km; – kontrola i czyszczenie filtra co 40000 km.;</p> <p>4 – lub co 4 lata przy używaniu samochodu w trudnych warunkach (w klimacie zimnym, w mieście przy długich przejazdach z obrotami na biegu jałowym, na drodze mocno zakurzonej lub posypanej piaskiem i/lub solą). Lub co 5 lat, niezależnie od przebiegu.</p>					

Działania przygotowujące pojazd do użytkowania, zmniejszające prędkość utraty właściwości użytkowych oraz przywracające właściwości użytkowe są działaniami bezwzględnie koniecznymi do budowy systemu obsługowo-profilaktycznego, który jest niezbędnym elementem strategii eksploatacji. Zarządzający oraz kierowcy pojazdów nie są w stanie racjonalnie zarządzać użytkowaniem  $PS_{N1}$  nie uwzględniając wymienionych wymagań i czynności zalecanych przez producentów pojazdów. W związku z silną korelacją pomiędzy procesem użytkowania  $PS_{N1}$ , jego specyfiki i intensywności oraz procesem obsługi, naprawami, uszkodzeniami, utratą potencjału użytkowego i kosztami, koniecznym jest podjęcie próby zbadania tych zależności, ich wpływu na stan pojazdu oraz efektywność ekonomiczną przedsiębiorstw transportowych.

#### 5.4. Podsumowanie

Różnorodny zbiór danych jakościowych i ilościowych opisujący realizację jednego zlecenia transportowego oraz stale zmieniające się warunki użytkowania pojazdów powodują, że w przedsiębiorstwach transportowych podejmowanie racjonalnych, zaplanowanych działań w aspekcie intensywności użytkowania, czynności obsługowych, kontroli czy monitorowania często podyktowane są intuicyjnymi i subiektywnymi odczuciami, co nie wzmacnia pozycji strategii eksploatacji pojazdów w przedsiębiorstwie. Również intensywność użytkowania, dostosowana jest do bieżącego stanu technicznego pojazdu, zgłoszonego zapotrzebowania, bieżących zasobów firmy i uwarunkowana jest osiągnięciem maksymalnego dochodu. Duża liczba zmiennych opisujących proces użytkowania pojazdów, szczególnie w mikro i małych przedsiębiorstwach powoduje, że w praktyce nie analizuje się współczynników charakteryzujących eksploatację pojazdów, nie analizuje się ich korelacji z wynikiem przedsiębiorstwa, kosztami oraz stanem technicznym pojazdu. Ze względu na brak wiedzy dotyczącej wszystkich aspektów i elementów kształtujących warunki eksploatacji pojazdów oraz złożoność przedstawionych zmiennych opisujących proces użytkowania  $PS_{N1}$ , dokładność

przeprowadzanych badań obarczona może być niewielkimi błędami i niepewnościami pomiarowymi.

Brak świadomości zależności przyczynowo-skutkowej procesu użytkowania i obsługi pojazdów, powoduje, że użytkownicy często podejmują decyzje niewłaściwe i nieracjonalne z punktu widzenia biznesowego. Wpływa to znacząco na jakość systemu eksploatacji pojazdów, generuje koszty związane z użytkowaniem i obsługiwaniem, niekorzystnie wpływa na cechy techniczno-eksploatacyjne pojazdu, zmniejszając jego trwałość, niezawodność i skuteczność. To również może powodować zwiększenie prawdopodobieństwa wystąpienia sytuacji zagrażających życiu kierowcy oraz innych uczestników ruchu.

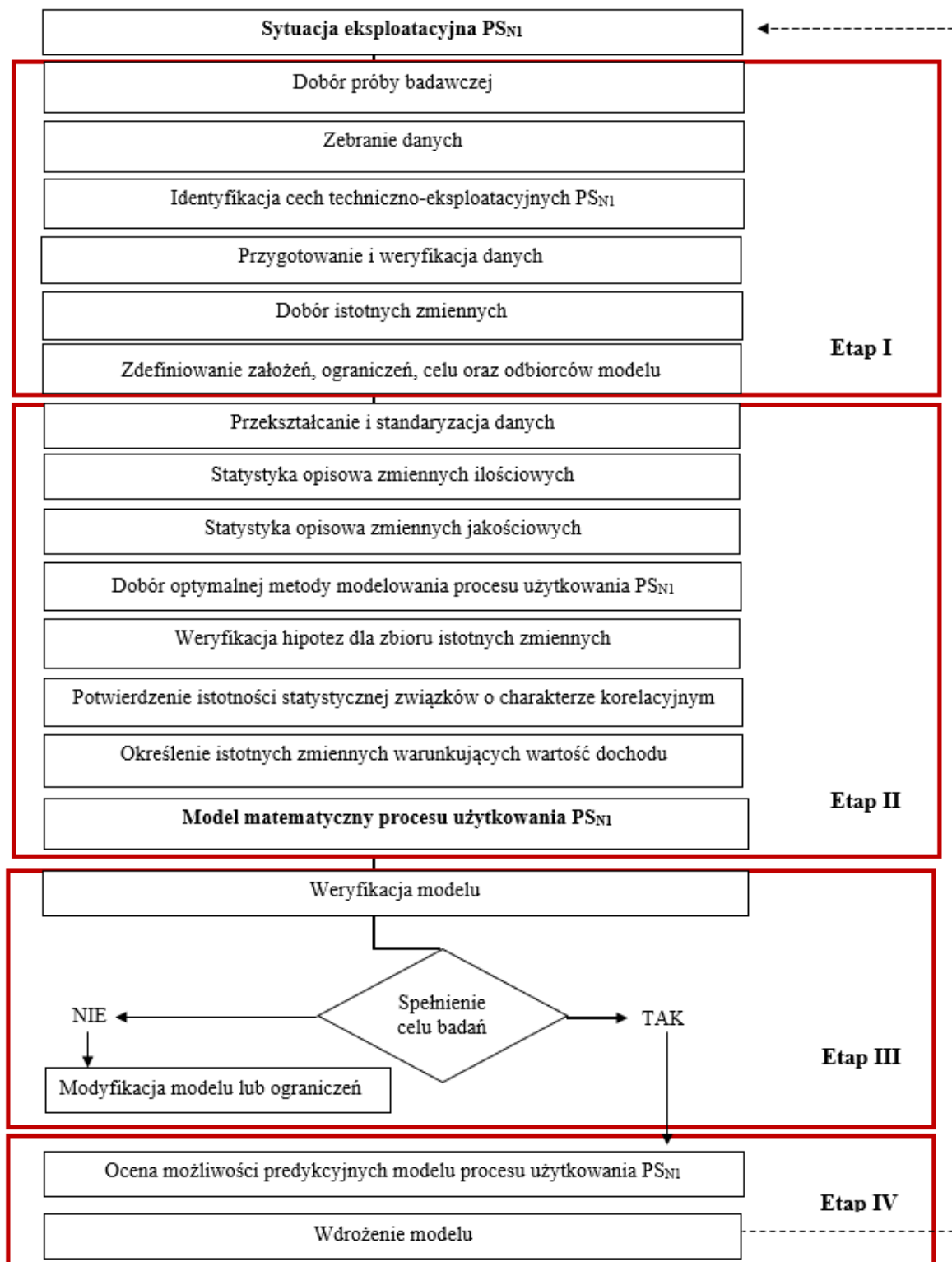
Efektywne zarządzanie systemem eksploatacji  $PS_{N1}$  wyraża jego całokształt możliwości zaspokajania określonych potrzeb użytkowników i skoncentrowane jest na podejmowaniu racjonalnych decyzji, których celem jest maksymalizacja stopnia osiągniętych celów. Kształtowanie i ocena efektów procesu użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych jest ściśle związana z koniecznością optymalnego przydziału zadań pojazdom wraz z utrzymaniem na odpowiednim poziomie ich cech użytkowych w określonych warunkach eksploatacji. Cechy te, spełniające wymogi reprezentatywnych, w celu utrzymania zdatności pojazdu, powinny być kontrolowane na bieżąco. Za pomocą przedstawionych współczynników eksploatacyjnych zarządzający flotą może weryfikować na bieżąco intensywności użytkowania pojazdów, analizować rentowności podjętych działań i planować proces użytkowania pojazdów. Mikro i małe przedsiębiorstwa ze względu na koszty rzadko wdrażają nowoczesne systemy informatyczne wspomagające podejmowanie decyzji w zakresie eksploatacji pojazdów, dlatego zaprezentowane współczynniki mogą posłużyć jako wsparcie w zakresie oceny stanu przedsiębiorstwa oraz budowania strategii eksploatacji pojazdów. Specyfika procesu użytkowania wskazuje, że intensywność, warunki i działania podejmowane w ramach użytkowania mogą wpływać na stan techniczny pojazdu, tym samym determinują proces obsługowo-naprawczy, który zawsze wiąże się z ponoszeniem dodatkowych kosztów. Charakterystyka przedstawionych obszarów decyzyjnych w zakresie użytkowania i obsługi  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych oraz możliwość wystąpienia licznych zagrożeń i ryzyka, wskazuje na konieczność podjęcia badań w aspekcie usprawnienia zarządzania procesem użytkowaniem  $PS_{N1}$ .

## **6. MODELOWANIE PROCESU UŻYTKOWANIA $PS_{N1}$ Z WYKORZYSTANIEM REGRESJI WIELOCZYNNIKOWEJ**

### **6.1. Metodyka postępowania podczas modelowania procesu użytkowania $PS_{N1}$**

Metodyka opracowania modelu procesu użytkowania pojazdów dostawczych w przedsiębiorstwach transportowych opiera się na systemowej analizie problemu, która prowadzi do wydzielenia czterech etapów postępowania (rys. 6.1):

1. Etap, którego zakres obejmuje identyfikację i analizę rzeczywistej sytuacji eksploatacyjnej  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych. Dobranie próby badawczej, zgromadzenie reprezentatywnych danych oraz zdefiniowanie założeń i ograniczeń modelu.
2. Etap, dotyczy opracowania matematycznego modelu procesu użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych.
3. Etap weryfikacji opracowanego modelu matematycznego.
4. Ocena możliwości predykcyjnych modelu i wdrożenie w struktury przedsiębiorstw transportowych.



Rys. 6.1. Algorytm postępowania dla opracowania modelu procesu użytkowania pojazdów dostawczych

Zgodnie z algorytmem postępowania celem etapu I jest dobór istotnych dla modelowania zmiennych, zdefiniowanie założeń, celu, ograniczeń modelu procesu użytkowania  $PS_{N1}$ , a także określenie odbiorcy wyników.

Cel teoretyczny modelu procesu użytkowania  $PS_{N1}$  określono na podstawie sformułowanych w rozdziale 3 problemów badawczych. Jest to:

*Ocena wpływu istotnych zmiennych techniczno-eksploatacyjnych na efektywność procesu użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych.*

Przygotowana baza danych obejmująca wszystkie obserwacje wraz z opisującymi je zmiennymi w podziale na grupy (tab. 5.3.) została zweryfikowana w odniesieniu do ich istotności dla modelu. Na podstawie wyznaczonych wartości statystyki t-Studenta oraz p-value, do modelowania procesu użytkowania  $PS_{N1}$  w dalszej kolejności uwzględniono wyłącznie zmienne istotne statystycznie. Dla każdej zmiennej ilościowej ze zbioru danych zweryfikowano istotność statystyczną za pomocą testu t-Studenta na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Przyjęto następującą hipotezę:  $H_0$  – poszczególne zmienne nie mają wpływu na zmienną zależną,  $H_1$  – poszczególne zmienne mają wpływ na zmienną zależną. Jeżeli p-value  $\leq \alpha$  wówczas należy odrzucić  $H_0$ , a w przeciwnym przypadku nie ma podstaw do odrzucenia  $H_0$ .

Efektom przeprowadzonej statystyki testowej w dalszych badaniach uwzględniony zostaje zbiór zmiennych istotnych statystycznie dla modelowania procesu użytkowania  $PS_{N1}$ . Typy i charakter 10 zmiennych istotnych przedstawiono w tab. 6.1.

Tab. 6.1. Zestawienie istotnych zmiennych techniczno-eksploatacyjnych procesu użytkowania  $PS_{N1}$

Lp.	Nazwa zmiennej	Oznaczenie	Etykieta	Typ zmiennej
1	Przebieg dzienny	$P_u$	[km]	Ilościowa
2	Czas jazdy	$J_u$	[h]	Ilościowa
3	Czas pracy	$C_u$	[h]	Ilościowa
4	Współczynnik przeciążenia	$W_u$	[%]	Ilościowa
5	Zużycie paliwa	$S_u$	[dm <sup>3</sup> /100 km]	Ilościowa
6	Ładowność	$\xi_p$	[kg]	Ilościowa
7	Masa ładunku	$M_u$	[kg]	Ilościowa
8	Koszt realizacji zlecenia transportowego	$K_k$	[zł]	Ilościowa
9	Cena za realizację usługi	$R_u$	[zł]	Ilościowa
10	Dochód	$D_u$	[zł]	Ilościowa

Aby osiągnąć postawiony cel modelowania procesu użytkowania  $PS_{N1}$  przyjęto następujące założenia:

- zdefiniowano zmienną zależną, (wynikową):  $D_u$ ;
- zdefiniowano zbiór zmiennych niezależnych, ilościowych (wejściowych):  $P_u$ ;  $J_u$ ;  $C_u$ ;  $W_u$ ;  $S_u$ ;  $\xi_p$ ;  $M_u$ ;  $K_k$ ;  $R_u$ ;



- każda obserwacja dotyczy rzeczywistej realizacji zlecenia transportowego przez przedsiębiorstwo transportowe użytkujące PS<sub>N1</sub>;
- skala czasu modelu obejmuje okres od 1.01.2016 r do 31.12.2017 r.

Określono ograniczenia modelu:

- zastosowanie jedynie dla PS<sub>N1</sub>;
- przebieg dzienny:  $P_u \leq 700$  km;
- ładowność pojazdu:  $720 \text{ kg} \leq L_p \leq 1300 \text{ kg}$ ;
- czas pracy  $C_u \leq 9$  h.

Odbiorcami wyników badań są mikro, małe i średnie przedsiębiorstwa transportowe świadczące usługi przewozowe na terenie kraju i użytkujące PS<sub>N1</sub>.

Kolejny, II etap algorytmu postępowania dotyczy opracowania modelu procesu użytkowania pojazdów dostawczych, jego szczegółowe etapy przedstawione zostaną w kolejnych podrozdziałach rozprawy.

## **6.2. Charakterystyka oprogramowania IBM SPSS Statistics**

Zgodnie z przedstawionym na rys. 6.1 algorytmem, II jego etap postępowania obejmuje opracowanie matematycznego modelu procesu użytkowania PS<sub>N1</sub>. W tym celu autor wykorzystał specjalistyczny program komputerowy IBM SPSS Statistics Base (wersja 27), który umożliwił przeprowadzenie analizy statystycznej zgromadzonego zbioru danych.

SPSS Statistics udostępnia niezbędne narzędzia statystyczne przydatne na każdym etapie procesu analitycznego. Zestaw procedur statystycznych umożliwiających prowadzenie dokładnych analiz obejmuje:

- wbudowane techniki przygotowywania danych do analizy;
- funkcje raportowania przygotowane do sprawnego tworzenia wykresów;
- zaawansowane możliwości wizualizacji, pozwalające na przejrzyste przedstawienie istotnych spostrzeżeń;
- obsługę wszelkiego typu danych, w tym bardzo dużych zbiorów danych.

W programie IBM SPSS Statistics dostępne są różne typy okien:

1. Edytor danych. W oknie wyświetlana jest zawartość pliku danych. Korzystając z Edytora danych, można modyfikować pliki danych i tworzyć nowe (rys. 6.2).

	LP	Nrpojazdu	Modelpojazdu	Sezonowość	Awaria	Wiekpojazdu	Przebiegdzienny	Czasjazdy	Czaspracy
1	1	1	1	,5	1	8	330	6,60	6,60
2	2	1	1	,0	0	8	250	5,00	6,25
3	3	1	1	,0	0	8	320	6,40	7,02
4	4	1	1	,0	0	8	300	6,00	7,50
5	5	1	1	,0	0	8	355	7,10	7,85
6	6	1	1	,0	0	8	250	6,17	6,75
7	7	1	1	,0	0	8	300	11,25	12,50

Rys. 6.2. Edytor danych w systemie IBM SPSS Statistics

2. Edytor raportów, w którym wyświetlane są wszystkie wyniki statystyczne, tabele i wykresy (rys. 6.3).

FREQUENCIES VARIABLES=Nrpojazdu  
/ORDER=ANALYSIS.

**Częstości (FREQUENCIES)**

**Statystyki**

Nr pojazdu

N	Ważne	13101
	Braki danych	0

**Nr pojazdu**

	Ważne	Częstość	Procent	Procent ważnych	Procent skumulowany
1	598	4,6	4,6	4,6	
2	609	4,6	4,6	9,2	
3	590	4,5	4,5	13,7	
4	579	4,4	4,4	18,1	
5	548	4,2	4,2	22,3	
6	594	4,5	4,5	26,9	
7	537	4,1	4,1	31,0	
8	553	4,2	4,2	35,2	
9	573	4,4	4,4	39,5	
10	574	4,4	4,4	43,9	
11	562	4,3	4,3	48,2	
12	562	4,2	4,2	52,6	

Rys. 6.3. Edytor raportów w systemie IBM SPSS Statistics

3. Edytory tabel przestawnych, wykresów i wyników końcowych umożliwiają modyfikowanie danych na wiele różnych sposobów np. obracać trójwymiarowe wykresy rozrzutu lub zmieniać typy wykresów.

Organizacja prowadzonych badań z wykorzystaniem poszczególnych modułów systemu SPSS przebiegała zgodnie z przedstawionym poniżej algorytmem postępowania.

1. Określenie struktury zbioru danych. Był to etap przygotowania danych do dalszych analiz. Koniecznym było uszczegółowienie m.in. ich opisu, poziomu pomiaru, typu (rys. 6.4).

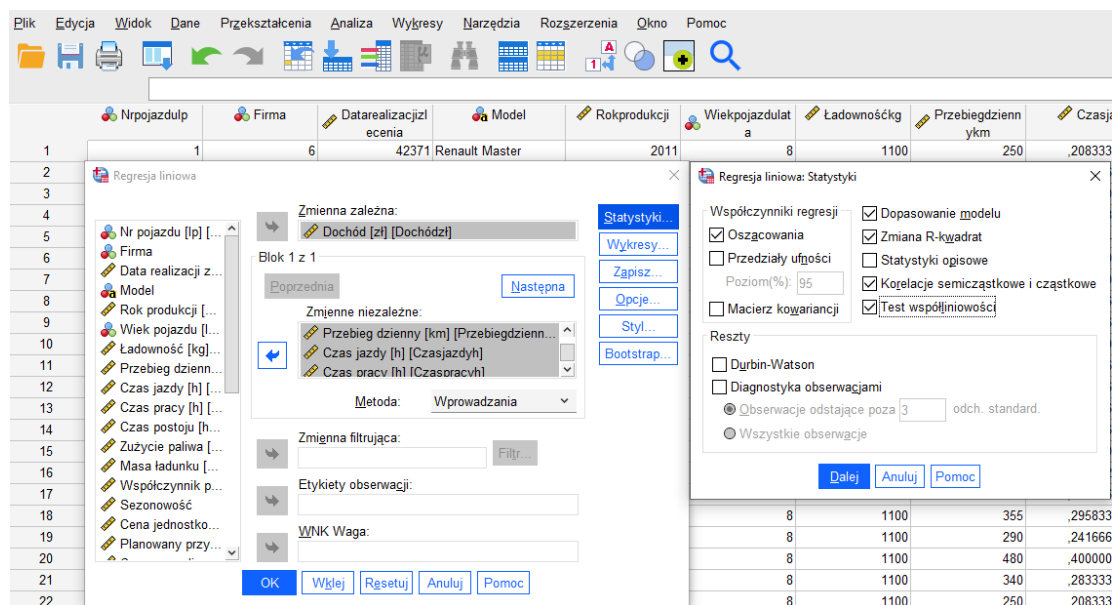
	Nazwa	Typ	Szerokość	Dziesiętne	Etykieta	Wartości	Braki	Kolumny	Wyrównanie	Poziom pomiaru	Rola
1	Nrpojazdulp	Numeryczna	1	0	Nr pojazdu [lp]	Brak	Brak	12	Do prawej	Nominalna	Wejście
2	Firma	Numeryczna	1	0		Brak	Brak	12	Do prawej	Nominalna	Wejście
3	Datarealizacijzlecenia	Numeryczna	5	0	Data realizacji ...	Brak	Brak	12	Do prawej	Ilościowa	Wejście
4	Model	Łańcuchowa	14	0		Brak	Brak	14	Do lewej	Nominalna	Wejście
5	Rokprodukcji	Numeryczna	4	0	Rok produkcji	Brak	Brak	12	Do prawej	Ilościowa	Wejście
6	Wiekpojazdulata	Numeryczna	1	0	Wiek pojazdu [l...	Brak	Brak	12	Do prawej	Nominalna	Wejście
7	Ładownośćkg	Numeryczna	4	0	Ładowność [kg]	Brak	Brak	12	Do prawej	Ilościowa	Wejście
8	Przebiegdziennykm	Numeryczna	3	0	Przebieg dzien...	Brak	Brak	12	Do prawej	Ilościowa	Wejście
9	Czasjazdyh	Numeryczna	17	15	Czas jazdy [h]	Brak	Brak	16	Do prawej	Ilościowa	Wejście
10	Czaspracyh	Numeryczna	17	15	Czas pracy [h]	Brak	Brak	16	Do prawej	Ilościowa	Wejście
11	Czaspostojuh	Numeryczna	17	15	Czas postoju [h]	Brak	Brak	16	Do prawej	Ilościowa	Wejście

Rys. 6.4. Struktura zbioru danych w systemie IBM SPSS Statistics

Przygotowany zbiór danych stanowił podstawę do przeprowadzenia statystyk opisowych dla zmiennych ilościowych wykorzystując moduł *Analiza – Statystyki opisowe* (rys. 6.5).

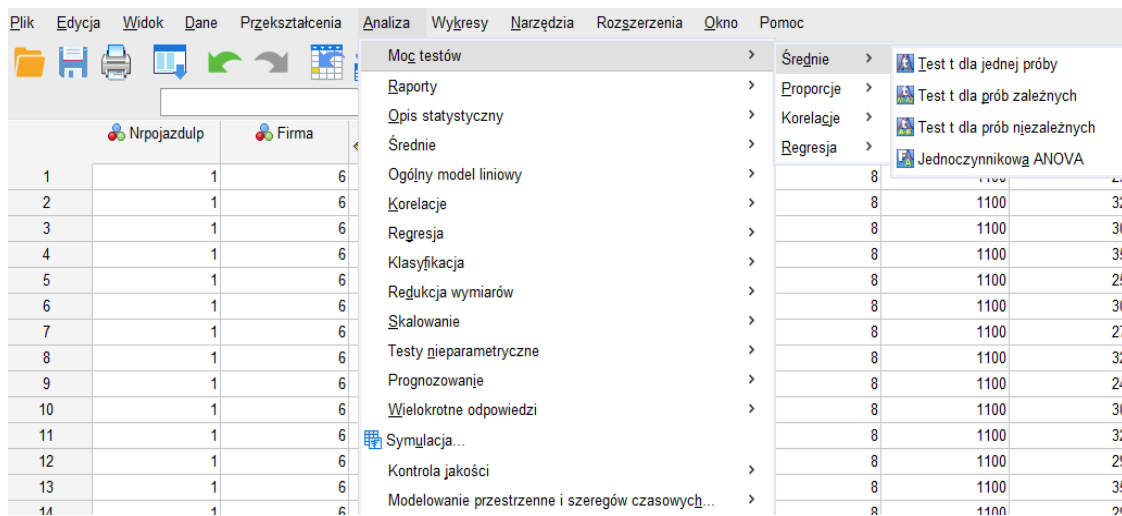
Rys. 6.5. Badanie statystyk opisowych dla zmiennych ilościowych w systemie IBM SPSS Statistics

2. Estymacja parametrów modelu regresji wieloczynnikowej metodą najmniejszych kwadratów (rys. 6.6).



Rys. 6.6. Dobór parametrów modelu regresji wieloczynnikowej w systemie IBM SPSS Statistics

3. Weryfikacja modelu proces użytkowania  $PS_{N1}$ . Przy wykorzystaniu odpowiednich modułów programu zweryfikowano założenia dotyczące: normalności i autokorelacji składnika losowego reszt oraz ich homoscedastyczności i wartości oczekiwanej (rys. 6.7).



Rys. 6.7. Weryfikacja modelu w systemie IBM SPSS Statistics

Prowadzone badania, skłoniły autora do przeanalizowania wpływu intensywności użytkowania  $PS_{N1}$  na ich awaryjność. W tym celu wykorzystano również program IBM SPSS Statistics oraz jego moduł związany z optymalizacją. Zastosowano analizę nieparametryczną Kruskala-Walisa dla grupy pojazdów awaryjnych i pojazdów bez awarii. Zweryfikowano istotność statystyczną dla wybranej grupy zmiennych mogących mieć wpływ na awaryjność pojazdów. Wyznaczone statystyki opisowe w grupie awaryjnych pojazdów pozwoliły na

określenie przedziałów ufności dla wybranych zmiennych ilościowych. Zweryfikowany został również wpływ zmiennych jakościowych na awaryjność pojazdów.

### 6.3. Statystyki opisowe

Niniejszy rozdział stanowi opis zbioru danych zawierający najistotniejsze informacje o procesie użytkowania PS<sub>N1</sub> do których dotarł autor. Statystyka opisowa zajmuje się metodami opisu statystycznego danych, dzięki którym uzyskuje się zwięzłe i uogólnione charakterystyki istotnych właściwości badanej zbiorowości. Liczby dające sumaryczny opis zbiorowości nazywa się parametrami statystycznymi, które określają:

- przeciętny poziom i rozmieszczenie wartości zmiennej za pomocą miar położenia;
- granice obszaru zmienności wartości zmiennej za pomocą miar zmienności;
- skupienie i spłaszczenie (w stosunku do kształtu krzywej normalnej) oraz stopnia odejścia od idealnej symetrii za pomocą miar asymetrii i koncentracji.

Celem przeprowadzanej statystyki matematycznej nieznanymi rozkładów prawdopodobieństwa zmiennych losowych jest weryfikacja hipotez statystycznych za pomocą testów statystycznych (parametrycznych lub nieparametrycznych) [14]. Ważnym elementem opisu zmiennej jest kształt jej rozkładu, który informuje o liczności występowania wartości tej zmiennej w różnych obszarach jej zmienności. Rozkład wielu statystyk testowych jest rozkładem normalnym lub może być otrzymany w wyniku przekształceń rozkładu normalnego. Opracowanie wyników badań za pomocą testów parametrycznych jest ograniczone założeniami: zmienne mierzalne, mające rozkład normalny, równość wariancji, dlatego stosuje się również testy nieparametryczne, za pomocą których wraz z testami parametrycznymi można rozstrzygnąć, czy określoną hipotezę można odrzucić czy też nie ma do tego podstaw.

Niniejsza część pracy przedstawia charakterystykę próby 13101 obserwacji z perspektywy statystyk opisowych. Każda obserwacja przypisana jest jednemu PS<sub>N1</sub>, a ten z kolei przypisany jest do poszczególnego przedsiębiorstwa oznaczonego liczbami 1 – 7. Każda obserwacja opisana jest przez 10 zmiennych ilościowych. Statystyki opisowe prezentują charakterystykę zmiennych ilościowych w odniesieniu do każdego przedsiębiorstwa transportowego, co daje podstawę do analizy i określenia prawidłowości rządzących danym zjawiskiem, metod zarządzania i strategii stosowanych w przedsiębiorstwach. Jest to również próba zdefiniowania wniosków dotyczących specyfiki i różnorodności badanej próby.

Syntetyczny opis właściwości rozkładu poszczególnych zmiennych przedstawiony jest za pomocą miar położenia, zmienności, asymetrii oraz koncentracji [159]:

## 1. Miary położenia:

- średnia arytmetyczna:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (6.1)$$

gdzie:  $\bar{x}$  – symbol średniej arytmetycznej,  $x_i$  – warianty cechy mierzalnej,  $n$  – liczebność badanej zbiorowości, stanowi miarę tendencji "centralnej rozkładu" rozpatrywanej zmiennej;

- kwartyle, wartości cechy danej zbiorowości, które dzielą ją na określone części pod względem liczby jednostek. Do najczęściej stosowanych należą kwartyle (wartości ćwiartkowe):

- kwartył pierwszy  $Q_1$  dzieli zbiorowość na dwie części w ten sposób, że 25% jednostek zbiorowości ma wartości zmiennej mniejsze lub równe kwartyłowi pierwszemu, a 75% równe lub większe od tego kwartyła;
- kwartył drugi (mediana)  $Me$  to wartość jednostki położonej w zbiorowości w ten sposób, że dzieli ją na dwie równe części:

$$Me = x_m + \frac{k_m}{n_m} \left[ \frac{n}{2} - \sum_{i=1}^{m-1} n_i \right] \quad (6.2)$$

gdzie:  $m$  – numer klasy w której występuje  $Me$ ,  $x_m$  – dolna granica tej klasy,  $n_m$  – liczebność tej klasy,  $k_m$  – rozpiętość tej klasy,  $\sum_{i=1}^{m-1} n_i$  – liczebność skumulowana do przedziału poprzedzającego klasę w której występuje  $Me$ ;

- kwartył trzeci dzieli zbiorowość na dwie części w ten sposób, że 75% jednostek ma wartości zmiennej mniejsze lub równe kwartyłowi trzeciemu, a 25% równe lub większe od kwartyła trzeciego.

## 2. Miary zmienności:

- rozstęp  $R = x_{max} - x_{min}$ , określa zakres pomiędzy minimalną, a maksymalną wartością zmiennej;
- wariancja zmiennej  $X$  jest średnią arytmetyczną kwadratów odchyłeń poszczególnych wartości zmiennej od średniej arytmetycznej całej zbiorowości:

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (6.3)$$

- odchylenie standardowe:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6.4)$$

wskazuje na średnie odchylenia wartości badanych zmiennych od wartości średniej arytmetycznej danej zbiorowości;

### 3. Miary asymetrii i koncentracji:

- współczynnik zmienności:

$$V_s = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (6.5)$$

gdzie:  $V$  jest symbolem współczynnika zmienności, a indeks  $s$  informuje o rodzaju bezwzględnej miary dyspersji użytej w obliczeniach. Jest miarą zróżnicowania zmiennej, najczęściej wyrażaną w procentach, przyjmuje się, że współczynnik nie przekraczający 30% świadczy o małej zmienności;

- współczynnik skośności:

$$A_s = \frac{nM_3}{(n-1)(n-2)s^2}, \text{ gdzie: } M_3 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 \quad (6.6)$$

jest miarą symetrii rozkładu, wartość dodatnia oznacza asymetrię prawostronną, wartość ujemna oznacza asymetrię lewostronną, współczynnik równy zero wskazuje na symetrię rozkładu zmiennej;

- kurtoza:

$$K = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^N \left( \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^4 - \frac{3(n-1)^2}{(n-1)(n-3)} \quad (6.7)$$

opisuje stopień koncentracji wyników wokół wartości średniej, w przypadku  $K < 0$  rozkład jest platokurtyczny, dla  $K > 0$  leptokurtyczny, a dla  $K = 0$  mezokurtyczny.

Analiza statystyczna zaprezentowana w tab. 6.2. – 6.11 przedstawia porównawczą charakterystykę parametryczną dla każdego przedsiębiorstwa transportowego w odniesieniu do poszczególnych zmiennych ilościowych.

Tab. 6.2. Analiza statystyczna zmiennej *Przebieg dzienny* w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych

Przebieg dzienny $P_u$ [km]												
Firma	Nważnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny Kwartył	Górny Kwartył	Wariancja	Odchylenie std.	Wsp. zmn.	Skośność	Kurtoza
1	2268	445,55	500,00	100,00	700,00	350,00	545,00	16376,79	127,97	28,72	-0,30	-0,39
2	1034	397,48	400,00	150,00	700,00	300,00	500,00	16473,68	128,35	32,29	-0,17	-1,12
3	1111	454,87	500,00	200,00	700,00	340,00	550,00	19874,46	140,98	30,99	0,01	-1,05
4	1556	395,45	400,00	120,00	650,00	310,00	500,00	12362,47	111,19	28,12	0,11	-0,77
5	3631	401,39	400,00	120,00	700,00	300,00	500,00	15708,33	125,33	31,23	0,13	-0,80
6	2330	357,41	350,00	120,00	650,00	280,00	430,00	9580,63	97,88	27,39	0,33	-0,46
7	1171	356,76	350,00	120,00	650,00	280,00	440,00	11449,75	107,00	29,99	0,30	-0,48



Dokonując analizy zmiennej *Przebieg dzienny* w poszczególnych przedsiębiorstwach należy zauważyć, że najwięcej zleceń transportowych w latach 2016-2017 zrealizowano w przedsiębiorstwie 5, które użytkuje największą liczbę  $PS_{N1}$  – 7, natomiast najmniej zleceń zrealizowano w przedsiębiorstwie 2, które jest jednym z trzech przedsiębiorstw posiadających 2 pojazdy (tab. 6.2.). Najwyższy średni przebieg dzienny równy 454,87 km zaobserwowano w przedsiębiorstwie 3, które w dwuletnim okresie eksploatacji zrealizowało tylko 1111 zleceń transportowych. Może to oznaczać, że firma 3 w stosunku do pozostałych przedsiębiorstw preferuje zlecenia długodystansowe. Najniższym średnim przebiegiem dziennym na poziomie ok. 357 km charakteryzowali się przewoźnicy 6 i 7. W przypadku czterech spośród siedmiu przedsiębiorstw maksymalny przebieg dzienny nie przekroczył 700 km. Dla trzech przedsiębiorstw tj.: 4, 6, 7 maksymalny dzienny przebieg wynosił 650 km. Minimalny przebieg dzienny równy 100 km odnotowano w przedsiębiorstwie 1. W firmach 6 i 7 kwartył dolny oznacza, że 25% wartości zmiennej *Przebieg dzienny* ma wartość nie większą niż 280 km, a 75% obserwacji ma wartość nie mniejszą od 280 km. Natomiast dla firm 2 i 5, 25% obserwacji ma wartość nie większą niż 300 km, a 75% obserwacji ma wartość nie mniejszą niż 300 km. Z kolei kwartył górny równy 500 km zaobserwowany w przedsiębiorstwach: 2,4,5 oznacza, że 75% obserwacji ma wartość nie większą niż 500 km, a 25% obserwacji ma wartość nie mniejszą od 500 km. W każdym z rozpatrywanych przedsiębiorstw kurtoza mniejsza od zera oznacza, że rozkład zmiennej losowej przebieg dzienny jest platokurtyczny.

Tab. 6.3. Analiza statystyczna zmiennej *Czas jazdy* w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych

Czas jazdy $J_u$ [h]												
Firma	Nważnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny Kwartyl	Górny Kwartyl	Wariancja	Odchylenie std.	Wsp. zmn.	Skośność	Kurtoza
1	2268	8,86	9,60	2,00	14,00	7,00	10,40	6,49	2,55	28,76	-0,27	-0,40
2	1034	8,07	8,00	3,00	14,00	6,00	10,00	6,21	2,49	30,88	-0,18	-1,05
3	1111	9,07	9,80	4,00	14,00	6,80	11,00	7,87	2,81	30,91	0,01	-1,03
4	1556	8,00	8,00	2,40	13,00	6,40	10,00	4,63	2,15	26,88	0,04	-0,64
5	3631	8,20	8,00	2,40	14,00	6,20	10,00	5,76	2,40	29,25	0,03	-0,63
6	2330	7,18	7,00	2,40	13,00	5,80	8,60	3,79	1,95	27,10	0,28	-0,51
7	1171	7,20	7,00	2,40	13,00	5,60	9,00	4,73	2,17	30,18	0,27	-0,53

Analiza zmiennej *Czas jazdy* wykazała, że czas ten jest zróżnicowany w zależności od przedsiębiorstwa (tab. 6.3.). Najkrótszy średni czas jazdy równy ok. 7,2 h odnotowano w dwóch przedsiębiorstwach tj. 6 i 7. Najdłuższy średni czas jazdy równy 9,07 h zaobserwowano w firmie 3. Dla dwóch przedsiębiorstw: 6 i 7 otrzymano jednakową wartość mediany równą 7 h jako miarę tendencji centralnej. Ponadto, w przypadku kolejnych trzech firm: 2, 4, 5 również otrzymano jednakową wartość mediany zmiennej losowej czas jazdy równą 8 h. Minimalny czas jazdy równy 2,4 h wyznaczono w czterech firmach: 4, 5, 6, 7. Z kolei minimalny czas jazdy równy 4 h w przypadku przewoźnika 3 potwierdza wcześniejsze przypuszczenia o preferowaniu realizacji zleceń długodystansowych. Maksymalny czas jazdy w firmach: 4, 6, 7 nie przekroczył wymiaru 13 h dziennie. Z kolei maksymalny *Czas jazdy* w pozostałych przedsiębiorstwach nie przekroczył 14 h. W przedsiębiorstwie 3 kwartył górny równy 11 h oznacza, że 75% obserwacji zmiennej *Czas jazdy* ma wartość nie większą niż 11 h, a 25% ma wartość nie mniejszą niż 11 h. W firmach: 2, 4, 5, 75% obserwacji ma wartość nie większą niż 10h, a 25% obserwacji ma wartość nie mniejszą niż 10 h. Współczynnik zmienności ok. 30% oznacza małą zmienność w całej próbie. Kurtроза mniejsza od zera oznacza, że rozkład zmiennej *Czas jazdy* jest platokurtyczny.

Tab. 6.4. Analiza statystyczna zmiennej *Czas pracy* w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych

Czas pracy $C_u$ [h]												
Firma	Nważnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny Kwartyl	Górny Kwartyl	Wariancja	Odchylenie std.	Wsp. zmn.	Skośność	Kurtoza
1	2268	10,20	10,40	2,00	16,50	8,43	12,00	7,56	2,75	26,96	-0,23	-0,10
2	1034	9,74	10,00	3,75	16,00	8,00	12,00	6,43	2,54	26,05	-0,20	-0,74
3	1111	10,59	10,50	4,00	16,50	8,50	13,00	7,75	2,78	26,29	0,04	-0,82
4	1556	9,00	9,00	4,00	15,90	7,13	10,60	5,19	2,28	25,30	0,14	-0,54
5	3631	9,54	9,50	2,60	36,00	7,67	11,25	6,58	2,57	26,89	0,55	3,62
6	2330	8,26	8,00	2,65	30,00	6,70	9,63	4,87	2,21	26,71	1,06	7,20
7	1171	8,37	8,17	2,65	15,50	6,75	10,00	5,23	2,29	27,33	0,22	-0,55

Najkrótszy średni czas pracy (tab. 6.4.) równy 8,26 h zaobserwowano w firmie 6, zaś najdłuższy średni czas pracy 10,59 h w firmie 3, co wiązać się może z najwyższym średnim przebiegiem dziennym oraz najdłuższym czasem jazdy. Minimalny czas pracy równy 2 h odnotowano w firmie 1, zaś maksymalny czas pracy równy 36 h zaobserwowano w firmie 5. Dolny kwartył równy ok. 6,7 h w przypadku przedsiębiorstwa 6 i 7 oznacza, że 25% obserwacji czasu pracy ma wartość nie większą niż 6,7 h. Górny kwartył równy 13 h odnotowany w firmie 3 oznacza, że w 75% przypadków czas pracy był nie dłuższy niż 13 h. Niskie wartości odchylenia standardowego świadczą o małym zróżnicowaniu wyników w próbie, co dodatkowo potwierdzają wartości współczynnika zmienności nie przekraczające 30%. Dodatnia wartość kurtozy w przypadku firmy 5 i 6 oznacza leptokurtyczność rozkładu zmiennej losowej *Czas pracy* zaś ujemne wartości kurtozy w pozostałych przedsiębiorstwach potwierdzają platokurtyczność rozkładu rozpatrywanej zmiennej losowej.

Tab. 6.5. Analiza statystyczna zmiennej *Współczynnik przeciążenia* w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych

Współczynnik przeciążenia $W_u$ [%]												
Firma	Nważnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny Kwartyl	Górny Kwartyl	Wariancja	Odchylenie std.	Wsp. zmn.	Skośność	Kurtoza
1	2268	1,43	1,38	0,75	2,74	1,18	1,64	0,10	0,32	22,46	0,90	60
2	1034	1,13	1,00	1,00	1,90	1,00	1,30	0,05	0,22	19,38	1,71	2,14
3	1111	1,33	1,30	0,77	2,08	1,20	1,46	0,05	0,22	16,30	0,38	0,02
4	1556	1,02	1,00	0,87	2,20	1,00	1,04	0,01	0,11	10,98	4,48	28,78
5	3631	1,07	1,00	0,82	2,40	1,00	1,09	0,03	0,17	16,13	4,29	25,32
6	2330	1,34	1,27	0,80	2,18	1,14	1,46	0,09	0,29	21,91	1,04	0,69
7	1171	1,43	1,22	0,80	2,36	1,14	1,52	0,20	0,45	31,33	1,14	-0,14

Przeprowadzona analiza wykazała, że najniższy średni współczynnik przeciążenia równy 1,02% odnotowano w przedsiębiorstwie 4 (tab. 6.5.). Najwyższy średni współczynnik przeciążenia równy ok. 1,43% otrzymano w dwóch przedsiębiorstwach tj. 1 i 7. Każde z przedsiębiorstw w ramach swojej polityki transportowej (minimalizacja pustych przebiegów, umowy kontraktowe) oraz przyjętej strategii preferuje minimalny współczynnik przeciążenia nie mniejszy niż 0,75%. Maksymalny współczynnik przeciążenia równy 2,73% odnotowano w przedsiębiorstwie 1. W firmach: 2, 4, 5 dolny kwartyl równy 1 oznacza, że w przypadku 25% obserwacji współczynnik przeciążenia nie przekroczył 1. Niskie wartości wariancji oraz odchylenia standardowego świadczą o małej zmienności wyników w próbie, co dodatkowo potwierdzają wartości współczynnika zmienności.

Tab. 6.6. Analiza statystyczna zmiennej *Zużycie paliwa* w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych

Zużycie paliwa $S_u$ [dm <sup>3</sup> /100 km]												
Firma	Nważnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny Kwartyl	Górny Kwartyl	Wariancja	Odchylenie std.	Wsp. zmn.	Skośność	Kurtoza
1	2268	15,41	15,00	13,00	18,00	14,00	17,00	2,10	1,45	9,41	-0,01	-1,26
2	1034	13,46	13,00	13,00	17,00	13,00	14,00	0,67	0,82	6,08	2,31	6,01
3	1111	14,86	14,00	13,00	18,00	14,00	17,00	2,21	1,49	9,99	0,41	-1,26
4	1556	13,33	13,00	13,00	15,00	13,00	14,00	0,24	0,49	3,66	0,97	-0,51
5	3631	13,42	13,00	13,00	15,00	13,00	14,00	0,31	0,56	4,16	0,91	-0,20
6	2330	14,96	15,00	13,00	18,00	14,00	16,00	1,75	1,32	8,85	0,36	-0,83
7	1171	15,31	15,00	13,00	18,00	14,00	17,00	2,84	1,69	11,01	0,43	-1,17



Analiza zmiennej *Zużycie paliwa* wykazała, że firma 4 charakteryzuje się najniższym średnim zużyciem paliwa  $13,33 \text{ dm}^3/100\text{km}$ , o czym świadczyć może najniższy współczynnik przeciążenia, najmniejsza masa ładunku lub ekologiczna jazda kierowców (tab. 6.6.). Najwyższe średnie zużycie paliwa  $15,41 \text{ dm}^3/100\text{km}$  odnotowano dla firmy 1, której współczynnik przeciążenia oraz koszty realizacji zlecenia były najwyższe. Dla wszystkich przedsiębiorstw minimalne zużycie paliwa wyniosło  $13 \text{ dm}^3/100\text{km}$ . Maksymalne zużycie paliwa  $18 \text{ dm}^3/100\text{km}$  odnotowano dla firm 1, 3, 6 i 7, dla których dolny kwartył równy  $14 \text{ dm}^3/100\text{km}$  oznacza, że 25% obserwacji ma wartość nie większą, a 75% wartość nie mniejszą niż  $14 \text{ dm}^3/100\text{km}$ . Dla przedsiębiorstw 1, 3 i 7 górny kwartył równy  $17 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$  oznacza, że 75% obserwacji przyjmuje wartość nie większą niż  $17 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$ . Niskie wartości odchylenia standardowego świadczą o małym zróżnicowaniu wyników w próbie, co potwierdzają również niskie wartości współczynnika zmienności nie przekraczające 30%. Ujemne wartości kurtozy w przypadku wszystkich firm poza firmą 2 oznaczają platokurtyczność rozkładu rozpatrywanej zmiennej losowej.

Tab. 6.7. Analiza statystyczna zmiennej Ładowność w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych

Ładowność $L_p$ [kg]												
Firma	Nważnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny Kwartył	Górny Kwartył	Wariancja	Odchylenie std.	Wsp. zmn.	Skośność	Kurtoza
1	2268	1134,30	1100,00	950,00	1300,00	950,00	1200,00	16914,95	130,06	11,47	-0,22	-1,29
2	1034	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	0,00	0,00	0,00		
3	1111	1145,00	1000,00	1000,00	1300,00	1000,00	1300,00	22495,29	149,98	13,10	0,07	-2,00
4	1556	884,19	750,00	750,00	1150,00	750,00	1150,00	35692,01	188,92	21,37	0,70	-1,52
5	3631	967,06	1000,00	720,00	1200,00	750,00	1100,00	26250,29	162,02	16,75	-0,35	-1,09
6	2330	1156,47	1100,00	1100,00	1230,00	1100,00	1200,00	3428,78	58,56	5,06	0,13	-1,87
7	1171	1178,01	1250,00	1100,00	1250,00	1100,00	1250,00	5620,74	74,97	6,36	-0,08	-2,00

Analiza zmiennej Ładowność (tab. 6.7.) wykazała, że najniższą średnią ładowność równą 884,19 kg zaobserwowano w przedsiębiorstwie 4. Wynika to z faktu posiadania przez przedsiębiorstwo dwóch pojazdów o ładowności 750 kg oraz jednego o ładowności 1150 kg. Najwyższą średnią ładownością równą 1178,01 kg charakteryzuje się firma 7. Minimalna ładowność spośród rozpatrywanych firm świadczących usługi transportowe wynosiła 720 kg, może świadczyć o tym, że firma 5 posiada najliczniejszą grupę pojazdów, ale również najstarszą. Maksymalną ładowność równą 1300 kg odnotowano u dwóch przewoźników tj. 1 i 3. W firmach: 4 i 5 dolny kwartył oznacza, że 25% wartości zmiennej ładowność ma wartość nie większą niż 750 kg, a 75% obserwacji ma wartość nie mniejszą od 750 kg. W przedsiębiorstwach 2 i 3, 25% obserwacji rozpatrywanej zmiennej losowej ma wartość nie większą niż 1000 kg, a 75% obserwacji ma wartość nie mniejszą od 1000 kg. W przedsiębiorstwach 6 i 7 25% obserwacji zmiennej ładowność ma wartość nie większą niż 1100 kg, a 75% obserwacji ma wartość nie mniejszą od 1100 kg. Górny kwartył równy 1200 kg dla firm 1 i 6 oznacza, że 75% obserwacji ma wartość nie większą niż 1200 kg, a 25% obserwacji ma wartość nie mniejszą niż 1200 kg. Na uwagę zasługuje firma 2, w której ładowność jest stała i wynosi 1000 kg. Przewoźnik posiada dwa pojazdy tej samej marki i ładowności równej 1000 kg. W każdym przedsiębiorstwie współczynnik zmienności jest mniejszy od 30% co oznacza małą zmienność rozpatrywanej zmiennej losowej jaką jest ładowność. Dodatkowo ujemne wartości kurtozy świadczą o rozkładzie platokurtycznym.

Tab. 6.8. Analiza statystyczna zmiennej *Masa ładunku* w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych

Masa ładunku $M_u$ [kg]												
Firma	Nważnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny Kwartyl	Górny Kwartyl	Wariancja	Odchylenie std.	Wsp. zmn.	Skośność	Kurtoza
1	2268	1604,27	1500,00	980,00	2600,00	1400,00	1800,00	99560,78	315,53	19,67	0,81	0,93
2	1034	1129,30	1000,00	1000,00	1900,00	1000,00	1300,00	47887,99	218,83	19,38	1,71	2,14
3	1111	1528,31	1400,00	900,00	2700,00	1300,00	1800,00	128419,48	358,36	23,45	0,93	-0,12
4	1556	908,70	790,00	700,00	1900,00	750,00	1150,00	56667,77	238,05	26,20	1,36	1,74
5	3631	1034,84	1000,00	700,00	1900,00	800,00	1200,00	50668,29	225,10	21,75	0,60	0,46
6	2330	1541,05	1450,00	980,00	2550,00	1300,00	1650,00	108717,49	329,72	21,40	1,09	0,63
7	1171	1679,60	1500,00	1000,00	2800,00	1300,00	1900,00	241901,12	491,83	29,28	0,91	-0,67

Analiza zmiennej *Masa ładunku* wykazała (tab. 6.8.), że najmniejszą średnią masę przewożonego ładunku równą 908,70 kg odnotowano w firmie 4, co potwierdza fakt najniższej ładowności pojazdów użytkowanych przez to przedsiębiorstwo. Minimalna masa ładunku dla przedsiębiorstw 4 i 5 wynosiła 700 kg. W przypadku 1 i 6 minimalna masa ładunku wynosiła 980 kg, natomiast 2 i 7 transportowały ładunki o masie minimalnej równej 1000 kg. Z kolei maksymalny ładunek w przypadku przewoźników: 2, 4 i 5 nie przekraczał 1900 kg. Maksymalna masa ładunku przewożonego przez 7 wynosiła 2800 kg. W przedsiębiorstwach 3, 6 i 7 dolny kwartył na poziomie 1300 kg oznacza, że 25% obserwacji zmiennej losowej *Masa ładunku* ma wartość nie większą niż 1300 kg, a 75% obserwacji ma wartość nie mniejszą od 1300 kg. Górny kwartył równy 1800 kg w przypadku przewoźników 1 i 3 oznacza, że 75% obserwacji zmiennej losowej masa ładunku ma wartość nie większą niż 1800 kg, a 25% obserwacji ma wartość nie mniejszą od 1800 kg. Współczynnik zmienności mniejszy od 30% oznacza małą zmienność w próbie.

Tab. 6.9. Analiza statystyczna zmiennej *Koszt realizacji zlecenia transportowego* w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych

Koszt realizacji zlecenia transportowego $K_k$ [zł]												
Firma	Nważnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny Kwartyl	Górny Kwartyl	Wariancja	Odchylenie std.	Wsp. zmn.	Skośność	Kurtoza
1	2268	551,28	544,26	302,71	3316,28	483,11	612,78	15690,42	125,26	22,72	7,04	125,93
2	1034	459,25	455,70	313,67	999,30	400,04	502,46	6194,96	78,71	17,14	0,99	4,74
3	1111	556,15	540,06	333,22	3039,70	467,06	643,66	20186,93	142,08	25,55	5,27	84,55
4	1556	466,50	461,04	315,83	1062,57	413,29	509,80	4987,77	70,62	15,14	1,09	5,75
5	3631	465,29	460,44	298,21	1132,90	401,94	513,37	7017,42	83,77	18,00	1,08	4,76
6	2330	496,79	491,86	315,42	3112,34	437,92	540,04	14384,12	119,93	24,14	8,35	137,33
7	1171	496,06	492,90	317,97	1088,14	433,09	543,88	7149,61	84,56	17,05	1,23	5,98

Analiza zmiennej *Koszt realizacji zlecenia transportowego* wykazała (tab. 6.9), że w przypadku trzech firm: 2, 4 i 5 średni koszt zlecenia transportowego nie przekraczał 470 zł. W przedsiębiorstwach 6 i 7 średni koszt zlecenia wynosił średnio ok. 496 zł. Najwyższy średni koszt realizacji zlecenia zaobserwowano w przypadku firmy 1 i 3. Może to wynikać z faktu iż firma 1 charakteryzuje się najwyższym współczynnikiem przeciążenia, poniosła koszty 14 (z 65 odnotowanych) mandatów, a 7 (z 17 odnotowanych) awarii wystąpiło w tej firmie, co wygenerowało dodatkowe koszty związane z naprawami pojazdów. Firma 3 charakteryzuje się natomiast najwyższym średnim przebiegiem dziennym i najdłuższym czasem jazdy, odnotowano 7 nałożonych na firmę mandatów oraz 3 awarie pojazdów. Elementy te mogą być przyczyną generowania większych kosztów. Dla wszystkich przedsiębiorstw minimalne koszty realizacji zlecenia nie przekraczały 335 zł. Maksymalny koszt realizacji zlecenia równy 3316,28 zł odnotowano w firmie 1, natomiast w firmie 2 koszt ten wyniósł 999,30 zł. Współczynnik zmienności kosztu realizacji zlecenia transportowego nieprzekraczający 30% oznacza małą zmienność w próbie. Dodatkowo wartości kurtozy w przypadku każdego przedsiębiorstwa potwierdzają leptokurtyczność rozkładu rozpatrywanej zmiennej losowej.

Tab. 6.10. Analiza statystyczna zmiennej *Cena za realizację usługi* w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych

Cena za realizację usługi $R_u$ [zł]												
Firma	Nważnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny Kwartyl	Górny Kwartyl	Wariancja	Odchylenie std.	Wsp. zmn.	Skośność	Kurtoza
1	2268	685,86	670,00	310,00	1600,00	600,00	780,00	20404,95	142,85	20,83	0,91	2,37
2	1034	588,32	600,00	400,00	950,00	500,00	650,00	10049,25	100,25	17,04	0,26	0,19
3	1111	625,48	600,00	400,00	1300,00	500,00	700,00	16988,21	130,34	20,84	1,12	1,73
4	1556	575,75	550,00	300,00	980,00	500,00	650,00	10777,64	103,82	18,03	0,72	0,75
5	3631	580,50	550,00	300,00	1600,00	500,00	650,00	14830,39	121,78	20,98	1,13	3,78
6	2330	621,59	630,00	300,00	1300,00	500,00	700,00	18690,82	136,71	21,99	0,50	0,79
7	1171	597,99	600,00	300,00	1300,00	500,00	650,00	17922,21	133,87	22,39	1,26	2,87



Analiza zmiennej *Cena za realizację usługi* wykazała (tab. 6.10.), że największą średnią wartością równą 685,85 zł charakteryzuje się firma 1, przy jednocześnie odnotowanym minimalnym przebiegu dziennym oraz najwyższym współczynniku przeciążenia. Najniższą wartość zmiennej 575,74 zł odnotowano w firmie 4, dla której jednocześnie zmienne *Masa ładunku*, *Zużycie paliwa* i *Współczynnik przeciążenia* przyjmują najniższe wartości. Minimalną wartość zmiennej równą 300 zł odnotowano dla firm 4, 5, 6 i 7. Maksymalną wartością 1600 zł charakteryzuje się przedsiębiorstwo 1 i 5, a najniższą maksymalną wartość zmiennej na poziomie 950 zł przyjmuje firma 2. W przypadku przedsiębiorstw 3, 6 i 7 maksymalna wartość zmiennej określona jest na 1300 zł. Dolny kwartył równy 500 zł dla firm: 1, 2, 4, 5, 6 i 7 informuje, że 25% obserwacji przyjmuje wartość nie większą niż 500 zł, natomiast 75% obserwacji przyjmuje wartość nie mniejszą niż 500 zł. W firmie 1 górny kwartył przyjmuje wartość 780 zł, co oznacza, że 75% obserwacji przyjmuje wartość nie większą niż 780 zł, natomiast w firmach 4, 5 i 7 25% obserwacji przyjmuje wartość nie mniejszą niż 650 zł, a 75% nie większą niż 650 zł. Wartości wariancji i odchylenia standardowego wskazują na małe zróżnicowanie w próbie, potwierdza to również niski poziom współczynnika zmienności do 30%. Wartości dodatnie kurtozy wskazują, że rozkłady zmiennych dla wszystkich przedsiębiorstw są leptokurtyczne.

Tab. 6.11. Analiza statystyczna zmiennej *Dochód* w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych

Dochód D <sub>u</sub> [zł]												
Firma	Nważnych	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Dolny Kwartyl	Górny Kwartyl	Wariancja	Odchylenie std.	Wsp. zmn.	Skośność	Kurtoza
1	2268	292,33	278,18	-2393,78	1446,29	170,63	410,01	40866,68	202,16	69,15	-1,07	18,87
2	1034	264,38	252,32	-384,30	722,53	192,55	343,82	14764,98	121,51	45,96	-0,21	2,97
3	1111	213,19	207,26	-1686,70	847,91	124,67	296,70	27669,72	166,34	78,03	-1,21	15,95
4	1556	241,67	235,78	-287,67	792,22	144,60	323,76	17889,43	133,75	55,35	0,55	1,24
5	3631	248,72	231,71	-579,40	1523,56	151,97	334,72	22006,03	148,34	59,64	0,78	4,32
6	2330	267,77	267,94	-2374,34	1034,15	156,67	369,43	37121,98	192,67	71,95	-1,85	22,35
7	1171	239,47	212,31	-411,64	1142,55	128,33	328,65	29547,51	171,89	71,78	0,86	2,56

Analiza statystyczna zmiennej *Dochód* potwierdza (tab. 6.11.), że najniższy średni dochód równy 213,19 zł wykazała firma 3, a najwyższy w wysokości 292,32 zł firma 1. W pozostałych firmach: 2, 4, 5, 6 i 7 średni dochód nie przekroczył 268 zł. Minimalna wartość zmiennej *Dochód* w przypadku każdego przedsiębiorstwa ma wartość ujemną. Mimo, iż każde przedsiębiorstwo dąży do maksymalizacji dochodu okazuje się, że realizacja usługi transportowej nie zawsze jest rentowna tj. opłacalna pod względem efektywności ekonomicznej. Może jednak być opłacalna pod względem jakości świadczenia usługi, konkurencyjności lub możliwości podpisania nowych kontraktów. Minimalna wartość dochodu w firmach 1 i 6 wyniosła ok -2393,78 zł i mogła wiązać się z odnotowanymi w tych przedsiębiorstwach awariami (w obu odnotowano po 7 awarii), które wygenerowały dodatkowe koszty napraw i jednocześnie spowodowały wzrost minimalnej wartości dochodu. Maksymalna wartość dochodu na poziomie 722,53 zł charakteryzuje firmę 2, natomiast najwyższą wartość 1523,56 zł odnotowało przedsiębiorstwo 5, dla którego maksymalna wartość zmiennej *Cena za realizację usługi* również przyjęła najwyższą wartość. Dolny kwartył równy 124,66 zł w firmie 3 oznacza, że 25% obserwacji przyjmuje wartość nie większą niż 124,66 zł, natomiast 75% przyjmuje wartość nie mniejszą. Dla firmy 2 dolny kwartył o wartości 192,55 zł informuje, że 75% obserwacji przyjmuje wartość nie mniejszą niż 192,55 zł. Górny kwartył równy 410 zł charakteryzujący firmę 1 świadczy o tym, że 75% obserwacji ma wartość nie większą niż 410 zł. Zaobserwowano duże wartości wariancji we wszystkich przedsiębiorstwach. Największą wartością wariancji 40866,68 i odchylenia standardowego 202,15 charakteryzuje się firma 1. Najniższą wartością wariancji 14764,98 oraz najniższą wartością odchylenia standardowego 121,5112 charakteryzuje się firma 2. Współczynnik zmienności dla firm 1, 2, 4 i 5 przyjmuje wartość pomiędzy 30%, a 70% co świadczy o przeciętnym stopniu zróżnicowania wartości zmiennej. Dla firm: 3, 6 i 7 współczynnik zmienności przyjmuje wartość powyżej 70% co potwierdza silny stopień zróżnicowania wartości zmiennej. Dodatnia wartość kurtozy dla wszystkich przedsiębiorstw potwierdza, że rozkłady zmiennych są leptokurtyczne. Analiza zmiennej *Dochód* wykazuje duże jej zróżnicowanie, co uzasadnia potrzebę przeprowadzenia szczegółowych badań w zakresie oceny kształtowania dochodu w przedsiębiorstwach transportowych oraz poszukiwania zmiennych determinujących jego wartość.

W celu prawidłowej analizy procesu użytkowania pojazdów samochodowych kategorii N1, źródłową bazę danych zweryfikowano pod względem występowania obserwacji odstających. W badaniach często wykluczane są obserwacje, znajdujące się poza przedziałem obejmującym  $\pm 2$  odchylenia standardowe lub  $\pm 1,5$  odchylenia standardowego od wartości średniej grupowej lub średniej obiektowej. Zdefiniowanie tego, co należy uznać za element

odstający jest subiektywne i ostateczną decyzję dotyczącą identyfikacji obserwacji odstających zawsze należy zweryfikować z doświadczeniem oraz praktyką. Do wykrywania elementów odstających zastosowano testy górne, dolne, dwustronne to m.in. test normalny, Tukeya, Grubbsa, percentyl w zależności od typu i przebiegu zmiennych losowych. Natomiast w przypadku zmiennych jakościowych wykorzystano test częstościowy [158].

Istnieje również możliwość zbadania częstości względnej występowania obserwacji nietypowych w obrębie pewnej liczby grup i dopiero przeprowadzenie takiej analizy może być źródłem otrzymania interpretowalnych wyników. Wówczas obserwacje odstające mogą wynikać z występowania w próbie nietypowego zjawiska odmiennego od oczekiwanego lub zazwyczaj obserwowanego. W takiej sytuacji częstość względna może potwierdzać występowanie odstępstw analizowanego procesu lub zjawiska w obrębie rozpatrywanych grup.

Analiza statystyczna przeprowadzona została również dla wybranych zmiennych jakościowych: *Model pojazdu* (Tab. 6.12.) i *Sezonowość* (tab. 6.13).

Dla zmiennej *Model pojazdu*, dla 4 różnych modeli określono następujące oznaczenia: RM – Renault Master, RS – Renault Mascott, CJ – Citroen Jumper, FD – Fiat Ducato. Dla zmiennej *Sezonowość* 0 – określa sezon dobry, 0,5 – sezon średni, 1 – sezon zły.

Tab. 6.12. Analiza statystyczna dla zmiennej *Model pojazdu*

Model pojazdu	Liczba obserwacji	[%]	[%] skumulowany
RM	5053	38,60	38,60
RS	3625	27,70	66,20
CJ	2734	20,90	87,10
FD	1689	12,90	100,00
Ogółem	13101	100,00	

Tab. 6.13. Analiza statystyczna dla zmiennej *Sezonowość*

Sezonowość	Liczba obserwacji	[%]	[%] skumulowany
0	4297	32,80	32,80
0,5	4307	32,90	65,70
1	4497	34,30	100,00
Ogółem	13101	100,00	

Wyniki analizy statystycznej dla zmiennych jakościowych wykazały, że największy udział w badanej próbie ma model Renault Master. 6 przedsiębiorstw posiada łącznie 9 pojazdów tego modelu. Jedynie firma 4 nie posiada pojazdu tej marki. Najmniejszy udział ma natomiast Fiat Ducato. 3 pojazdy tego modelu są użytkowane przez firmy: 1, 6 i 7. Dominującą marką jest Renault (ponad 66,2% obserwacji). Flota każdego przedsiębiorstwa (od

2 do 7 pojazdów) wykazuje dużą różnorodność. Firma 1 użytkuje 3 różne modele  $PS_{N1}$ , firma 2 posiada dwa pojazdy marki Renault jednak są to dwa różne modele, firma 3 również posiada dwa pojazdy, ale dwóch różnych marek. Firma 4 użytkuje 3 pojazdy dwóch różnych marek. Firma 5 charakteryzująca się najliczniejszą flotą – 7 pojazdów, użytkuje 4 pojazdy Renault Mascott, 2 pojazdy Renault Master i Citroen Jumper, tym samym charakteryzuje się największą jednorodnością pojazdów, co może świadczyć o zaufaniu przewoźnika do marki Renault i przekonaniu o jej niezawodności. Firma 6 posiada 2 pojazdy tego samego modelu oraz dwa różnej marki. Firma 7 użytkuje dwa pojazdy różnej marki. Analiza zmiennej *Sezonowość* wykazała, że wszystkie pojazdy są w równy sposób wykorzystywane w trzech różnych sezonach.

Wyniki statystyki opisowej dla zmiennych ilościowych oraz jakościowych wskazują na złożoność problematyki użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych.

#### **6.4. Modelowanie regresyjne**

Dobrze skonstruowany model statystyczny jest kompromisem pomiędzy dwoma skrajnościami: nadmiernym uproszczeniem, a nadmiernym nagromadzeniem szczegółów. Dokonując wyboru postaci funkcyjnej modelu, autor skoncentrował się na metodach statystycznych, które przy wsparciu programu SPSS Statistics, do którego autor ma nieograniczony dostęp, pozwoliły na przeprowadzenie szczegółowych badań w zakresie użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych.

Statystyka dostarcza narzędzi, które pozwalają zweryfikować pomiędzy zmiennymi rozpoznane już powiązania lub wykryć współzależności do tej pory nieznane. Teoria korelacji i regresji, stanowi podstawę do dokładnego określania stopnia i kierunku powiązania pomiędzy zmiennymi. Analizę regresji wykorzystuje się do modelowania związków zachodzących pomiędzy zmienną losową  $Y$  (zależną, objaśnianą), a jedną lub więcej zmiennymi objaśniającymi (zwanymi predyktorami, niezależnymi, objaśniającymi):  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , gdzie dla  $n = 1$  mamy do czynienia z prostą regresją, natomiast dla  $n > 1$  z regresją wieloczynnikową. Biorąc pod uwagę charakter lub typ zmiennych występujących w roli predyktorów, układy międzygrupowe zawierające tylko predyktory jakościowe (skategoryzowane) mogą być nazywane układami ANOVA (analizy wariancji), z kolei układy międzygrupowe zawierające jedynie predyktory o charakterze ilościowym mogą być określane mianem układów regresji.

Złożoność procesu użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych powoduje, że obserwuje się wiele cech i analizuje ich oddziaływanie na zmienną zależną, stąd też powód doboru takiego narzędzia do modelowania procesu.

Mając do dyspozycji  $n$  obserwacji zmiennych  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$  wywierających wpływ na zmienną  $y$ , liniowy model regresji wieloczynnikowej przyjmuje następującą postać [159]:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (6.8)$$

gdzie:

$\beta_j$  – parametry modelu (współczynniki regresji);

$\varepsilon$  – składnik losowy.

Współczynniki  $\beta_j$  są wartościami teoretycznymi, których wyznaczenie wymagałoby zmierzenia nieskończonej liczby obserwacji. W związku z tym należy posługiwać się oszacowaniami tych współczynników na podstawie próby. Oszacowanie równania regresji wieloczynnikowej przyjmuje postać:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k \quad (6.9)$$

W celu wyznaczenia efektywnych i nieobciążonych estymatorów otrzymanych metodą najmniejszych kwadratów niezbędne jest spełnienie następujących założeń [159]:

1. Model jest liniowy względem parametrów. Przed przystąpieniem do analizy regresji zweryfikowane zostają zależności liniowe pomiędzy zmiennymi. W przypadku niespełnienia tego założenia uzasadnione jest zastosowanie technik nieliniowych lub odpowiednich przekształceń/podstawień sprowadzających do liniowości.
2. Liczba obserwacji  $n$  musi być większa lub równa liczbie szacowanych parametrów tj.  $n \geq k + 1$ . Niespełnienie tego założenia uniemożliwia rozwiązanie układu równań gwarantujących istnienie parametrów. W praktyce liczba obserwacji powinna być wielokrotnie większa od liczby szacowanych parametrów. Większa liczba obserwacji oznacza większą precyzję oszacowania parametrów.
3. Żadna ze zmiennych niezależnych nie jest kombinacją liniową innych zmiennych niezależnych. Założenie oznacza brak współliniowości. Żadna ze zmiennych nie może dostarczać do modelu informacji zawartych w innych zmiennych.
4. Wartość oczekiwana składnika losowego wynosi 0 dla wszystkich  $i=1, 2, \dots, n$ . Założenie to oznacza, że zmienne nieuwzględnione w modelu w istotny sposób nie oddziałują na średnią wartość zmiennej zależnej. Niespełnienie założenia powoduje, że oceny  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$  przestają być zgodne i nieobciążone, a tym samym wyznaczone parametry będą obarczone systematycznym błędem.
5. Wariancja składnika losowego jest taka sama dla wszystkich obserwacji  $i=1, 2, \dots, n$  (homoscedastyczność reszt). Założenie homoscedastyczności oznacza, że zmienne uwzględnione w modelu mają jednakowy rozrzut (jednakową zmienność) niezależnie

od numeru obserwacji. Jeżeli założenie nie jest spełnione wówczas występuje heteroscedastyczność oraz konieczność dokonania pewnej transformacji modelu w celu otrzymania modelu homoscedastycznego.

6. Składniki losowe (reszty) są nieskorelowane. Jeżeli założenie nie jest spełnione wówczas występuje autokorelacja, z której wynika, że wyznaczone estymatory nie są efektywne. Przyczyną autokorelacji może być niewłaściwie dobrana postać funkcyjna modelu regresji.
7. Każdy ze składników losowych (reszty) ma rozkład normalny. Niespełnienie założenia uniemożliwia weryfikację hipotez dotyczących wartości wyznaczonych parametrów  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ .

W praktyce nie jest możliwe uzyskanie pełnej informacji o całej populacji. Funkcja regresji wyznaczona metodą najmniejszych kwadratów na podstawie próby wylosowanej z populacji generalnej jest aproksymacją regresji w całej populacji. Z wyznaczeniem funkcji regresji wiąże się problem oceny różnic opisujących rozbieżność pomiędzy wartościami zmiennej zależnej oraz wartościami wyliczonymi z modelu. Jako miarę tej rozbieżności można zastosować odchylenie standardowe reszt. W statystyce dokładność estymatora mierzy jego wariancja. Błąd standardowy estymacji informuje o przeciętnej wielkości odchyłek empirycznych wartości zmiennej zależnej od wartości wyznaczonych za pomocą modelu i określony jest wzorem [158]:

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}} \quad (6.10)$$

gdzie:

$y_i$  – wartości empiryczne;

$\hat{y}_i$  – wartości teoretyczne;

$n$  – liczba elementów.

Im mniejsza wartość błędu standardowego estymacji  $S_e$  tym lepsze dopasowanie modelu. W modelowaniu regresji niezbędne jest wyznaczenie współczynnika determinacji. Podstawę do wyznaczenia współczynnika determinacji stanowi suma kwadratów odchyłek poszczególnych obserwacji od ich średniej co można opisać następującą zależnością [159]:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (6.11)$$

gdzie:

$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$  – całkowita suma kwadratów;

$\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$  – wyjaśniona suma kwadratów opisująca zmienność wyjaśnioną przez model;

$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$  – resztowa suma kwadratów opisująca zmienność niewyjaśnioną przez model;

Współczynnik determinacji oznacza stosunek zmienności wyjaśnionej do zmienności całkowitej i jest określony następującym równaniem [159]:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (6.12)$$

Wprowadzenie do modelu kolejnych (dodatkowych) zmiennych powoduje wzrost współczynnika  $R^2$  natomiast celem prowadzonych badań jest wskazanie związku pomiędzy zmiennymi oraz rzetelna ocena parametrów, a nie maksymalizacja współczynnika dopasowania. Szczególną ostrożność należy zachować w przypadkach gdy  $n=k+1$  (wówczas  $R^2=1$ ), gdy model nie jest liniowy lub gdy występuje współliniowość zmiennych niezależnych. W sytuacji gdy zmienne niezależne są skorelowane, wówczas pozbawiają się nawzajem mocy wyjaśniającej. W takiej sytuacji uzasadnione jest wykorzystanie poprawionego (skorygowanego)  $R^2$ . Wartość skorygowanego  $R^2$  maleje przy wprowadzaniu do modelu zmiennych niepowodujących znaczącego przyrostu sumy kwadratów odchyień.

Korelacje cząstkowe są korelacjami pomiędzy daną zmienną niezależną z uwzględnieniem jej skorelowania ze wszystkimi pozostałymi zmiennymi, a zmienną zależną z uwzględnieniem jej skorelowania ze wszystkimi pozostałymi zmiennymi. Współczynniki te wyjaśniają wpływ w sensie współzmienności, a nie w kontekście zależności przyczynowo-skutkowej. Dobierając zmienne do modelu należy pamiętać, aby były one silnie skorelowane ze zmienną zależną oraz bardzo słabo skorelowane ze sobą. Współczynniki korelacji cząstkowej i semicząstkowej służą do wykrywania współliniowości (sprawdzenie założenia 3). Możliwe jest wyznaczenie różnych wskaźników nadmiarowości. Jednym z tych wskaźników jest *Tolerancja*. Im mniejsza tolerancja zmiennej tym bardziej nadmiarowy jest jej wkład w równanie regresji. Jeżeli tolerancja jest bliska lub równa 0 wówczas nie jest możliwe wyznaczenie współczynników równania regresji. W sytuacji gdy tolerancja rozpatrywanej zmiennej ma wartość mniejszą niż 0,1 wówczas wyznaczony model regresji nie jest przydatny.

Celem głównym podjętego w rozprawie modelowania jest ocena wpływu istotnych zmiennych techniczno-eksploatacyjnych na efektywność procesu użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych. W ocenie autora, zastosowanie w tym celu metody analizy regresji wieloczynnikowej, umożliwi:

- weryfikację mierzalnej informacji, jaką można uzyskać ze zbioru zmiennych niezależnych w odniesieniu do zmiennej zależnej w każdym przedsiębiorstwie;
- rozpoznanie wielkości i rodzaju wpływu jednej zmiennej na drugą;



- określenie zmiennych objaśniających, najlepiej nadających się do prognozowania efektywności ekonomicznej procesu użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych;
- weryfikację przyjętych hipotez badawczych opierających się na sformułowanych problemach badawczych;
- predykcję wartości zmiennej zależnej w procesie użytkowania  $PS_{N1}$  w różnych warunkach oddziaływania otoczenia, różnej strategii i polityki transportowej w przedsiębiorstwach przewozowych;
- opracowanie narzędzia usprawniającego zarządzanie procesem użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych w aspekcie efektywności ekonomicznej.

Opracowanie modelu matematycznego dla każdego przedsiębiorstwa ma stanowić narzędzie usprawniające proces użytkowania  $PS_{N1}$  oraz wspierające procesy decyzyjne w odniesieniu do przyjętej strategii eksploatacji. Na podstawie przyjętych założeń modelu oraz określeniu istotnych zmiennych niezależnych, sformułowano ogólne równanie liniowe, którego zmienną wynikową jest *Dochód*  $D_u$ :

$$D_u = b_0 + b_1P_u + b_2J_u + b_3C_u + b_4W_u + b_5S_u + b_6L_p + b_7M_u + b_8K_k + b_9R_u + \varepsilon \quad (6.13)$$

Modelowanie regresji wieloczynnikowej przeprowadzono kolejno dla każdego przedsiębiorstwa transportowego. Rozpatrzono różne warianty modeli zarówno liniowych jak i nieliniowych z uwzględnieniem zmiennych istotnych statystycznie natomiast modele regresji w rozpatrywanych przedsiębiorstwach zbudowano na podstawie zmiennych najbardziej skorelowanych ze zmienną wynikową. Wprowadzanie do modeli regresji zmiennych nieistotnych statystycznie było przyczyną nie tylko zmniejszenia wartości współczynnika dopasowania ale również nie spełnienia założenia dotyczącego normalności reszt. Efektem przeprowadzonych badań było sformułowanie równania liniowego dla trzech predyktorów najbardziej skorelowanych ze zmienną wynikową:

$$D_u = b_0 + b_1P_u + b_2M_u + b_3R_u + \varepsilon \quad (6.14)$$

Wyniki analizy regresji wieloczynnikowej przedstawiono w tab. 6.14. – 6. 34.

Dla przedsiębiorstwa 1 przedstawia się następujące wyniki przeprowadzonej regresji wieloczynnikowej (tab. 6.14 – tab. 6.16.).

Tab. 6.14. Podsumowanie regresji wieloczynnikowej zmiennej zależnej *Dochód*  $D_u$  dla przedsiębiorstwa 1

	<b>b*</b>	<b>bl. std. z b*</b>	<b>b</b>	<b>bl. std. z b</b>	<b>t</b>	<b>p</b>
<b>Wyraz wolny</b>			-185,0618	10,5756	-17,4989	0,0000
<b>Przebieg dzienny <math>P_u</math> [km]</b>	-0,3562	0,0081	-0,5257	0,0120	-43,8432	0,0000
<b>Masa ładunku <math>M_u</math> [kg]</b>	-0,1276	0,0085	-0,0762	0,0051	-14,9663	0,0000
<b>Cena za realizację usługi <math>R_u</math> [zł]</b>	0,9237	0,0086	1,2196	0,0113	107,8035	0,0000

Tab. 6.15. Wyniki analizy regresji dla przedsiębiorstwa 1

<b>R</b>	0,9234
<b>R<sup>2</sup></b>	0,8526
<b>Poprawione R<sup>2</sup></b>	0,8524
<b>Błąd std. estymacji</b>	2,4930

Wyznaczony model regresji dla przedsiębiorstwa 1 ma następującą postać:

$$D_{u1} = -185,0618 - 0,5257P_u - 0,0762M_u + 1,1296R_u \pm 2,493 \quad (6.15)$$

Wartość współczynnika determinacji  $R^2 = 0,8526$  oznacza, że 85% ogólnej zmienności zmiennej *Dochód*  $D_u$  jest wyjaśnione przez model. Pozostałe 15% zostało ukryte w czynniku losowym. Błąd standardowy estymacji równy 2,493 oznacza przeciętne odchylenie zmiennej *Dochód*  $D_u$  obserwowanej w próbie od wartości wyznaczonej z modelu.

Wyznaczone z próby współczynniki regresji stanowią oszacowania współczynników regresji dla całej populacji. Są one obarczone błędem w postaci średniego błędu szacunku parametrów, stanowiącym oszacowanie średniej rozbieżności pomiędzy parametrami modelu, a jego możliwymi ocenami. Dla modelu regresji w przedsiębiorstwie 1 otrzymano:

- oceny parametru  $b_0$  odchylają się od tego parametru o 10,5756;
- oceny parametru  $b_1$  odchylają się od tego parametru o 0,0120;
- oceny parametru  $b_2$  odchylają się od tego parametru o 0,0051;
- oceny parametru  $b_3$  odchylają się od tego parametru o 0,0113.

Szacując wyraz wolny  $b_0 = -185,0618$  możliwe popelnienie błędu wynosi średnio 10,5756, zatem błąd szacunku wynosi  $10,5756/185,0618=0,0571$ . Błędy szacunku oraz wysoka istotność otrzymanych parametrów potwierdzają dobre dopasowanie modelu. Tolerancja większa od 0,1 świadczy, że w modelu nie ma zmiennych nadmiarowych (tab. 6.16).

Tab. 6.16. Analiza nadmiarowości modelu regresji dla przedsiębiorstwa 1

<b>Nadmiarowość</b>	<b>Tolerancja</b>	<b>R-kwadr.</b>
<b>Przebieg dzienny <math>P_u</math> [km]</b>	0,9873	0,0127
<b>Masa ładunku <math>M_u</math> [kg]</b>	0,8973	0,1027
<b>Cena za realizację usługi <math>R_u</math> [zł]</b>	0,8878	0,1122

Dla przedsiębiorstwa 2 przedstawia się następujące wyniki przeprowadzonej regresji wieloczynnikowej (tab. 6.17 – 6.19).

Tab. 6.17. Podsumowanie regresji wieloczynnikowej zmiennej zależnej *Dochód*  $D_u$  dla przedsiębiorstwa 2

	<b>b*</b>	<b>bl. std. z b*</b>	<b>b</b>	<b>bl. std. z b</b>	<b>t</b>	<b>p</b>
<b>Wyraz wolny</b>			-213,1797	11,6135	-18,3562	0,0000
<b>Przebieg dzienny <math>P_u</math> [km]</b>	-0,5185	0,0141	-0,4777	0,0130	-36,8328	0,0000
<b>Masa ładunku <math>M_u</math> [kg]</b>	-0,1049	0,0123	-0,0566	0,0066	-8,5250	0,0000
<b>Cena za realizację usługi <math>R_u</math> [zł]</b>	1,0558	0,0138	1,2448	0,0163	76,2538	0,0000

Tab. 6.18. Wyniki analizy regresji dla przedsiębiorstwa 2

<b>R</b>	0,9220
<b>R<sup>2</sup></b>	0,8501
<b>Poprawione R<sup>2</sup></b>	0,8497
<b>Błąd std. estymacji</b>	5,8312

Wyznaczony model regresji dla przedsiębiorstwa 2 ma następującą postać:

$$D_{u2} = -213,1797 - 0,4777P_u - 0,0566M_u + 1,2448R_u \pm 5,8312 \quad (6.16)$$

Wartość współczynnika determinacji  $R^2 = 0,8501$  oznacza, że model wyjaśnia 85% zaobserwowanej zmienności. Błąd standardowy estymacji równy 5,8312 oznacza przeciętne odchylenie zmiennej *Dochód*  $D_u$  obserwowanej w próbie od wartości wyznaczonej z modelu.

Wyznaczone z próby współczynniki regresji stanowią oszacowania współczynników regresji dla całej populacji. Są one obarczone błędem w postaci średniego błędu szacunku parametrów, stanowiącym oszacowanie średniej rozbieżności pomiędzy parametrami modelu, a jego możliwymi ocenami. Dla modelu regresji w przedsiębiorstwie 2 otrzymano:

- oceny parametru  $b_0$  odchylają się od tego parametru o 11,6135;
- oceny parametru  $b_1$  odchylają się od tego parametru o 0,0130;
- oceny parametru  $b_2$  odchylają się od tego parametru o 0,0066;
- oceny parametru  $b_3$  odchylają się od tego parametru o 0,0163.

Szacując wyraz wolny  $b_0 = -213,1797$  średni błąd oszacowania wynosi 11,6135, zatem błąd szacunku wynosi  $11,6135/213,1797 = 0,0544$ . Błędy szacunku oraz wysoka istotność otrzymanych parametrów potwierdzają dobre dopasowanie modelu. Tolerancja większa od 0,1 świadczy, że w modelu nie ma zmiennych nadmiarowych.

Tab. 6.19. Analiza nadmiarowości modelu regresji dla przedsiębiorstwa 2

<b>Nadmiarowość</b>	<b>Tolerancja</b>	<b>R-kwadr.</b>
<b>Przebieg dzienny <math>P_u</math> [km]</b>	0,7358	0,2642
<b>Masa ładunku <math>M_u</math> [kg]</b>	0,9626	0,0374
<b>Cena za realizację usługi <math>R_u</math> [zł]</b>	0,7605	0,2395

Wyniki modelowania matematycznego przeprowadzone dla przedsiębiorstwa 3 zaprezentowane zostały w tab. 6.20 – 6.22.

Tab. 6.20. Podsumowanie regresji wieloczynnikowej zmiennej zależnej *Dochód*  $D_u$  dla przedsiębiorstwa 3

	<b>b*</b>	<b>bl. std. z b*</b>	<b>b</b>	<b>bl. std. z b</b>	<b>t</b>	<b>p</b>
<b>Wyraz wolny</b>			-174,0506	10,2745	-16,9401	0,0000
<b>Przebieg dzienny <math>P_u</math> [km]</b>	-0,5052	0,0150	-0,5507	0,0163	-33,7165	0,0000
<b>Masa ładunku <math>M_u</math> [kg]</b>	-0,1987	0,0150	-0,0854	0,0064	-13,2609	0,0000
<b>Cena za realizację usługi <math>R_u</math> [zł]</b>	1,0410	0,0142	1,2342	0,0168	73,4669	0,0000

Tab. 6.21. Wyniki analizy regresji dla przedsiębiorstwa 3

<b>R</b>	0,9140
<b>R<sup>2</sup></b>	0,8354
<b>Poprawione R<sup>2</sup></b>	0,8349
<b>Błąd std. estymacji</b>	2,4488

Dla przedsiębiorstwa 3 wyznaczony model regresji przyjmuje postać:

$$D_{u3} = -174,0506 - 0,5507P_u - 0,0854M_u + 1,2342R_u \pm 2,4488 \quad (6.17)$$

Wartość współczynnika determinacji  $R^2 = 0,8354$  oznacza, że opracowany model wyjaśnia w 83% ogólnej zmienności zmiennej *Dochód*  $D_u$ . Błąd standardowy estymacji równy 2,4488 oznacza przeciętne odchylenie zmiennej *Dochód*  $D_u$  obserwowanej w próbie od wartości wyznaczonej z modelu.

Wyznaczone współczynniki regresji są one obarczone błędem w postaci średniego błędu szacunku parametrów. Dla modelu regresji w przedsiębiorstwie 3 otrzymano:

- oceny parametru  $b_0$  odchylają się od tego parametru o 10,2745;
- oceny parametru  $b_1$  odchylają się od tego parametru o 0,0163;
- oceny parametru  $b_2$  odchylają się od tego parametru o 0,0064;
- oceny parametru  $b_3$  odchylają się od tego parametru o 0,0168.

Dla wyrazu wolnego równego -174,0506 błąd szacunku wynosi 10,2745/174,0506 = 0,0590. Niska wartość błędu szacunku oraz wysoka istotność otrzymanych parametrów potwierdzają dobre dopasowanie modelu. Analiza nadmiarowości, wykazała, że wskaźnik *Tolerancji* jest większy od 0,1 co świadczy o tym, że w modelu nie ma zmiennych nadmiarowych (tab. 6.22).

Tab. 6.22. Analiza nadmiarowości modelu regresji dla przedsiębiorstwa 3

Nadmiarowość	Tolerancja	R-kwadr.
Przebieg dzienny $P_u$ [km]	0,6647	0,3353
Masa ładunku $M_u$ [kg]	0,6649	0,3351
Cena za realizację usługi $R_u$ [zł]	0,7433	0,2567

Wyniki analizy regresji wieloczynnikowej, przeprowadzonej dla przedsiębiorstwa 4, zaprezentowane zostały w tab. 6.23 – 6.25.

Tab. 6.23. Podsumowanie regresji wieloczynnikowej zmiennej zależnej *Dochód  $D_u$*  dla przedsiębiorstwa 4

	$b^*$	bl. std. z $b^*$	$b$	bl. std. z $b$	$t$	$p$
Wyraz wolny			-263,7401	7,6668	-34,4003	0,0000
Przebieg dzienny $P_u$ [km]	-0,3506	0,0092	-0,4181	0,0110	-38,0820	0,0000
Masa ładunku $M_u$ [kg]	-0,0431	0,0095	-0,0240	0,0053	-4,5322	0,0000
Cena za realizację usługi $R_u$ [zł]	0,9440	0,0095	1,2041	0,0121	99,4834	0,0000

Tab. 6.24. Wyniki analizy regresji dla przedsiębiorstwa 4

<b>R</b>	0,9359
<b>R<sup>2</sup></b>	0,8759
<b>Poprawione R<sup>2</sup></b>	0,8756
<b>Błąd std. estymacji</b>	4,7180

Wyznaczony model regresji dla przedsiębiorstwa 4 przyjmuje postać:

$$D_{u4} = -263,7401 - 0,4118P_u - 0,0240M_u + 1,2041R_u \pm 4,7180 \quad (6.18)$$

Wartość współczynnika determinacji  $R^2 = 0,8759$  wyjaśnia 87% ogólnej zmienności zmiennej *Dochód  $D_u$* . Błąd standardowy estymacji równy 4,7180 oznacza przeciętne odchylenie zmiennej *Dochód  $D_u$*  obserwowanej w próbie od wartości wyznaczonej z modelu.

Oszacowane średnie błędy szacunku parametrów dla modelu regresji w przedsiębiorstwie 4 przyjmują następujące wartości:

- oceny parametru  $b_0$  odchylają się od tego parametru o 7,6668;
- oceny parametru  $b_1$  odchylają się od tego parametru o 0,0110;
- oceny parametru  $b_2$  odchylają się od tego parametru o 0,0053;
- oceny parametru  $b_3$  odchylają się od tego parametru o 0,0121.

Dla wyrazu wolnego równego -263,7401 błąd szacunku wynosi  $7,6668/263,7401 = 0,0290$ . Dobre dopasowanie modelu potwierdza niska wartość błędu szacunku oraz istotność

otrzymanych parametrów. Wartość wskaźnika tolerancji większa od 0,1 świadczy, że model nie ma zmiennych nadmiarowych (tab. 6.25).

Tab. 6.25. Analiza nadmiarowości modelu regresji dla przedsiębiorstwa 4

Nadmiarowość	Tolerancja	R-kwadr.
Przebieg dzienny $P_u$ [km]	0,9446	0,0554
Masa ładunku $M_u$ [kg]	0,8841	0,1159
Cena za realizację usługi $R_u$ [zł]	0,8894	0,1106

W tab. 6.26 – 6.28 przedstawione zostały wyniki analizy regresji wieloczynnikowej przeprowadzonej dla przedsiębiorstwa 5.

Tab. 6.26. Podsumowanie regresji wieloczynnikowej zmiennej zależnej *Dochód  $D_u$*  dla przedsiębiorstwa 5

	$b^*$	bl. std. z $b^*$	$b$	bl. std. z $b$	$t$	$p$
Wyraz wolny			-240,1214	6,1274	-39,1884	0,0000
Przebieg dzienny $P_u$ [km]	-0,4116	0,0069	-0,4825	0,0081	-59,8139	0,0000
Masa ładunku $M_u$ [kg]	-0,0404	0,0064	-0,0264	0,0042	-6,3208	0,0000
Cena za realizację usługi $R_u$ [zł]	1,0144	0,0069	1,2237	0,0083	147,1997	0,0000

Tab. 6.27. Wyniki analizy regresji dla przedsiębiorstwa 5

<b>R</b>	0,9271
<b>R<sup>2</sup></b>	0,8594
<b>Poprawione R<sup>2</sup></b>	0,8593
<b>Błąd std. estymacji</b>	5,1042

Model regresji dla przedsiębiorstwa 5 ma następującą postać:

$$D_{u5} = -240,1214 - 0,4825P_u - 0,0264M_u + 1,2237R_u \pm 5,1042 \quad (6.19)$$

Współczynnik determinacji  $R^2 = 0,8594$  wyjaśnia 86% ogólnej zmienności zmiennej *Dochód  $D_u$* . Błąd standardowy estymacji równy 5,1042 oznacza przeciętne odchylenie zmiennej *Dochód  $D_u$*  obserwowanej w próbie od wartości wyznaczonej z modelu.

Wyznaczone współczynniki regresji są obarczone błędem w postaci średniego błędu szacunku parametrów, stanowiącym oszacowanie średniej rozbieżności pomiędzy parametrami modelu, a jego możliwymi ocenami:

- oceny parametru  $b_0$  odchylają się od tego parametru o 6,1274;
- oceny parametru  $b_1$  odchylają się od tego parametru o 0,0081;
- oceny parametru  $b_2$  odchylają się od tego parametru o 0,0042;
- oceny parametru  $b_3$  odchylają się od tego parametru o 0,0083.

Błąd szacunku dla oszacowanego wyrazu wolnego równego -240,1214 wynosi 0,0255, co wraz z istotnością otrzymanych parametrów potwierdza dobre dopasowanie modelu. Tolerancja na poziomie większym od 0,1 świadczy, że w modelu nie ma zmiennych nadmiarowych (tab. 6.28).

Tab. 6.28. Analiza nadmiarowości modelu regresji dla przedsiębiorstwa 5

Nadmiarowość	Tolerancja	R-kwadr.
Przebieg dzienny $P_u$ [km]	0,8191	0,1809
Masa ładunku $M_u$ [kg]	0,9506	0,0494
Cena za realizację usługi $R_u$ [zł]	0,8168	0,1832

Wyniki analizy regresji wieloczynnikowej przeprowadzonej dla przedsiębiorstwa 6 przedstawiono kolejno w tab. 6.29.

Tab. 6.29. Podsumowanie regresji wieloczynnikowej zmiennej zależnej *Dochód  $D_u$*  dla przedsiębiorstwa 6

	<b>b*</b>	bl. std. z b*	<b>b</b>	bl. std. z b	<b>t</b>	<b>p</b>
Wyraz wolny			-198,3156	8,7076	-22,7750	0,0000
Przebieg dzienny $P_u$ [km]	-0,3010	0,0081	-0,5364	0,0144	-37,2297	0,0000
Masa ładunku $M_u$ [kg]	-0,1324	0,0087	-0,0700	0,0046	-15,2274	0,0000
Cena za realizację usługi $R_u$ [zł]	0,9708	0,0088	1,2374	0,0112	110,3966	0,0000

Tab. 6.30. Wyniki analizy regresji dla przedsiębiorstwa 6

<b>R</b>	0,9235
<b>R<sup>2</sup></b>	0,8529
<b>Poprawione R<sup>2</sup></b>	0,8527
<b>Błąd std. estymacji</b>	6,9108

Wyznaczony model regresji dla przedsiębiorstwa 6 przyjmuje postać:

$$D_{u6} = -198,3156 - 0,5364P_u - 0,0700M_u + 1,2374R_u \pm 6,9108 \quad (6.20)$$

Wartość współczynnika determinacji  $R^2 = 0,8529$  oznacza, że 85% ogólnej zmienności zmiennej *Dochód  $D_u$*  jest wyjaśnione przez model. Błąd standardowy estymacji równy 6,9108 oznacza przeciętne odchylenie zmiennej *Dochód  $D_u$*  obserwowanej w próbie od wartości wyznaczonej z modelu. Dla modelu regresji w przedsiębiorstwie 6 otrzymano następujące błędy szacunku:

- oceny parametru  $b_0$  odchylają się od tego parametru o 8,7076;
- oceny parametru  $b_1$  odchylają się od tego parametru o 0,0144;
- oceny parametru  $b_2$  odchylają się od tego parametru o 0,0046;
- oceny parametru  $b_3$  odchylają się od tego parametru o 0,0112.

Błąd szacunku dla wyrazu wolnego równego -198,3156 wynosi 0,0439. Potwierdza się dobre dopasowanie modelu oraz brak zmiennych nadmiarowych w modelu (tab. 6.31).

Tab. 6.31. Analiza nadmiarowości modelu regresji dla przedsiębiorstwa 6

Nadmiarowość	Tolerancja	R-kwadr.
Przebieg dzienny $P_u$ [km]	0,9693	0,0307
Masa ładunku $M_u$ [kg]	0,8379	0,1621
Cena za realizację usługi $R_u$ [zł]	0,8193	0,1807

Dla 7 przedsiębiorstwa wyniki analizy regresji wieloczynnikowej przedstawiono w tab. 6.32 – 6.34.

Tab. 6.32. Podsumowanie regresji wieloczynnikowej zmiennej zależnej *Dochód*  $D_u$  dla przedsiębiorstwa 7

	$b^*$	bl. std. z $b^*$	$b$	bl. std. z $b$	$t$	$p$
Wyraz wolny			-263,9221	9,0039	-29,3121	0,0000
Przebieg dzienny $P_u$ [km]	-0,3429	0,0099	-0,5478	0,0159	-34,5329	0,0000
Masa ładunku $M_u$ [kg]	-0,1165	0,0105	-0,0405	0,0036	-11,1054	0,0000
Cena za realizację usługi $R_u$ [zł]	1,0047	0,0108	1,2830	0,0137	93,3654	0,0000

Tab. 6.33. Wyniki analizy regresji dla przedsiębiorstwa 7

<b>R</b>	0,9442
<b>R<sup>2</sup></b>	0,8915
<b>Poprawione R<sup>2</sup></b>	0,8912
<b>Błąd std. estymacji</b>	5,3848

Model regresji dla przedsiębiorstwa 7 przyjmuje postać:

$$D_{u7} = -263,9221 - 0,5478P_u - 0,0405M_u + 1,2830R_u \pm 5,3848 \quad (6.21)$$

Wyznaczona wartość współczynnika determinacji  $R^2 = 0,8915$  oznacza, że 89% ogólnej zmienności zmiennej *Dochód*  $D_u$  jest wyjaśnione przez model. Błąd standardowy estymacji równy 5,3848 oznacza przeciętne odchylenie zmiennej *Dochód*  $D_u$  obserwowanej w próbie od wartości wyznaczonej z modelu. Dla poszczególnych współczynników modelu regresji otrzymano następujące błędy szacunku:

- oceny parametru  $b_0$  odchylają się od tego parametru o 9,0039;
- oceny parametru  $b_1$  odchylają się od tego parametru o 0,0159;
- oceny parametru  $b_2$  odchylają się od tego parametru o 0,0036;
- oceny parametru  $b_3$  odchylają się od tego parametru o 0,0137.

Błąd szacunku dla wyrazu wolnego równego -263,9221 wynosi 0,0341. Potwierdza się dobre dopasowanie modelu oraz brak zmiennych nadmiarowych w modelu (tab. 6.34).



Tab. 6.34. Analiza nadmiarowości modelu regresji dla przedsiębiorstwa 7

Nadmiarowość	Tolerancja	R-kwadr.
Przebieg dzienny $P_u$ [km]	0,9433	0,0567
Masa ładunku $M_u$ [kg]	0,8459	0,1541
Cena za realizację usługi $R_u$ [zł]	0,8033	0,1967

Dobór metody modelowania, którą jest regresja wieloczynnikowa oraz poszczególne jej etapy tj. szacowanie estymatorów modelu regresji, błędu standardowego estymacji, współczynnika determinacji  $R^2$ , wskaźnika nadmiarowości oraz weryfikacja hipotez statystycznych, umożliwiły opracowanie modeli matematycznych, które stanowią podstawę do predykcji wartości zmiennej *Dochód*  $D_u$  w procesie użytkowania  $PS_{N1}$  w poszczególnych przedsiębiorstwach transportowych.

Kolejnym etapem modelowania jest weryfikacja modelu regresyjnego i spełnienie czterech spośród siedmiu założeń dotyczących analizy reszt. Przeprowadzenie weryfikacji skutecznie wykrywa odstępstwa od poprawnej analizy regresji. Analiza reszt umożliwia wykrycie obserwacji odstających, które w istotny sposób mogą wpływać na model regresji. Wówczas usunięcie elementu odstającego może prowadzić do otrzymania zupełnie innych wyników prowadzonej analizy. Z tego względu po oszacowaniu parametrów modelu w kolejnym etapie konieczna jest analiza wartości resztowych. Poprawnie skonstruowany model powinien charakteryzować się określonymi własnościami reszt tj. normalność, stałość wariancji, brak autokorelacji oraz wartość oczekiwana równa 0. W pierwszej kolejności analizy weryfikuje się założenia dotyczące normalności reszt, co jest konieczne dla weryfikacji istotności otrzymanych parametrów. Jeżeli założenie o normalności jest niespełnione wówczas oceny istotności współczynników regresji mogą być zaburzone. Za pomocą testu Shapiro-Wilka na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  zweryfikowano hipotezę o normalności rozkładu reszt. Określono następującą hipotezę zerową  $H_0$  oraz hipotezę alternatywną  $H_1$ :

$H_0$  – otrzymane reszty mają rozkład normalny;

$H_1$  – otrzymane reszty nie mają rozkładu normalnego.

Jeżeli  $p < \alpha$  należy odrzucić hipotezę  $H_0$  na korzyść  $H_1$ . W sytuacji gdy  $p > \alpha$  wówczas nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$ . Statystyka testowa określona jest wzorem:

$$S - W = \frac{[\sum_{i=1}^{\lfloor n/2 \rfloor} a_{n,j}(x_{(n-i+1)} - x_{(i)})]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6.22)$$

gdzie:

$a_{n,j}$  – stabilizowane współczynniki testu odczytane dla liczebności próby  $n$ ;

$x_{(i)}$  – wartości w próbie uporządkowane w sposób rosnący;

$x_i$  – nieuporządkowane wartości w próbie;

$\bar{x}$  – średnia arytmetyczna z próby;

$n$  – liczebność z próby.

Wyniki statystyk Shapiro-Wilka dla otrzymanych reszt w zależności od przedsiębiorstwa zestawiono w tab. 6.35.

Tab. 6.35. Wyniki testu normalności reszt

Przedsiębiorstwo	Statystyka testowa Shapiro-Wilka	p - vaule
1	S-W=0,9724	p=0,7654
2	S-W=0,9783	p=0,8872
3	S-W=0,9708	p=0,7294
4	S-W=0,9715	p=0,7449
5	S-W=0,9741	p=0,8031
6	S-W=0,9804	p=0,9215
7	S-W=0,9819	p=0,9431

Dokonując analizy danych z tab. 6.35. na poziomie istotności 0,05 nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej zatem otrzymane reszty w każdym z rozpatrywanych przedsiębiorstw mają rozkład normalny.

Kolejne założenie analizy regresji, które należy sprawdzić dotyczy braku autokorelacji składnika losowego. Do weryfikacji autokorelacji reszt wykorzystano test Durbina-Watsona, który polega na oszacowaniu współczynnika korelacji  $\rho$  pomiędzy  $e_i$  oraz  $e_{i-1}$  zgodnie z zależnością [158]:

$$d = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (6.23)$$

gdzie:

$e_i$  – otrzymane reszty modelu;

$n$  – liczebność próby.

Poza wartością testu  $d$  wyznaczony jest również estymator  $\hat{\rho}$  współczynnika autokorelacji. Wartość statystyki  $d$  należy do przedziału  $[0,4]$ . Sposób weryfikacji hipotezy zależy od postawionej hipotezy alternatywnej, zaś hipoteza alternatywna jest uzależniona od znaku estymatora  $\hat{\rho}$ . Możliwe są następujące sytuacje [158]:

1. Jeżeli  $\hat{\rho} > 0$  wówczas:

$H_0$  – współczynnik autokorelacji  $\rho = 0$ ;

$H_1$  – współczynnik autokorelacji  $\rho > 0$ .

Po wyznaczeniu wartości statystyki  $d$  dla ustalonego poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ , z tablic statystycznych należy odczytać wartości  $d_L$  oraz  $d_U$ , a następnie:

– gdy  $d \geq d_U$ , nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$ ;

- gdy  $d \leq d_L$ , należy odrzucić  $H_0$  na korzyść  $H_1$ ;
- gdy  $d_L < d < d_U$ , brak rozstrzygnięcia testu.

2. Jeżeli  $\hat{\rho} < 0$  wówczas:

$H_0$  – współczynnik autokorelacji  $\rho = 0$ ;

$H_1$  – współczynnik autokorelacji  $\rho < 0$ .

Po wyznaczeniu wartości testu  $d$  dla przyjętego poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ , z tablic statystycznych należy odczytać wartość  $d_L$  oraz  $d_U$ , a następnie:

- gdy  $d \leq 4 - d_U$ , nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$ ;
- gdy  $d \geq 4 - d_L$ , należy odrzucić  $H_0$  na korzyść  $H_1$ ;
- gdy  $4 - d_U < d < 4 - d_L$ , brak rozstrzygnięcia testu.

Poprawne wykorzystanie testu Durбина-Watsona musi spełniać następujące założenia:

1. Rozpatrywany model musi posiadać wyraz wolny.
2. Wyznaczone reszty powinny mieć rozkład normalny.
3. Liczba obserwacji powinna być większa od 15.
4. W modelu nie powinna występować opóźniona zmienna zależna w charakterze zmiennej niezależnej.

Test Durбина-Watsona dotyczy autokorelacji pierwszego rzędu, jego wyniki w zależności od przedsiębiorstwa zestawiono w tab. 6.36.

Tab. 6.36. Wyniki testu Durбина-Watsona

Przedsiębiorstwo	Statystyka testowa Durбина-Watsona
1	d=1,9817
2	d=1,9864
3	d=1,9783
4	d=1,9738
5	d=1,9905
6	d=1,9856
7	d=1,9761

Dokonując analizy wartości statystyki testowej Durбина-Watsona należy stwierdzić, że na poziomie istotności 0,05 nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej, zatem współczynniki korelacji reszt w rozpatrywanych przedsiębiorstwach są równe 0.

Kolejny etap weryfikacji dotyczy założenia homoscedastyczności reszt co oznacza, że wariancja składnika losowego jest jednakowa dla wszystkich obserwacji. Ponieważ rozpatrywane przedsiębiorstwa nie były równoliczne pod względem liczby obserwacji w celu sprawdzenia założenia o homoscedastyczności reszt zastosowano test Bartletta. Statystyka testowa określona jest wzorem:

$$M = \frac{-\sum_{i=1}^k (n_i - 1) \ln \frac{\hat{S}_i^2}{\hat{S}^2}}{1 + \frac{1}{3(k-1)} \left[ \sum_{i=1}^k \frac{1}{n_i - 1} - \frac{1}{n-k} \right]} \quad (6.24)$$

gdzie:

$\hat{S}_i^2$  – jest estymatorem wariancji  $i$ -tej próby zaś  $\hat{S}^2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \hat{S}_i^2$ .

Postawiono następujące hipotezy:

$$H_0 - \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2,$$

$H_1$  – co najmniej jedna wariancja  $\sigma_i^2$  jest inna niż pozostałe.

Statystyka testowa  $M$  ma rozkład  $\chi_{k-1}^2$  więc jeśli  $M > \chi_{k-1}^2$  wówczas należy odrzucić hipotezę zerową na korzyść hipotezy alternatywnej. Korzystając z tablic rozkładu  $\chi^2$  otrzymano  $\chi_{\alpha, k-1}^2 = 12.5916$  zatem zbiór krytyczny określony jest następująco  $W = [12.5916; \infty)$ . Wyznaczając wartość statystyki testowej otrzymano  $M = 6.3592$ . Ponieważ  $M$  nie należy do obszaru krytycznego  $W$ , na poziomie istotności 0.05 nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej, zatem reszty są homoscedastyczne. Z przeprowadzonej analizy wynika, że modele regresji zostały prawidłowo skonstruowane i mogą być wykorzystane do modelowania procesu użytkowania pojazdów samochodowych kategorii N1 w przedsiębiorstwach transportowych.

Ostatni etap weryfikacji modelu dotyczył sprawdzenia założenia analizy regresji dotyczącego wartości oczekiwanej składnika losowego. W tym celu wykorzystano statystykę  $T$ . Jeżeli reszty mają rozkład  $N(\mu, \sigma^2)$  o nieznanym parametrach wówczas do weryfikacji hipotez [159]:

$H_0$  – wartość oczekiwana składnika losowego jest równa 0 zatem  $\mu_i = 0$ ;

$H_1$  – wartość oczekiwana składnika losowego jest różna od 0 zatem  $\mu_i \neq 0$ .

należy wykorzystać statystykę  $T$  określoną wzorem:

$$T = \frac{\bar{x} - \mu_i}{\hat{s}} \sqrt{n} \quad (6.25)$$

która przy założeniu prawdziwości  $H_0$  ma rozkład t-Studenta o  $n-1$  stopniach swobody, pamiętając, że  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  oraz  $\hat{S} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ . Zbiór krytyczny dla hipotezy alternatywnej określony jest w następujący sposób:

$$W = (-\infty, -t_{\alpha, n-1}] \cup [t_{\alpha, n-1}, \infty) \quad (6.26)$$

Przyjęto poziom istotności  $\alpha = 0,05$ .

Wyniki statystyki  $T$  oraz zbiory krytyczne w zależności od przedsiębiorstwa zestawiono w tabeli 6.37.

Tab. 6.37. Wyniki statystyk testowych T oraz zbiorów krytycznych

Przedsiębiorstwo	Statystyka testowa T	Zbiór krytyczny W
1	T=1,2986	$W = (-\infty, -1.6455] \cup [1.6455, \infty)$
2	T=0,2936	$W = (-\infty, -1.6463] \cup [1.6463, \infty)$
3	T=0,3152	$W = (-\infty, -1.6462] \cup [1.6462, \infty)$
4	T=0,4392	$W = (-\infty, -1.6458] \cup [1.6458, \infty)$
5	T=1,4637	$W = (-\infty, -1.6452] \cup [1.6452, \infty)$
6	T=1,3694	$W = (-\infty, -1.6455] \cup [1.6455, \infty)$
7	T=0,2367	$W = (-\infty, -1.6461] \cup [1.6461, \infty)$

Ponieważ dla każdego przedsiębiorstwa  $T \notin W$ , zatem na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$ , co oznacza, że wartość oczekiwana składnika losowego wynosi 0 dla wszystkich  $i = 1, 2, \dots, 7$ .

Z przeprowadzonej analizy wynika, że modele regresji zostały prawidłowo skonstruowane i mogą być wykorzystane do modelowania procesu użytkowania pojazdów samochodowych kategorii N1 w przedsiębiorstwach transportowych.

## 6.5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania w oparciu o metody statystyczne dały podstawę do modelowania związków zachodzących pomiędzy zmienną zależną, a zmiennymi niezależnymi opisującymi dynamiczny proces użytkowania PS<sub>NI</sub> w przedsiębiorstwach transportowych.

Uzyskanie maksymalnie użytecznych i uogólnionych informacji na temat procesu użytkowania PS<sub>NI</sub>, było możliwe dzięki zastosowaniu procedury regresji wieloczynnikowej, której efektem była estymacja równania liniowego. Przy wsparciu programu SPSS Statistics, autor dokonał analiz, obliczeń i weryfikacji, które umożliwiły wybór postaci funkcyjnej modelu matematycznego opisującego proces użytkowania PS<sub>NI</sub>. Opracowane modele matematyczne dla poszczególnych przedsiębiorstw transportowych przyjmują postać:

$$D_{u1} = -185,0618 - 0,5257P_u - 0,0762M_u + 1,1296R_u \pm 2,493$$

$$R^2 = 0,8526, \text{ błąd standardowy estymacji równy } 2,493$$

$$D_{u2} = -213,1797 - 0,4777P_u - 0,0566M_u + 1,2448R_u \pm 5,8312$$

$$R^2 = 0,8501, \text{ błąd standardowy estymacji równy } 5,8312$$

$$D_{u3} = -174,0506 - 0,5507P_u - 0,0854M_u + 1,2342R_u \pm 2,4488$$

$$R^2 = 0,8354, \text{ błąd standardowy estymacji równy } 2,4488$$

$$D_{u4} = -263,7401 - 0,4118P_u - 0,0240M_u + 1,2041R_u \pm 4,7180$$

$$R^2 = 0,8759, \text{ błąd standardowy estymacji równy } 4,7180$$

$$D_{u5} = -240,1214 - 0,4825P_u - 0,0264M_u + 1,2237R_u \pm 5,1042$$

$$R^2 = 0,8594, \text{ błąd standardowy estymacji równy } 5,1042$$

$$D_{u6} = -198,3156 - 0,5364P_u - 0,0700M_u + 1,2374R_u \pm 6,9108$$

$$R^2 = 0,8529, \text{ błąd standardowy estymacji równy } 6,9108$$

$$D_{u7} = -263,9221 - 0,5478P_u - 0,0405M_u + 1,2830R_u \pm 5,3848$$

$$R^2 = 0,8915, \text{ błąd standardowy estymacji równy } 5,3848$$

Dla każdego przedsiębiorstwa wykazano, że zmiennymi niezależnymi determinującymi proces użytkowania PS<sub>NI</sub> są zmienne: *Przebieg dzienny*  $P_u$ , *Masa ładunku*  $M_u$  i *Cena za realizację usługi*  $R_u$ . Dla przykładowego przedsiębiorstwa 1 model informuje, że wraz ze wzrostem przebiegu dziennego  $P_u$  o 1 km, dochód  $D_u$  maleje o 0,5257 zł, wraz ze wzrostem masy ładunku  $M_u$  o 1 kg, dochód  $D_u$  maleje o 0,0762 zł, natomiast w przypadku zmiennej ceny za realizację usługi  $R_u$ , wraz ze wzrostem o 1 zł, dochód  $D_u$  wzrasta o 1,1296 zł,

Zastosowanie regresji wieloczynnikowej okazało się skuteczną metodą do predykcji wartości zmiennej *Dochód*  $D_u$  w procesie użytkowania PS<sub>NI</sub> w poszczególnych przedsiębiorstwach transportowych. Średnia wartość współczynnika determinacji  $R^2$  dla

wszystkich przedsiębiorstw przyjmuje wartość co najmniej 0,83, co oznacza, że opracowane modele wyjaśniają co najmniej 83% ogólnej zmienności zmiennej *Dochód*  $D_{it}$ . Średnia wartość błędu standardowego estymacji dla wszystkich przedsiębiorstw wynosi 4,7 co potwierdza niskie wartości przeciętnej wielkości odchyłeń empirycznych wartości zmiennej zależnej od wartości wyznaczonych za pomocą modelu.

Zgodnie z etapem IV algorytmu postępowania dla opracowania modelu procesu użytkowania pojazdów dostawczych, autor podejmuje próbę dokonania oceny możliwości predykcyjnych modelu i jego wdrożenia w struktury przedsiębiorstw transportowych. W tym celu przedstawione zostaje narzędzie, które może stanowić wsparcie procesu decyzyjnego w obszarze zarządzania intensywnością użytkowania pojazdów. Narzędzie zostało zbudowane w oparciu o model matematyczny opracowany dla przedsiębiorstwa 1, które otrzymuje propozycję realizacji zlecenia transportowego. Warunki zlecenia są następujące:

- liczba km do przebycia: 380 km;
- masa ładunku: 1100 kg,
- cena za realizację usługi 1000 zł.

Bazując na opracowanym dla przedsiębiorstwa 1 modelu matematycznym oraz warunkach zlecenia transportowego, w tab. 6.38 przedstawiono wyniki prognozy dochodu.

Tab. 6.38. Wyniki prognozy dochodu dla przedsiębiorstwa 1

Wyraz wolny	-185,06
Przebieg dzienny	-0,53
Masa ładunku	-0,07
Cena za realizację usługi	1,22
Planowany przebieg [km]	380
Planowana masa ładunku [kg]	1100
Planowana cena za realizację usługi [zł]	1000
<b>Dochód</b>	<b>823,40</b>

Zaprezentowane w tab. 6.38 wyniki dają podstawę do sformułowania następujących wniosków:

1. Realizacja zlecenia transportowego zgodnie z podanymi warunkami prognozuje dla przedsiębiorstwa 1 dochód w wysokości 823,40 zł.
2. Za pomocą przedstawionego narzędzia możliwa jest ocena i weryfikacja opłacalności podjęcia poszczególnych działań:
  - zwiększenie przebiegu dla tej samej masy ładunku i ceny za realizację usługi nie przynosi większych korzyści, dochód maleje, podjęcie decyzji jest więc nieopłacalne;

- zwiększenie przebiegu i jednocześnie zmniejszenie masy ładunku o 1 kg przy jednakowej cenie za realizację usługi powoduje spadek wartości dochodu, decyzja jest nieopłacalna;
- zmniejszenie przebiegu i zmniejszenie masy ładunku przy stałej cenie za realizację usługi powoduje wzrost dochodu, decyzja jest zatem opłacalna;
- zwiększenie przebiegu i zwiększenie masy ładunku przy stałej cenie za realizację usługi jest decyzją nieopłacaną ze względu na obniżającą się wartość dochodu.

W oparciu o przedstawione narzędzie możliwa jest weryfikacja efektów użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych. Biorąc pod uwagę, że dla każdego przedsiębiorstwa parametry modelu przybierają inne wartości, wielkość wzrostu lub spadku dochodu może być zróżnicowana, jednak zależności pomiędzy zmiennymi niezależnymi, a zmienną wynikową przyjmują ten sam kierunek.

Nie podejmowanie zleceń transportowych niesie za sobą ponoszenie kosztów eksploatacji pojazdu, co potwierdza wartość wyrazu wolnego obliczonego dla każdego modelu. Dla przedsiębiorstwa 1 jest to koszt 185,06 zł. Teoria potwierdza zatem, że w praktyce nie podejmowanie zleceń transportowych niesie za sobą straty.

Szczegółowo przedstawiona analiza statystyczna istotnych zmiennych warunkujących efektywność każdego przedsiębiorstwa oraz opracowane modele matematyczne dają podstawę do podsumowania specyfiki działalności, polityki transportowej, strategii eksploatacji i jej możliwych efektów w danym przedsiębiorstwie.

Przedsiębiorstwo 1. Charakteryzuje się zróżnicowaną flotą, której średnia przebiegu początkowego wynosi 202441 km. Rok produkcji pojazdów to 2010 i 2011. Na jeden pojazd w ciągu 2 lat obserwacji przypadło 567 zleceń. Firma wykazała drugi najwyższy średni przebieg oraz średnią masę ładunku. Przyjęła tym samym najwyższy (jednakowy z firmą 7) poziom współczynnika przeciążenia, co może świadczyć również o najwyższej wartości średniego zużycia paliwa. Jest również drugą w kolejności firmą o najdłuższym czasie jazdy oraz pracy. Charakteryzuje się najwyższą ceną za realizację usługi, ale też drugą w kolejności największą wartością kosztów realizacji zlecenia transportowego. Potwierdzono również największą liczbę wystawionych mandatów – 14 oraz jedną z dwóch największą liczbą awarii – 7 (dla 4 pojazdów). Ostatecznie firma uzyskuje najwyższą średnią wartość dochodu.

Przedsiębiorstwo 2. Posiada dwa pojazdy tego samego modelu i tej samej ładowności, ich średni przebieg początkowy wynosi 316990 km. Rok produkcji pojazdów to 2005 i 2006. Na jeden pojazd w ciągu 2 lat obserwacji przypadła najniższa liczba zleceń – 517. Wartość współczynnika przeciążenia to 1,13 co lokuje firmę w grupie trzech najmniej przeciążonych



pojazdów i grupie trzech najniższych wartości zużycia paliwa. W firmie nie wykazano awarii, ani mandatów, co może również potwierdzać najniższą wartość zaobserwowanych średnich kosztów realizacji zlecenia. W efekcie przedsiębiorstwo przyjmuje trzecie miejsce pod względem najwyższej średniej wartości dochodu.

Przedsiębiorstwo 3. Posiada dwa pojazdy różnej marki, których średnia przebiegu początkowego wynosi 251105 km. Rok produkcji pojazdów to 2010 i 2011. Na jeden pojazd w ciągu 2 lat obserwacji przypadło 555 zleceń. Firma charakteryzuje się najwyższym spośród wszystkich firm przebiegiem dziennym, czasem jazdy i czasem pracy, co w efekcie może być przyczyną najwyższych kosztów realizacji zleceń transportowych. W firmie odnotowano dodatkowo 3 awarie oraz 7 wystawionych mandatów, które dodatkowo wpływają na koszty całkowite. Powyższe może również świadczyć o najniższym w porównaniu do pozostałych firm uzyskanym dochodzie.

Przedsiębiorstwo 4. Flota firmy obejmuje dwa pojazdy tego samego modelu oraz jeden innej marki. Średnia ich przebiegu początkowego wynosi 200905 km. Rok produkcji pojazdów to 2007 i 2008. Na jeden pojazd w ciągu 2 lat obserwacji przypadło 518 zleceń. Użytkowane pojazdy wykazały się najniższą ładownością, co potwierdza również najniższa wartość masy ładunku. Tym samym firma odnotowała najniższy poziom współczynnika przeciążenia i najniższe zużycie paliwa. W firmie odnotowano 2 wystawione mandaty i trzecią najniższą wartość kosztów realizacji zleceń transportowych. Przedsiębiorstwo otrzymywało również najniższą cenę za realizację usługi, co mogła potwierdzać najniższa ładowność pojazdów. W efekcie średnia wartość dochodu w firmie przyjmuje drugą najniższą wartość.

Przedsiębiorstwo 5. Charakteryzuje się najbardziej liczną flotą i najmniej zróżnicowaną. Średni przebieg początkowy dla wszystkich pojazdów wynosi 206712 km. Rok produkcji pojazdów jest zróżnicowany od 2004 do 2009 r i świadczy o najstarszej flocie. Na jeden pojazd w ciągu 2 lat obserwacji przypadło 519 zleceń. Firma wykazała trzeci najniższy średni przebieg dzienny, drugą najniższą masę ładunku i drugą najniższą wartość współczynnika przeciążenia. W firmie odnotowano największą liczbę mandatów – 14. Druga najniższa średnia wartości ceny za realizację usługi oraz średnia wartość kosztów realizacji zlecenia transportowego dały firmie średnie dochody i pod względem najwyższej wartości ulokowały ją na czwartym miejscu.

Przedsiębiorstwo 6. Posiada dwa pojazdy tego samego modelu i dwa różnej marki. Pojazdy wykazały średni przebieg początkowy 193238 km. Rok produkcji pojazdów to 2010 i 2011. Na jeden pojazd w ciągu 2 lat obserwacji przypadło 583 zlecenia, co lokuje firmę na drugiej pod względem liczby zrealizowanych zleceń. Firma wykazała drugi najniższy średni przebieg, najkrótszy czas jazdy i najkrótszy czas pracy. Wartość współczynnika przeciążenia

ulożowała firmę w grupie trzech najbardziej przeciążonych pojazdów. Średnie wartości kosztów realizacji zleceń transportowych, średnie wartości zużycia paliwa oraz 18 wystawionych mandatów i 7 odnotowanych awarii przyniosły firmie trzeci najwyższy spośród wszystkich firm średni dochód.

Przedsiębiorstwo 7. Posiada dwa pojazdy różnej marki. Firma charakteryzuje się najniższą średnią wartością przebiegu początkowego, która wynosi 116096 km. Rok produkcji pojazdów to 2010 i 2011. Na jeden pojazd w ciągu 2 lat obserwacji odnotowano najwyższą liczbę zleceń tj. 585. Firma wykazała drugi najniższy czas jazdy oraz czas pracy. Jednocześnie dla firmy notuje się największą średnią ładowność, największą średnią masę ładunku oraz jeden z dwóch najwyższych współczynników przeciążenia. Koszt realizacji zlecenia transportowego jest w grupie trzech najwyższych wartości, co w efekcie daje firmie 6 pozycję pod względem średniej wielkości dochodu.

Przeprowadzona analiza wykazuje duże zróżnicowanie pod względem zarządzania procesem użytkowania  $PS_{N1}$ . Obserwuje się niejednorodną flotę i zróżnicowaną specyfikę działalności. Przedsiębiorstwa przyjmują różne metody zarządzania, politykę transportową oraz strategię eksploatacji. Potwierdza to fakt dynamiki procesu użytkowania  $PS_{N1}$ .

Przedstawiona w rozprawie metodyka postępowania dla modelowania procesu użytkowania  $PS_{N1}$  oraz algorytm wnioskowania statystycznego stanowi w ocenie autora wzbogacenie wiedzy teoretycznej w obszarze eksploatacji pojazdów samochodowych kategorii N1, dla których tę metodykę oraz algorytm można zastosować.

## 7. OCENA WPLYWU UŻYTKOWANIA $PS_{N1}$ NA PROCES OBSŁUGIWANIA

### 7.1. Badanie wpływu intensywności użytkowania $PS_{N1}$ na ich awaryjność

W badanym horyzoncie czasowym obejmującym 2 lata użytkowania  $PS_{N1}$ , dla którego liczba zrealizowanych zleceń transportowych  $L_z = 13\ 101$ , a liczba kursów awaryjnych  $L_a = 17$  współczynnik awaryjności  $E_8 = \frac{L_a}{L_z} \cdot 100$  dla badanego zbioru danych przyjmuje wartość 0,13%. Ogromna dysproporcja między zrealizowanymi zleceniami, nie zakończonymi awarią, a kursami zakończonymi awarią uniemożliwia modelowanie związku między potencjalnymi determinantami, a wystąpieniem awarii. Dysproporcja ta nie pozwala także, na przeprowadzenie parametrycznej analizy wariancji w celu identyfikacji istotnych statystycznie różnic między faktem wystąpienia awarii, a jego hipotetycznymi parametrami. Aby jednak wykazać hipotetyczny związek między cechami ilościowymi pojazdów w grupach pojazdów awaryjnych i bezawaryjnych, wykorzystano nieparametryczny test Kruskala-Wallisa. Stanowi on alternatywę dla jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA, opiera się na rangach obserwacji, stosowany jest wtedy, gdy niespełnione są założenia dotyczące stosowania testów parametrycznych lub gdy zmienna zależna ma charakter porządkowy. Test ten nie wymaga zbliżenia rozkładu zmiennych do rozkładu normalnego oraz homoscedastyczności wariancji, jest dodatkowo odporny na brak równoliczności grup jak i na występowanie obserwacji odstających. Średnia ranga w teście Kruskala-Wallisa jest odpowiednikiem średniej arytmetycznej w przypadku klasycznej analizy wariancji. Analizie poddano zatem wszystkie obserwacje (13101). Tab. 7.1 i tab. 7.2 prezentują wyniki analizy.

Tab. 7.1. Analiza awaryjności dla wszystkich obserwacji

Zmienna [jednostka]	Awaryjność	N	Średnia ranga
$W_p$ [lata]	brak awarii	13084	6555,56
	awaria	17	3039,76
	ogółem	13101	
$P_u$ [km]	brak awarii	13084	6549,8
	awaria	17	7477,15
	ogółem	13101	
$J_u$ [h]	brak awarii	13084	6549,96
	awaria	17	7349,15
	ogółem	13101	
$C_u$ [h]	brak awarii	13084	6550,34
	awaria	17	7057,82
	ogółem	13101	
	brak awarii	13084	6545,85

$W_u$ [%]	awaria	17	10511,79
	ogółem	13101	
$S_u$ [dm <sup>3</sup> /100km]	brak awarii	13084	6546,66
	awaria	17	9888,41
	ogółem	13101	
$P_r$ [zł]	brak awarii	13084	6548,67
	awaria	17	8341,32
	ogółem	13101	
$K_k$ [zł]	brak awarii	13084	6548,87
	awaria	17	8192,91
	ogółem	13101	

Tab. 7.2. Analiza testu Kruskala-Wallisa

Zmienna [jednostka]	H Kruskala-Wallisa	df	Istotność
$W_p$ [lata]	15,349	1	0
$P_u$ [km]	1,026	1	0,311
$J_u$ [h]	0,762	1	0,383
$C_u$ [h]	0,306	1	0,580
$W_u$ [%]	19,088	1	0
$S_u$ [dm <sup>3</sup> /100km]	14,441	1	0
$P_r$ [zł]	3,888	1	0,049
$K_k$ [zł]	3,208	1	0,073
Zmienna grupująca: <i>Awaryjność</i>			

Z analizy wynika, że istnieje statystycznie istotna różnica między średnią rangą w grupie „awaria” i grupie „bez awarii” dla zmiennych *Wiek pojazdu*  $W_p$ , *Współczynnik przeciążenia*  $W_u$  i *Zużycie paliwa*  $S_u$ . Istotność statystyczna w tym przypadku  $< 0,05$  oznacza, że różnica pomiędzy średnimi jest duża i może przekładać się na awaryjność pojazdu dla wskazanych zmiennych. Wyniki przeprowadzonej analizy skłoniły autora do poszukiwań odpowiedzi na pytanie: Jaki jest przedział wartości zmiennych określających największe prawdopodobieństwo wystąpienia awarii pojazdów? Wyniki analizy średnich dla 17 kursów awaryjnych przedstawiono w tab. 7.3.

Tab. 7.3. Statystyki opisowe dla zmiennych *Wiek Pojazdu*  $W_p$ , *Współczynnik przeciążenia*  $W_u$ , *Zużycie paliwa*  $S_u$  w grupie „awaria”

$W_p$ [lata]	Średnia		8,290
	95% przedział ufności dla średniej	Dolna granica	8,050
		Górna granica	8,540
	Odchylenie standardowe		0,470
$W_u$ [%]	Średnia		1,476
	95% przedział ufności dla średniej	Dolna granica	1,385
		Górna granica	1,566
	Odchylenie standardowe		0,176
$S_u$ [dm <sup>3</sup> /100km]	Średnia		15,710
	95% przedział ufności dla średniej	Dolna granica	14,980
		Górna granica	16,430
	Odchylenie standardowe		1,404

Wyniki przeprowadzonej analizy zamieszczonej w tab. 7.3 przedstawiają, że z 95% prawdopodobieństwem (porównując ze średnimi dla kursów nieawaryjnych), bardziej na awarię narażone są:

- pojazdy młodsze, między 8,05, a 8,5 lat;
- pojazdy przeładowane pomiędzy 138%, a 156%;
- pojazdy zużywające między 14,98, a 16,63 dm<sup>3</sup>/100km.

Analiza zmiennej *Wiek pojazdu*  $W_p$  dla całej badanej próby wykazała, że 12 pojazdów tj. 50% obserwacji znajduje się w przedziale  $8 \leq W_p \leq 9$ . Zmienna *Współczynnik przeciążenia*  $W_u$  wskazuje, że w badanej próbie 65,8% wszystkich obserwacji opisywało pojazdy przeładowane tj.  $W_u > 100\%$ . W przedziale dla  $138\% \leq W_u \leq 156\%$  jest to liczba określająca 698 obserwacji z 13101, co stanowi 8,1% w stosunku do wszystkich przeładowanych pojazdów. Dla zmiennej *Zużycie paliwa*  $S_u$  obserwacje znajdujące się w przedziale  $14,98 \leq S_u \leq 16,63$  stanowią 31,37% wszystkich obserwacji. Dla tego przedziału  $W_u$  przyjmuje średnią wartość 148,5%.

W celu szczegółowej analizy intensywności użytkowania  $PS_{NI}$  oraz jej wpływu na awaryjność pojazdów, dokonano weryfikacji również zmiennych jakościowych: *Model pojazdu i Sezonowość* w odniesieniu do zmiennych *Zużycie paliwa* oraz *Współczynnik przeciążenia* (tab. 7.4 – 7.7).

Tab. 7.4. Analiza awaryjności dla zmiennej *Zużycie paliwa* i *Modelu pojazdu*

Model pojazdu	Zużycie paliwa					Ogółem
	13	14	15	16	17	
Renault Master	1	0	2	1	1	5
Fiat Ducato	0	2	2	0	2	6
Citroen Jumper	0	1	0	0	5	6
<b>Ogółem</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>17</b>

Zaprezentowana analiza wykazała (tab. 7.4), że dla pojazdu Renault Master odnotowano 5 przypadków awarii, które wystąpiły przy średnim zużyciu paliwa 13, 15, 16 i 17 dm<sup>3</sup>/100 km, dla pojazdu Fiat Ducato zaobserwowano 6 awarii przy średnim zużyciu paliwa 14, 15 i 17 dm<sup>3</sup>/100 km. Dla Citroena Jumper wykazano również 6 przypadków awarii, które w 5 obserwacjach wystąpiły przy średnim zużyciu paliwa 17 dm<sup>3</sup>/100 km. Bezawaryjnym pojazdem okazał się model Renault Mascott. Analiza potwierdza zatem, że awarie pojazdów występują przy różnych wartościach zużycia paliwa, co więcej, nie wystąpiły w momencie kiedy pojazdy charakteryzowała największa wartość zużycia paliwa, tj. 18 dm<sup>3</sup>/100 km. Podobna analiza została przeprowadzona dla poszczególnych modeli pojazdów i przeciążenia w odniesieniu do wystąpienia awarii (tab. 7.5).

Tab. 7.5. Analiza awaryjności dla zmiennej *Model pojazdu* i *Współczynnik przeciążenia*

Model pojazdu	Współczynnik przeciążenia													Ogółem
	1,11	1,25	1,33	1,39	1,40	1,46	1,50	1,54	1,55	1,58	1,64	1,77	1,79	
Renault Master	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	2	0	0	5
Fiat Ducato	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	6
Citroen Jumper	1	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	1	6
<b>Ogółem</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>17</b>

Wyniki zaprezentowane w tab. 7.5 potwierdzają, że najwięcej awarii – 4, odnotowano dla pojazdu Citroen Jumper ze współczynnikiem przeciążenia 139%. Potwierdza to, że awarie występują najczęściej niewiele ponad średnią opisującą przeciążenie tj. 123%, nie wykazują natomiast zależności z maksymalnym przeciążeniem tj. 274%. Oznacza to, że awarie towarzyszą najczęściej typowym wartościom zużycia paliwa i typowym przeciążeniami tj. wartościom mieszczącym się między dolnym, a górnym przedziałem ufności.

Kolejną analizę przeprowadzono w celu zbadania zależności pomiędzy sezonowością, a awaryjnością pojazdów w odniesieniu do zmiennych: *Współczynnik przeciążenia* i *Zużycie paliwa* (tab. 7.7). Potrzeba przeprowadzenia analizy wynika ze zdefiniowanych przez badane firmy poszczególnych sezonów. Dla sezonu 0 tj. sezon dobry, w którym odnotowuje się największą sprzedaż produktów, można założyć, że wraz ze wzrostem zapotrzebowania na

produkty wzrasta zapotrzebowanie na usługę ich przewozu. W związku z tym założeniem, autor postanawia zweryfikować tę hipotezę.

Tab. 7.6. Analiza awaryjności dla zmiennej *Sezonowość* i *Zużycie paliwa*

	Zużycie paliwa					Ogółem
Sezon	13	14	15	16	17	
dobry	0	1	1	1	2	5
średni	1	0	3	0	4	8
zły	0	2	0	0	2	4
<b>Ogółem</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>17</b>

Tab. 7.7. Analiza awaryjności dla zmiennej *Sezonowość* i *Współczynnik przeciążenia*

	Współczynnik przeciążenia													Ogółem
Sezon	1,11	1,25	1,33	1,39	1,40	1,46	1,50	1,54	1,55	1,58	1,64	1,77	1,79	
dobry	0	0	0	2	0	0	1	0	1	1	0	0	0	5
średni	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	8
zły	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	4
<b>Ogółem</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>17</b>

Przedstawiona w tab. 7.7 analiza wskazuje, że awarie pojazdów występują w każdym sezonie. W sezonie 0 – *dobrym*, odnotowano 5 awarii, w 0,5 – *średnim*, 8 awarii, natomiast w 1 – *złym*, 4 awarie. Nie ma zatem zależności pomiędzy awaryjnością pojazdów, a sezonowością, można jedynie stwierdzić, że w sezonie średnim wystąpiło ich najwięcej. Analiza awaryjności dla sezonowości i współczynnika przeciążenia, potwierdza, że dla  $W_u = 139\%$  wystąpiły 2 awarie w sezonie dobrym. Występowanie awarii następuje zasadniczo w grupie obserwacji typowych, zawierających się w określonych granicach przedziałów ufności (tab. 7.3) dla zmiennych *Wiek Pojazdu*  $W_p$ , *Współczynnik przeciążenia*  $W_u$ , *Zużycie paliwa*  $S_u$ .

## 7.2. Ocena wpływu użytkowania na stan techniczny i koszty eksploatacji $PS_{N1}$

Z uwagi na systemowe ujęcie eksploatacji pojazdów, autor podejmuje próbę przeprowadzenia analizy wpływu intensywności użytkowania badanych pojazdów na ich proces obsługi, stan techniczny oraz koszty eksploatacji. W niniejszym podrozdziale zidentyfikowane zostaną możliwe negatywne skutki niewłaściwego użytkowania pojazdów.

W czasie realizacji procesu przewozowego, pojazdy przetwarzają różnego rodzaju energię w pracę mechaniczną, przy czym występują siły wzajemnego oddziaływania na siebie elementów tego pojazdu [186]. Siły te mogą oddziaływać chwilowo, krótkotrwale lub długotrwale, mogą być cykliczne, okresowe i ciągłe. Siły te wpływają na strukturę systemu

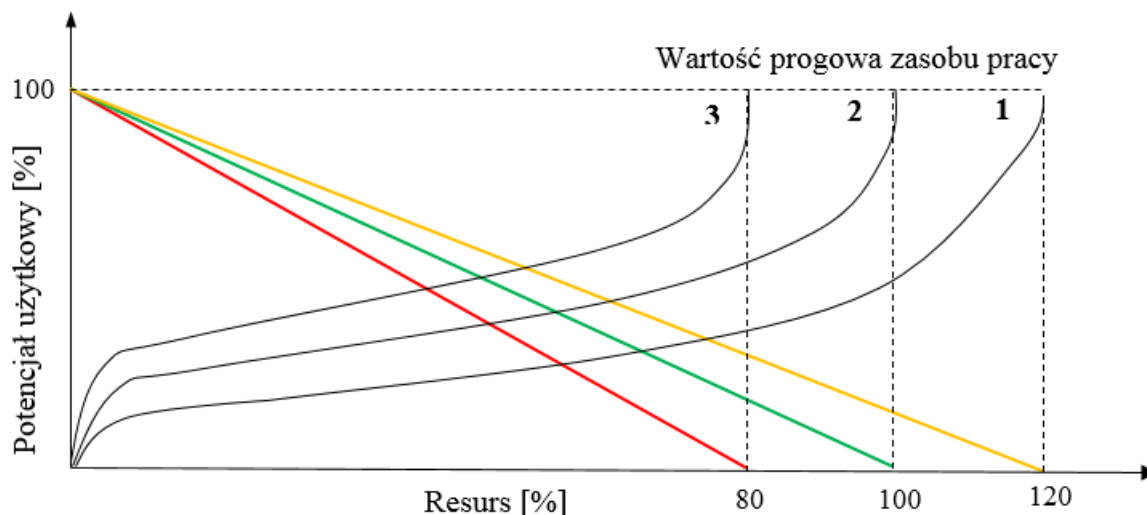
eksploatacji, wartości cech techniczno-eksploatacyjnych, a w konsekwencji na poziom efektywności użytkowania ze względu na funkcjonalność oraz ekonomiczność [172]. Podobnie jak dla wszystkich pojazdów ciężarowych, tak dla  $PS_{N1}$  wyróżnia się następujące warunki użytkowania [139]:

- zmienność prędkości mechanizmów roboczych;
- zmienność roboczych cykli technologicznych w zależności od wykonywanej pracy;
- zmienność liczby godzin pracy, przejechanych kilometrów lub masy przewiezionego ładunku w ciągu rozpatrywanego okresu czasu;
- zmienność czynników otoczenia (temperatura, wilgotność, widoczność);
- zmienność wartości sterowanych parametrów technicznych (np. prędkości roboczych, wartości ciśnienia w układzie hydraulicznym, wartości posuwów);
- zmienność oddziaływania podłoża na urządzenie.

Na przedsięwzięcia organizacyjne procesu eksploatacji pojazdu mają wpływ warunki jego użytkowania, a w konsekwencji prędkość utraty jego potencjału eksploatacyjnego, który w teorii i praktyce najlepiej określa resurs. Urząd Dozoru Technicznego definiuje resurs jako potencjał użytkowy bądź okres zdolności użytkowej, który wyznacza graniczne parametry stosowane do oceny i identyfikacji stanu technicznego pojazdu [189].

Liniowy model utraty potencjału użytkowego przedstawia trzy sytuacje dla których: (1) potencjał użytkowy  $PS_{N1}$  przekracza przewidywaną normę docelową jeżeli rzeczywiste warunki użytkowania obciążają pojazd w mniejszym stopniu niż zakładane, (2)  $PS_{N1}$  osiąga resurs docelowy, użytkowanie pojazdów mieści się i przebiega zgodnie z normami międzyremontowymi i docelową normą używalności, określoną dla danych warunków oraz przedziału czasowego, (3) intensywność użytkowania pojazdu, znacznie przekracza dopuszczalne normy i zalecenia, pojazd znacznie wcześniej osiąga wartość progową zasobu swojej pracy.

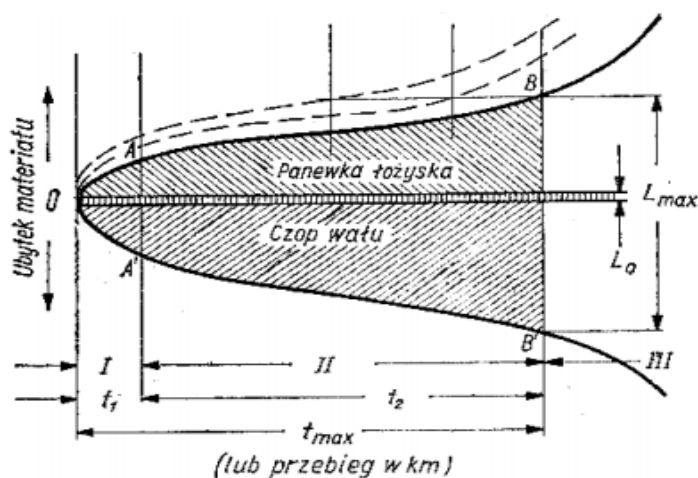




Rys. 7.1. Liniowy model utraty potencjału użytkowego

Źródło: [96]

Próba określenia przyczyn wystąpienia sytuacji (3) oraz jej skutków dla całego procesu eksploatacji pojazdów w przedsiębiorstwach transportowych stanowi przedmiot badań wielu opracowań. Pod wpływem czynników fizykochemicznych działających przez cały okres użytkowania pojazdu jego poszczególne części ulegają zużyciu oraz niszczeniu. Zużywanie części pojazdu narasta stopniowo wraz z intensywnością zależną od rodzaju zużycia, czynników powodujących zużycie oraz rodzaju i natężeń wymuszeń. Wielkość zużycia części zależna jest głównie od czasu eksploatacji lub przebiegu pojazdów, który dla pojazdów dostawczych [89] określa się na 450000 km lub 15 lat eksploatacji z uwzględnieniem rzeczywistych warunków użytkowania. Intensywność zużywania w poszczególnych okresach eksploatacji nie jest jednakowa. Przykładowy przebieg zużycia panewki łożyska przedstawiono na rys 7.2 [187]:



Rys. 7.2. Zależność zużycia współpracujących części od przebiegu pojazdu

Źródło: [187]

Starzenie fizyczne i zużycie elementów pojazdu wynikające z procesów zachodzących w poszczególnych układach i skojarzeniach oraz chwilowe przeciążenia tych elementów wpływają na obniżenie ich trwałości, powodują uszkodzenia i niepożądane zmiany stanu pojazdu [168]. Literatura potwierdza, że uszkodzenia w czasie eksploatacji pojazdów mogą zachodzić m.in. [185]:

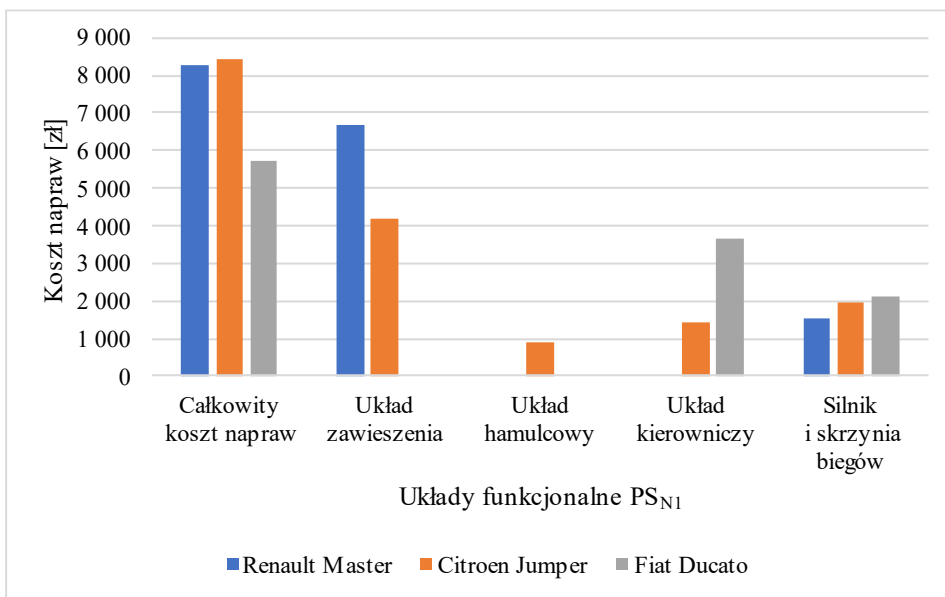
- w wyniku pojawienia się procesów odwracalnych o różnej intensywności przebiegu, wywołanych np. przez czasowe przekroczenia dopuszczalnych wartości jednego lub więcej czynników wymuszających;
- w sposób nieregularny, objawiający się nieciągłym przejściem jednego lub więcej parametrów poza granice przyjęte za dopuszczalne dla danego pojazdu.

Autorzy [123, 149, 187] potwierdzają, że jedną z głównych przyczyn powstawania uszkodzeń w pojazdach są uszkodzenia powstałe w wyniku nie przestrzegania obowiązujących zasad użytkowania lub na skutek oddziaływań czynników zewnętrznych nie przewidzianych dla warunków eksploatacji pojazdu, co prowadzi do przedwczesnego zużycia i osiągnięcia stanu granicznego. Negatywnymi skutkami niepoprawnej eksploatacji pojazdów oraz niewłaściwej reakcji użytkownika mogą być pęknięcia paska zębatego rozrzędu oraz uszkodzenia wału korbowego co w efekcie doprowadza do uszkodzenia silnika [187]. Wyniki badań makroskopowych uszkodzonych wałów korbowych silników zaprezentowane w [30] nie pozwalają na jednoznaczne określenie przyczyn ich zniszczenia jednak potwierdza się, że mogą one być wynikiem niewłaściwej eksploatacji pojazdów. Ocena wpływu warunków użytkowania na zużycie elementów układu hamulcowego w procesie eksploatacji pojazdów marki Renault [164] potwierdziła, że na zużycie tarcz i klocków hamulcowych ma wpływ czas (pora roku) i rodzaju ruchu (podmiejski i pozamiejski). Największe wartości zużycia elementów układu hamulcowego odnotowano dla miesięcy letnich (od maja do września) oraz w ruchu miejskim. Udowodniono również, że nierównomierny rozkład sił hamowania powoduje, że zużycie elementów przednich układu jest większe. Dla klocków hamulcowych różnica wynosi ponad 20%, dla tarcz hamulcowych ponad 40%.

Badania w aspekcie oceny wpływu użytkowania pojazdów na stan techniczny oraz niezawodność ich układów i elementów zazwyczaj stanowią próbę odszukania czynników determinujących koszty eksploatacji pojazdów [120]. W eksploatacji pojazdów wyróżnia się koszty planowane: napraw i obsługiwań technicznych, pracowników personelu stacji obsługowo-naprawczej, części i zespołów, paliwa i oleju, a także innych płynów i materiałów eksploatacyjnych [29, 88] oraz koszty nieplanowane tzw. „koszty incydentalne”: nieplanowanych przestojów, wynikające z potencjalnej utraty zaufania zleceniodawcy,

konieczności zapewnienia pojazdów zastępczych [122], zmian w przydziale samochodów do określonych czynności [100]. Opis niezawodności i podzespołów elementów dwóch marek pojazdów ciężarowych przedstawiono w opracowaniu [163]. Stwierdzono, że najbardziej awaryjnymi układami badanych pojazdów w zakresie do pierwszego uszkodzenia był silnik i układ napędowy, układ elektryczny, hamulcowy oraz wydechowy. Potwierdzają to częściowo również wyniki analizy przedstawione w [120], które wykazują dla jednej marki większą niezawodność i niższą wartość kosztów eksploatacyjnych. Podobne wnioski zaprezentowali autorzy [121] wykazując, że największe koszty napraw generują uszkodzenia układu zawieszenia i jezdnego, silnika i układu napędowego oraz układu hamulcowego. Autorzy [44] weryfikują awaryjność pojazdów dostawczych i proponują metodę optymalnego ich doboru w przedsiębiorstwie transportowym z uwzględnieniem wskaźników niezawodności użytkowej. Przyjmując kryteria oceny: przebieg do pierwszego uszkodzenia, przebieg między kolejnymi uszkodzeniami oraz intensywność uszkodzeń, wskazują w przedsiębiorstwie markę pojazdów, która w monitorowanym przedziale czasu była najmniej awaryjna i generowała najmniejsze koszty eksploatacji. W opracowaniu [124] zaprezentowano wyniki badań niezawodności, kosztów oraz uszkodzeń wybranych układów funkcjonalnych pojazdów ciężarowych średniej ładowności trzech marek (Iveco, Man, Mercedes). Największe koszty napraw dla każdej z marki generują zużywające się w trakcie eksploatacji elementy układów zawieszenia i kół jezdnych (18% - 25%), silnik i skrzynia biegów (0,16% - 16%), układu hamulcowego (12% - 13%), układ wydechowy (0,5% - 7%) oraz układ elektryczny (0,3% - 4%). Średnia, roczna liczba uszkodzeń poszczególnych układów dla wszystkich marek wynosi: układ zawieszenia – 3; silnik i skrzynia biegów – 1; układ hamulcowy – 2; układ wydechowy – 1, układ elektryczny – 3.

Dla badanej awaryjnej grupy PS<sub>N1</sub>, która obejmuje 3 marki (Renault Master, Citroen Jumoer, Fiat Ducato) przeprowadzono analizę kosztów napraw poszczególnych układów funkcjonalnych (rys. 7.3).



Rys. 7.3. Koszty napraw wybranych układów funkcjonalnych dla badanych marek pojazdów

Marka, która wygenerowała najwyższą wartość kosztów związanych z naprawami jest Citroen Jumper, u którego odnotowano 6 awarii w badanym okresie: układ zawieszenia – 2, układ hamulcowy – 1, układ kierowniczy – 1, silnik i skrzynia biegów – 2. Z czego koszt naprawy układu zawieszenia wyniósł 50% wszystkich kosztów napraw. Druga marka charakteryzująca się najwyższą wartością kosztów napraw to Renault Master, dla której odnotowano 5 awarii: układ zawieszenia (uszkodzone resory, amortyzatory, pęknięta rama) – 3; silnik i skrzynia biegów – 2. Koszt naprawy układu zawieszenia stanowi 81% w stosunku do wszystkich kosztów przeznaczonych na naprawy. Marka, dla której koszty napraw były najniższe to Fiat Ducato, gdzie na 6 awarii 4 dotyczyły układu kierowniczego i wygenerowały 63% kosztów w stosunku do wszystkich kosztów napraw. Teoria jak i praktyka wykazały, że dla badanej grupy pojazdów najbardziej kosztowne są awarie układu zawieszenia i mogą być przyczyną niewłaściwej eksploatacji pojazdów. rys. 7.4 przedstawia awarię pojazdu Renault Master spowodowaną pęknięciem ramy nośnej.



Rys. 7.4. Pęknięta rama nośna pojazdu Renault Master

W badanej grupie trzech, awaryjnych marek pojazdów, Fiat Ducato okazał się być najmniej kosztowny w odniesieniu do awaryjności. Zauważono również pewną zasadność przedstawioną w tab. 7.8, która może mieć wpływ na prawdopodobieństwo wystąpienia awarii układu zawieszenia.

Tab. 7.8. Analiza wybranych cech techniczno-eksploatacyjnych dla pojazdów awaryjnych w odniesieniu do marki pojazdu

	<b>Renault Master</b>	<b>Citroen Jumper</b>	<b>Fiat Ducato</b>
<b>Średni dzienny przebieg [km]</b>	452	477	392
<b>Średni czas pracy [h]</b>	10	11	08,38
<b>Średnia wartość współczynnika przeciążenia [%]</b>	149	152	142
<b>Średni wiek pojazdu [lata]</b>	9,5	8,5	5,5

Dla Fiata Ducato w stosunku do dwóch pozostałych marek potwierdza się, mniejszy średni dzienny przebieg, średni czas pracy oraz niższy średni wiek pojazdu. Może to świadczyć o wpływie wybranych cech techniczno-eksploatacyjnych na występowanie awarii w układzie zawieszenia i tym samym na wzrost kosztów eksploatacyjnych.

Analizę kosztów napraw dla badanych  $PS_{N1}$  uzupełniono o koszt wartości zleceń utraconych. W wyniku awarii, pojazdy te zostały wykluczone z użytkowania, czego efektem jest brak możliwości podejmowania zleceń przewozowych, utrata zaufania klienta oraz ponoszenie dodatkowych kosztów związanych np. z podstawieniem pojazdu zastępczego. W ramach szczegółowej analizy, autor podjął próbę zidentyfikowania kosztów wartości utraconej przez przedsiębiorstwo  $WU_k$  zależnych od liczby dni, w których pojazd był niezdalny do użytkowania  $L_n$  oraz średniej wartości zlecenia transportowego  $P_{sr}$ .

$$WU_k = 17 \cdot 681,23 \text{ zł} \quad (7.1)$$

Dla wybranego pojazdu nr 8 marki Renault Master koszt wartości utraconej przez przedsiębiorstwo  $WU_k = 11580,91$  zł. Potwierdza się zatem, że awarie pojazdów generują nie tylko nieplanowane koszty związane z naprawami, są to również straty związane z brakiem możliwości użytkowania pojazdu. Mając na uwadze, że celem przedsiębiorstwa jest zysk ze sprzedaży usług przewozowych, powinno ono weryfikować również niezawodność pojazdów poprzez rozpoznanie uszkodzeń eksploatacyjnych oraz ich możliwych przyczyn powstania.

Prowadzone badania dotyczące kosztów eksploatacji i przyczyn ich powstawania rozpatrywane są w odniesieniu do przebiegu, czasu pracy, rodzaju ruchu, modelu pojazdu oraz jego wieku. Autor nie doszukał się pozycji literaturowych w których do oceny stanu technicznego pojazdu, poziomu niezawodności, zużycia części, awarii poszczególnych układów funkcjonalnych lub weryfikacji kosztów jego eksploatacji stosuje się współczynnik przeciążenia. Przeprowadzona analiza, w teorii jak i w praktyce potwierdza, że przekraczanie dopuszczalnych norm, nieprzestrzeganie zasad użytkowania oraz niewłaściwe reakcje kierowcy powodują przyspieszone zużycie elementów pojazdu, obniżają ich trwałości, powodują uszkodzenia, generują nieplanowane koszty.

### 7.3. Podsumowanie

Uszkodzenia układów i zespołów pojazdu to istotne zdarzenia występujące w procesie jego użytkowania, determinujące proces obsługi i koszty eksploatacyjne. W większości przypadków uszkodzenia są zdarzeniami losowymi, dlatego konieczne jest badanie struktury ciągu zebranych wyników pomiarowych ukierunkowanych na wyróżnienie w szeregu czasowym składowych deterministycznych (regularnych) opisywanych za pomocą trendu i oddziaływań losowych np. (obciążenia, warunków użytkowania, klimatycznych, reakcji kierowcy). Skuteczność prognozowania stanu technicznego pojazdu oraz wartości parametrów eksploatacyjnych przy założeniu niepełnej i niepewnej ich wartości w czasie jest tym większa im dłuższy jest posiadany szereg czasowy i prostsze są mechanizmy kształtujące jego przebieg.

Przeprowadzone badania w zakresie awaryjności oraz jej hipotetycznych przyczyn występowania wykazują, że:

- w badanej próbie obejmującej 13101 obserwacji, jedynie 0,13% stanowi grupa obserwacji awaryjnych (17 przypadków);
- na awaryjność mogą mieć wpływ zmienne: *Wiek pojazdu*  $W_p$ , *Współczynnik przeciążenia*  $W_u$  i *Zużycie paliwa*  $S_u$ , jedynie w określonych przedziałach;

- w grupie pojazdów awaryjnych znajdują się pojazdy w wielu 8-9 lat, które stanowią 50% wszystkich badanych pojazdów, średni dzienny przebieg dla tej grupy wynosi 400 km, współczynnik przeciążenia 138%, zużycie paliwa 15 dm<sup>3</sup>/100 km;
- wystąpienie awarii nie jest skutkiem skrajnych przeciążeń;
- nie wykazano związku pomiędzy awaryjnością, a sezonowością;
- model pojazdu Renault Mascott (7 z 24 pojazdów) wykazał bezawaryjność;
- *Zużycie paliwa* [dm<sup>3</sup>/100 km] dla grupy awaryjnych pojazdów znajduje się w przedziale (14,98;16,63) dla którego współczynnik przeciążenia  $W_u$  przyjmuje średnią wartość 148,5%.

Przeprowadzona analiza, w teorii jak i praktyce potwierdza, że przekraczanie dopuszczalnych norm np. dopuszczalnej ładowności pojazdu może powodować przyśpieszone zużycie części, układów funkcjonalnych, co w konsekwencji doprowadza do awarii i przestojów, generujących dodatkowe koszty. W dostępnych opracowaniach nie doszukano się rozważań uwzględniających aspekt przeciążanych pojazdów dostawczych oraz próby dokonania oceny jego negatywnego wpływu na proces eksploatacji pojazdów w przedsiębiorstwach transportowych.

Celem modelowania procesu użytkowania  $PS_{NI}$  w odniesieniu do systemu eksploatacji powinno być utrzymywanie wysokiej gotowości technicznej pojazdu do podjęcia i realizacji przydzielonego zadania. Działanie to wymaga systematycznego odtwarzania potencjału użytkowego pojazdu, czego z kolei wynikiem powinny być złożone i wzajemnie skoordynowane działania kierowców, dyspozytorów oraz zarządzających procesem użytkowania i obsługi. Stanowi to podstawę do budowania optymalnych strategii eksploatacyjnych uwzględniających procesy użytkowania, obsługi, remontów i wymian.

W wielu publikacjach proponuje się budowanie efektywnej infrastruktury serwisowej w firmach transportowych umożliwiającej proaktywny udział kierowców w systemie obsługi technicznej firmy [47, 154]. Nowoczesne strategie eksploatacji koncentrują się na wykorzystaniu potencjału kierowców, którzy w aktywny sposób uczestniczą w procesie nie tylko użytkowania ale też obsługi [18], podejmują działania zapobiegawcze, predykcijno-proaktywne, uczestniczą w procesie konserwacji i proponują działania naprawcze na poziomie firmy [48, 107]. Autorzy [139] przedstawiają wyniki badań i analiz, które potwierdzają, że działanie kierowcy oraz jego reakcja na zaburzenia ruchu wynikające z uszkodzenia opony ma decydujące znaczenie dla dalszej eksploatacji pojazdu oraz bezpieczeństwa ruchu. Wyniki

badania zaprezentowane w [154] potwierdziły, że kierowcy odgrywają ważną rolę w procesie eksploatacji pojazdów, poprzez działania zapobiegawcze i prewencyjne poprawiają efektywność pojazdów i ich stan techniczny, nie tylko poprzez ekonomiczną jazdę jak wskazuje się w opracowaniu [111] ale również przez aktywne zaangażowanie w proces eksploatacji pojazdów. Przeciętny kierowca pojazdu ciężarowego o DMC powyżej 3,5 tony w transporcie międzynarodowym spędza w nim 5 dni w tygodniu i wykonuje średnio 2500 – 3000 km [57]. Dla badanych PS<sub>N1</sub> w transporcie krajowym jest to średnio 6 dni w tygodniu i 2400 km, dlatego reagowanie kierowcy na nieprzewidziane okoliczności musi być terminowe i skuteczne, co może znacznie zmniejszyć potencjalne koszty eksploatacyjne [178].

Eksploatacja pojazdów w przedsiębiorstwach transportowych charakteryzuje się najczęściej reaktywnym podejściem bez wcześniejszego planowania, co potwierdziły również wyniki przeprowadzonych badań ankietowych zaprezentowane w rozdziale 4.2. Naprawy dokonywane są tylko wtedy, gdy wystąpi awaria, nie prognozuje się wartości parametrów techniczno-eksploatacyjnych ani nie weryfikuje wpływu warunków użytkowania na stan techniczny pojazdu. Takie zarządzanie eksploatacją nie daje podstaw do efektywnego użytkowania pojazdów, zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia awarii, nieplanowanych przestoju i generuje dodatkowe koszty eksploatacyjne.

Z uwagi na fakt występowania szeregu możliwych negatywnych skutków przeciążania pojazdu, rozwiązaniem dla poruszanej w niniejszym rozdziale problematyki jest wdrożenie strategii eksploatacji z proaktywnym udziałem kierowców z zastosowaniem zaprezentowanego w rozdz. 6.5 narzędzia wspomagającego proces zarządzania intensywnością użytkowania pojazdu.



## WNIOSKI KOŃCOWE I DALSZE KIERUNKI PRACY

Przedsiębiorstwa transportowe muszą sprostać coraz większym wymaganiom, stawianym przez klientów, którzy zgłaszają zapotrzebowanie na szybką, bezpieczną, niezawodną, elastyczną i tanią realizację przewozów. Jednym z podstawowych problemów decyzyjnych, mających wpływ na efektywność funkcjonowania przedsiębiorstwa transportowego jest problem dostosowania potencjału eksploatacyjnego pojazdu do zleconych zadań transportowych. Bieżące monitorowanie i optymalne zarządzanie intensywnością użytkowania  $PS_{N1}$  bezpośrednio wpływa na ich gotowość techniczną i trwałość, co z kolei ma duże znaczenie dla zachowania ich sprawności eksploatacyjnej. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły, że decyzje w tym zakresie, podejmowane są zazwyczaj indywidualnie z uwzględnieniem posiadanych w danej chwili zasobów. Stale poszukuje się metod, które umożliwiają minimalizowanie kosztów eksploatacji  $PS_{N1}$  z jednoczesnym zwiększaniem intensywności ich użytkowania. Rynek usług transportowych wykazuje duże zapotrzebowanie na łatwo dostępne i proste w zastosowaniu narzędzia wspierające podejmowanie decyzji w zakresie zarządzania użytkowaniem  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych.

Uwzględniając zapotrzebowanie przedsiębiorstw transportowych za celowe uznano podjęcie tematu rozprawy doktorskiej i opracowanie metodyki postępowania dla modelowania procesu użytkowania  $PS_{N1}$  oraz wnioskowania statystycznego dla złożonego zbioru danych. Konsekwencją tego było opracowanie modelu procesu użytkowania  $PS_{N1}$  umożliwiającego usprawnianie procesu użytkowania pojazdów w przedsiębiorstwach transportowych.

Przeprowadzona analiza literatury, potwierdziła, że w zbiorze dostępnych opracowań znajdują się nieliczne publikacje nawiązujące do problematyki użytkowania pojazdów dostawczych w przedsiębiorstwach transportowych. Dotychczas zaproponowane metody oceny użytkowania  $PS_{N1}$  oparte są na badaniu kosztów i niezawodności pojazdów. Rozważania skupiają się głównie na procesie obsługiwanym, a nie procesie użytkowania, który charakteryzuje się bardziej złożoną i dynamiczną strukturą uzależnioną od działań czynnika ludzkiego. W niniejszej rozprawie poszerzono zatem rozważania dotyczące problematyki użytkowania  $PS_{N1}$  w przedsiębiorstwach transportowych w aspekcie teoretycznym oraz praktycznym. Dokonano szczegółowej charakterystyki techniczno-eksploatacyjnej  $PS_{N1}$ , dostępnych metod oceny procesu użytkowania, opracowano zbiór współczynników eksploatacyjnych oraz dokonano analizy kosztów użytkowania  $PS_{N1}$  związanych z realizacją zlecenia transportowego. Wyniki przeprowadzonych badań umożliwiły osiągnięcie postawionego celu poprzez opracowanie modelu procesu użytkowania  $PS_{N1}$  w aspekcie oceny

efektywności użytkowania pojazdów w przedsiębiorstwach transportowych. Opracowane modele w postaci zaprezentowanej przez autora stanowią wartościowe i pomocne narzędzie do wspierania procesu decyzyjnego, usprawniającego proces użytkowania  $PS_{NI}$ .

Przeprowadzone wnioskowanie statystyczne pozwoliło odpowiedzieć na wybrane problemy badawcze sformułowane w części metodologicznej.

*Jaki jest wpływ istotnych zmiennych na efektywność przedsiębiorstw transportowych użytkujących  $PS_{NI}$ ?*

Wnioski z przeprowadzonej analizy literatury, potwierdziły, że na efektywność wszystkich siedmiu przedsiębiorstw transportowych użytkujących  $PS_{NI}$  wpływ mają trzy najbardziej istotne zmienne: *Przebieg  $P_u$ , Masa Ładunku  $M_u$  i Cena za realizację usługi  $R_u$* . Dla każdego przedsiębiorstwa oszacowano różne wartości parametrów modelu, jednak ich wpływ na zmienną wynikową *Dochód  $D_u$*  określa jednakowy kierunek. Dla przykładowego przedsiębiorstwa 1 model informuje, że wraz ze wzrostem *Przebiegu dziennego  $P_u$*  o 1 km, dochód maleje o 0,5257 zł, wraz ze wzrostem *Masy ładunku  $M_u$*  o 1 kg, dochód  $D_u$  maleje o 0,0762 zł, natomiast w przypadku zmiennej *Ceny za realizację usługi  $R_u$* , wraz ze wzrostem o 1 zł, dochód  $D_u$  wzrasta o 1,1296 zł.

*Jakie wystąpić mogą negatywne skutki intensywnego użytkowania  $PS_{NI}$  i jak wpłynąć mogą na sytuację ekonomiczną przedsiębiorstwa transportowego?*

Analiza literatury potwierdza, że chwilowe przeciążenia elementów pojazdu wpływają na obniżenie ich trwałości, powodują uszkodzenia i niepożądane zmiany stanu technicznego. Zaprezentowany w rozprawie liniowy model utraty potencjału użytkowego potwierdza, że jeśli intensywność użytkowania pojazdu, znacznie przekracza dopuszczalne normy, pojazd może wcześniej osiągnąć wartość progową zasobu swojej pracy. Badania zaprezentowane w rozprawie potwierdziły, że intensywność użytkowania pojazdów może wpływać na stan techniczny pojazdów oraz niezawodność ich układów i elementów. Dla 17 odnotowanych przypadków wystąpienia awarii, każdej towarzyszyło przekroczenie dopuszczalnej normy czasu pracy i współczynnika przeciążenia. Skutkiem negatywnym zbyt intensywnego użytkowania  $PS_{NI}$  jest wzrost wartości kosztów incydentalnych, tj.: napraw, nieplanowanych przestojów, kosztów wartości utraconej, konieczności podstawienia auta zastępczego. Literatura potwierdza, że intensywne użytkowanie pojazdów wpływa na szybsze zużywanie się części i zespołów pojazdu, paliwa i oleju, a także innych płynów i materiałów eksploatacyjnych. Przeprowadzona analiza grupy pojazdów awaryjnych potwierdza uszkodzenia układu zawieszenia i jezdnego, silnika i układu napędowego oraz układu hamulcowego. Najbardziej awaryjnym pojazdem okazał się Citroen Jumper, dla którego odnotowano 6 awarii, które

wygenerowały dodatkową wartość kosztów w wysokości 8440 zł. Dla pojazdu Renault Master, u którego odnotowano awarię spowodowaną pękniętą ramą koszt wartości utraconej, związanej z brakiem możliwości podjęcia zlecenia przez 17 dni, wyniosła 11580,91 zł.

Do najważniejszych wniosków z przeprowadzonych badań należą:

1. Proces użytkowania  $PS_{N1}$  charakteryzuje się przekraczaniem dopuszczalnych norm: średnia wartość współczynnika przeciążenia dla badanego zbioru  $W_{u1} = 123 \%$ , współczynnik wykorzystania czasu pracy  $E_1 > 100 \%$  dla  $P_7, P_8, P_9$ .
2. Dla 38% badanych pojazdów współczynnik gotowości technicznej mieści się w przedziale  $E_5 = (0,94 - 0,99)$ .
3. Dla czterech modeli pojazdów (Renault Master, Renault Mascott, Fiat Ducato, Citroen Jumper) najniższą wartość współczynnika gotowości technicznej odnotowano dla modelu Fiat Ducato  $E_5 = 0,97$ . Renault Mascott okazał się modelem niezawodnym, dla którego współczynnik gotowości technicznej  $E_5 = 1$ .
4. Współczynnik gotowości technicznej  $E_5 = 1$  gwarantuje średnio 65% wzrostu wartości współczynnika efektywności ekonomicznej  $E_7$ .
5. Pojazdy najmłodsze, wyprodukowane w latach 2010 – 2011, które stanowiły 50% wszystkich pojazdów charakteryzowały się najniższą wartością współczynnika gotowości technicznej  $E_5 = 0,98$  i jednocześnie najniższą wartością współczynnika efektywności ekonomicznej  $E_7 = 0,00073$ .
6. Pojazdy z najniższym przebiegiem początkowym  $P_{r1} < 150\ 000$  km osiągnęły najniższą wartość współczynnika efektywności ekonomicznej  $E_7 = 0,00084$ , którego wartość była o 20% niższa w stosunku do wartości uzyskanej przez pojazdy, gdzie  $P_{r1} < 250\ 000$  km.
7. W badanym horyzoncie czasowym obejmującym 2 lata użytkowania  $PS_{N1}$ , dla którego liczba zrealizowanych zleceń transportowych  $L_z = 13\ 101$ , a liczba kursów awaryjnych  $L_a = 17$  współczynnik awaryjności przyjmuje wartość  $E_8 = 0,13\%$ .
8. Najliczniejszą grupą kosztów przedsiębiorstwa transportowego są koszty związane z eksploatacją pojazdów, które stanowią 44,5% w stosunku do wszystkich kosztów. Koszty zaliczone do tej grupy obejmują: koszty paliwa 39,7%, koszty wymiany opon 2,3%, koszt przeglądów 2,1%, napraw 0,4%.
9. Koszty naprawy układu zwieszenia stanowiły 49% wszystkich kosztów poniesionych na poczet naprawy układów funkcjonalnych pojazdów (układ zawieszenia, układ kierowniczy, układ hamulcowy, silnik i skrzynia biegów).
10. Powołując się na Katalog Norm Eksploatacji Techniki Lądowej [89], w którym resurs docelowy pojazdu dostawczego określono na 450 000 km, dla 38% badanych pojazdów

współczynnik wykorzystania potencjału użytkowego  $E_6 > 100\%$ , co oznacza, że na dzień zakończenia badań wykorzystywały one swój potencjał użytkowy.

11. Charakterystyka przedsiębiorstw transportowych wykazała duże zróżnicowanie floty oraz polityki transportowej:

- a) Firma 1, która uzyskała najwyższą średnią wartość *Dochodu*  $D_u$  charakteryzuje się najwyższą średnią wartością zmiennej *Zużycie paliwa*  $S_{u1} = 15,41 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$  oraz *Współczynnik przeciążenia*  $W_{u1} = 143\%$ .
- b) Firma 2, posiadająca najstarszą flotę pojazdów oraz najwyższą wartość średniego przebiegu początkowego  $P_{r1} = 316\,990 \text{ km}$  osiągnęła najniższą wartość współczynnika efektywnej pracy pojazdu  $E_2 = 83\%$ , co potwierdza, że przestoje (na załadunku, rozładunku, przerwy) stanowią 17% całkowitego czasu pracy pojazdów.
- c) Firma 3 osiągnęła najniższą wartość współczynnika efektywności ekonomicznej  $E_7 = 0,00061$  przy najwyższej średniej wartości *Przebieg*  $P_u$ , *Czasu jazdy*  $P_r$  i *Czasu pracy*  $P_r$ . Osiągnęła najwyższą wartość współczynnika wykorzystania czasu pracy pojazdu  $E_1 = 108\%$  i najniższą wartość współczynnika gotowości technicznej  $E_5 = 0,97$ .
- d) Firma 4 osiągnęła najniższą wartość współczynnika wykorzystania czasu pracy pojazdu  $E_1 = 85\%$  ale najwyższą wartość współczynnika efektywnej pracy pojazdu  $E_2 = 89\%$  i jednocześnie najwyższą wartość współczynnika efektywności ekonomicznej  $E_7 = 0,00135$

12. Zaprezentowane narzędzie bazujące na opracowanych modelach matematycznych może stanowić element strategii eksploatacji i wspierać MŚP w podejmowaniu decyzji w aspekcie prognozowania efektywności ekonomicznej oraz oceny opłacalności podjęcia dodatkowych, nieplanowanych działań lub zadań w trakcie realizacji przewozu.

Ocena stanu rzeczywistego oraz przeprowadzone badania potwierdzają postawioną tezę:

*Zastosowanie opracowanego modelu procesu użytkowania  $PS_{NI}$  może stanowić narzędzie wspierające procesy decyzyjne w przedsiębiorstwach transportowych.*

Wyniki niniejszej pracy mają charakter rozszerzający dotychczasową wiedzę, jednak z powodu ograniczonej objętości rozprawy oraz złożoności omawianego problemu, niektóre zagadnienia dotyczące użytkowania  $PS_{NI}$  oraz dostępnych metod oceny i prognozowania zostały omówione jedynie ogólnie. Przeprowadzone i opisane w dysertacji badania dla realizacji celów pracy oraz rozwiązania postawionych problemów badawczych nie wyczerpują wszystkich istotnych zagadnień z obszaru badanej problematyki.

Uzyskane rezultaty przeprowadzonych badań i analiz zachęcają do kontynuacji prac badawczych w kierunku zagadnień związanych z:

- odszukaniem istotnych zmiennych wpływających na proces obsługi PS<sub>N1</sub>;
- weryfikacją awaryjności pojazdów w dłuższym niż 2 lata zakresie czasowym;
- wpływem przeładowania PS<sub>N1</sub> na bezpieczeństwo ruchu drogowego, kierowcy oraz przewożonego ładunku;
- analizą kosztów eksploatacji pojazdów;
- opracowaniem strategii eksploatacyjnej dla mikro przedsiębiorstw transportowych użytkujących PS<sub>N1</sub>.

Opracowane w rozprawie założenia teoretyczne wraz z zaprezentowanym modelem mogą stanowić narzędzie do wsparcia systemu decyzyjnego oraz doskonalenia zarządzania procesem użytkowania PS<sub>N1</sub> w przedsiębiorstwach transportowych. Wykorzystane metody jako aparat badawczy dały podstawę do oceny procesu użytkowania pojazdów dostawczych, a przedstawione narzędzia mogą inspirować do podjęcia dalszych badań naukowych, co w znacznym stopniu przyczyniłoby się do poszerzenia wiedzy w zakresie użytkowania i eksploatacji pojazdów samochodowych kategorii N1.

## Literatura

- [1] Abe M. Vehicle handling dynamics: theory and application. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2009.
- [2] Aleksandrowicz P. Analiza możliwości optymalizowania kosztów eksploatacji samochodów dostawczych. *Autobusy*. 6/2016, s. 740 – 744.
- [3] Aleksandrowicz P., Żółtowski B. Vehicle repair costs calculation systems, Polish Association for Knowledge Management. BEL Studio sp. z o.o. Warszawa 2010.
- [4] 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.
- [5] Andrzejczak K., Młyńczak M., Selech J. Assessment model of operational effectiveness related to newly operated public means of transport. *Safety and Reliability – Theory and Applications – Cepin & Briš (Eds)*. 2017, s. 3455 – 3460.
- [6] Andrzejczak K., Młyńczak M., Selech J. Poissonowskie strumienie uszkodzeń w prognozowaniu kosztów obsługi korekcyjnych floty pojazdów. *Vol. 20, No. 4, 2018*, s. 602 – 609.
- [7] Andrzejczak K., Selech J.: Quantile analysis of the operating costs of public transport fleet, *Transport Problems*, vol. 12 (3) 2017, s. 103 – 111.
- [8] Andrzejczak K. Methods of the forecasting in the modeling of means of transport maintenance (in Polish). *Rozprawy nr 496*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2013.
- [9] Andrzejczak K. Stochastic modelling of the repairable system, *Journal of KONBiN* 3(35) 2015, s. 5 – 14.
- [10] Aripin M., Md Sam Y., Danapalasingam KA., et al. A review of active yaw control system for vehicle handling and stability enhancement. *Int J Veh Technol*. 2014.
- [11] Badzińska E., Cichorek S. Systemy telematyczne jako wsparcie zarządzania flotą pojazdów w transporcie drogowym – studium przypadku, *Marketing i Zarządzanie* 41 (2), 2015.
- [12] Będkowski L., Dąbrowski T. Podstawy eksploatacji. Część I. Podstawy diagnostyki technicznej. WAT. Warszawa 2000, s. 19 – 21.
- [13] Będkowski L., Dąbrowski T. Podstawy eksploatacji. Część II. Podstawy niezawodności eksploatacyjnej. WAT. Warszawa 2006, s. 64 – 67.
- [14] Bedyńska S., Cypryńska M. Statystyczny drogowość 1. Praktyczne wprowadzenie do wnioskowania statystycznego. SEDNO, Warszawa 2012.
- [15] Bendkowska-Senator K., Kordel Z., Waśkiewicz J. Małe i średnie przedsiębiorstwa w transporcie samochodowym. Stan – strategia. ITS. Warszawa 2015.
- [16] Biesok G. *Logistyka Usług, CeDeWu*, Warszawa 2013, s. 62.
- [17] Bojarski W. Efektywność systemowa przedsięwzięć gospodarczych. Wyższa Szkoła Zarządzania i Przedsiębiorczości im. B. Jańskiego, Warszawa 2001, s. 10.
- [18] Bokrantz J, Skoogh A, Berlin C, Stahre J. Maintenance in digitalised manufacturing: Delphi-based scenarios for 2030. *International Journal of Production Economics* 2017; 191, s. 154 – 169
- [19] Borge R et al. Development of road traffic emission inventories for urban air quality modeling in Madrid (Spain). 21st USEPA International Emission Inventory Conference. April 13–16, 2015. San Diego (California).
- [20] Borkowski S., Selejdak J., Salomon S. Efektywność eksploatacji maszyn i urządzeń, Wydawnictwo Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2006.

- [21] Bronk H., Cechy i układ kosztów w transporcie umożliwiające podejmowanie decyzji. Koszty i ceny w transporcie. Pomiar analiza. Zeszyty naukowe 813. Problemy transportu i logistyki 25. Szczecin 2014, s. 21 – 38.
- [22] Brzeziński M., Kijek M., Głodowska K., Owczarek P., Zelkowski J., Bartosiak P., Aspects of improvement in exploitation process of passenger means of transport, *Journal of Advanced Transportation*. 2018, s. 335– 350.
- [23] Brzeziński M. Modelowanie systemu remontu techniki wojsk lądowych,. WAT. Warszawa 2010.
- [24] Brzeziński M. Ocena systemów eksploatacji technik lądowych. WAT. Warszawa 2018, s. 16 – 22.
- [25] Brzeziński M., Zdunek P. Wpływ użytkowania środków transportowych na skuteczność ich działania w procesie eksploatacji. *Systemy Logistyczne Wojsk z. 44. Wojskowa Akademia Techniczna. Warszawa 2016*, s. 4 – 17
- [26] Brzeziński M., Gontarczyk M, Owczarek P., Zelkowski J., Model of process control of the use of N1 category vehicles in transport companies. 22nd International Scientific Conference. *Transport Means, Litwa 2018*, s. 1027 – 1032.
- [27] Brzeziński, M., Chylak, E. *Eksploatacja w logistyce wojskowej*, Bellona. Warszawa 1996.
- [28] Burla M., Leniado E., Romani F., Tagliavini P. The Role of Decision Support system (DSS) in Transportation Planning: The Experience of the Lombardy Region. *Proceedings of Seventh International Conference on Competition and Ownership in Land Passenger Transport, Molde. Norway, 25 – 28 June 2001*.
- [29] Caban J, Drożdżiel P, Krzywonos L, Rybicka I, Šarkan B, Ján Vrábek J. Statistical Analyses of Selected Maintenance Parameters of Vehicles of Road Transport Companies. *Advances in Science and Technology Research Journal 2019; 13(1)*, s. 1-13
- [30] Caban J., Gardyński L., Wrona R. Badania uszkodzeń wałów korbowych w trakcyjnych silnikach o zapłonie samoczynnym. *Zeszyty naukowe WSWL, Nr 3 (169) 2013*.
- [31] Cempel Cz., *Ewolucyjne modele symptomowe w diagnostyce maszyn*, Materiały I Kongresu Diagnostyki Technicznej, Gdańsk. 1996.
- [32] Chłopek Z., Bebkiewicz K. Model struktury pojazdów samochodowych dla kryterium poziomu technicznego ze względu na emisję zanieczyszczeń. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2017; 19 (4)*, s. 501–507.
- [33] Chukowski T., Kiciński M., Ocena systemu eksploatacji pojazdów samochodowych na przykładzie Bazy Lotnictwa Taktycznego. *Organizacja i zarządzanie. Autobusy 2018; 12*, s. 1026–1029.
- [34] Czarnkowska M., Migawa K. Analiza gotowości pojazdów ciężarowych eksploatowanych w systemie międzynarodowego transportu samochodowego. *Scientific Technical Journal, 2(1)/2013*, s. 5–13.
- [35] Dane Głównego Inspektoratu Transportu Drogowego na dzień 15.03.2018 r. (pозyskane drogą mailową).
- [36] Dane Głównego Urzędu Statystycznego. *Transport drogowy w Polsce w latach 2016 – 2019*.
- [37] Eurostat. ([http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=road\\_go\\_ta\\_tott&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=road_go_ta_tott&lang=en) stan na 11.09.2018 r.)
- [38] Dekker R. Applications of maintenance optimization models: A review and analysis. *Reliability Engineering and System Safety. No. 51. 1996*.
- [39] Downarowicz O. *System eksploatacji. Zarządzanie zasobami techniki*, Politechnika Gdańska, Gdańsk. 1997.

- [40] Drozd K., Weroński A. Problematyka kształtowania struktury i właściwości materiałów przeznaczonych na resory. Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej – Mechanika 72, Kielce, 2000.
- [41] Drożdżiel P., Komsta H., Krzywonos L. Analiza intensywności użytkowania pojazdów. Logistyka 3/2012.
- [42] Dyrektywa 2006/42/we parlamentu europejskiego i rady z dnia 17 maja 2006 r. W sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE (przekształcenie)
- [43] Dyrektywna Unii Europejskiej 89/392/EWG.
- [44] Dziubak T, Wysocki T, Dziubak S. Selection of vehicles for fleet of transport company on the basis of observation of their operational reliability. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2021; 23 (1), s. 184–194.
- [45] Figurski J., Wieciński W. Modelowanie systemu eksploatacji. Bellona: Warszawa, 1996.
- [46] Florek J., Barczak A. Procesy informacyjno-decyzyjne w eksploatacji obiektów technicznych. Telekomunikacja i Techniki Informacyjne, 1 – 2, 2004, s. 31 – 41.
- [47] Fornasiero R, Zangiacomì A, Sorlini M. A cost evaluation approach for trucks maintenance planning. Production Planning & Control 2012; 23(2-3), s. 171– 182.
- [48] Gania I P, Fertsch M K, Jayathilaka K R K. Reliability Centered Maintenance Framework for Manufacturing and Service Company: Functional Oriented. 24th International Conference on Production Research 2017, s. 721– 725.
- [49] Ghosh B., Basu B., O’Mahony M., Multivariate Short-Term Traffic Flow Forecasting Using Time Series Analysis, IEEE transactions on intelligent transportation systems, vol. 10, no. 2, 2009.
- [50] Gil. L., Ignaciuk. P., Dmowski. A. Analiza awaryjności jako składowej kosztów utrzymania pojazdów. Logistyka 3. 2014. s. 1981 – 1987.
- [51] Girtler J. Semi-Markov model of diesel engines’ operating process. The Archives of Automotive Engineering (Archiwum Motoryzacji) 2014; 3, s. 165 – 196.
- [52] Girtler J., Ślęzak M. Model stochastyczny czterostanowy zmian stanów niezawodnościowych samochodu. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2013; 15 (2), s. 156–160.
- [53] Gkatzoflias D, Kouridis Ch, Ntziachristos L, Samaras Z. COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport User manual (version 9.0). European Environment Agency. Emisia SA. 2012. (stan na 06.12.2016 r.).
- [54] Górniak-Zimroz J., Zimroz R., Król R., Jurdziak L. The application of GISs to support belt conveyor maintenance management. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały. Górnictwo i geologia XII nr 36, 2009, s. 278–291.
- [55] Han K. Developing a GIS-based decision Support System for Transportation System for Planning AASHTO GIS-T 2006.
- [56] Hebda M., Mazur T., Podstawy eksploatacji pojazdów samochodowych, WKiŁ: Warszawa. 1984 r.
- [57] Hege A, Perko M, Johnson A, Yu C H, Sönmez S, Apostolopoulos Y. Surveying the Impact of Work Hours and Schedules on Commercial Motor Vehicle Driver Sleep. Safety and Health at Work 2015, 6(2), s. 104–113.
- [58] Hokstad P., Frøvig A.T., The modeling of degraded and critical failures for components with dormant failures. Reliability Engineering and System Safety 51. 1996, s. 189–199.
- [59] [http://www.flota.com.pl/we\\_flocie/4512/kazdy-samochod-pofirmowy-moze-miec-drugiezycie.html](http://www.flota.com.pl/we_flocie/4512/kazdy-samochod-pofirmowy-moze-miec-drugiezycie.html) (stan na 15. 07. 2018 r.).
- [60] [https://drivebox.co/product/drivebox?gclid=EAIaIQobChMIInc7Fg5C85AIVhtGyCh1OXg1JEAAYASAAEgJdvD\\_BwE](https://drivebox.co/product/drivebox?gclid=EAIaIQobChMIInc7Fg5C85AIVhtGyCh1OXg1JEAAYASAAEgJdvD_BwE) (stan na 06.09.2019 r.).



- [61] <https://itcenter.pl/oferta/oprogramowanie-dedykowane/oprogramowanie-dla-transportu/> (stan na 06.09.2019 r.).
- [62] <https://www.datasystem.pl/pl/monitoring-samochodow-ciezarowych> (stan na 06.09.2019 r.).
- [63] <https://www.dostawczakiem.pl/to-jest-iveco-daily-65-jeden-z-nich-to-ciezarowka-a-drugi-to-bus/>(stan na 06.09.2019 r.).
- [64] <https://www.dpksystem.pl/produkty-i-uslugi/transportowe-systemy-informatyczne/nawigatorgps/> (stan na 06.09.2019 r.).
- [65] <https://www.globtrak.pl/firmy-transportowe/> (stan na 06.09.2019 r.).  
<https://www.gpsguardian.pl/oferta/monitoring-pojazdow-ciezarowych/> (stan na 06.09.2019 r.).  
<https://www.truckonline.pl/monitoring-pojazdow-gps-tir> (stan na 06.09.2019 r.).
- [66] Hua J., Faghri A. Applications of Artificial Neural Networks to Intelligent Vehicle-Highway Systems. *Transportation research record*. 1994 (1453), s. 83 – 90.
- [67] Idziaszek Z., Grzesik N. Zarys metody oceny trwałości i niezawodności obiektu z uwzględnieniem czynnika ludzkiego i płaszczyzny liczb zespolonych. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2014; 16 (3), s. 433–440.
- [68] Ignasiak E. (red.) *Badania operacyjne*. PWE. Warszawa 2001.
- [69] *Instrukcja obsługi Citroen Jumper* 2011.
- [70] Ireson W.G., Coombs C.R. Jr., Moss R.Y., *Handbook of Reliability Engineering and Management*. McGraw-Hill, New York 1996.
- [71] Izdebski M. The Use of Heuristic Algorithms to Optimize the Transport Issues on the Example of Municipal Services Companies. *Archives of Transport* No 1/2014, vol. 29, Polish Academy of Sciences, Committee of Transport, Warsaw 2014.
- [72] J. Y. Tey & R. Rahizar. Handling performance optimisation for formula vehicle using multi-objectives evolutionary algorithms, *Vehicle System Dynamics* 2019.
- [73] Jacyna M. *Modelowanie i ocena systemów transportowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa. 2009.
- [74] Jacyna M., Wasiak M., Lewczuk K. Kłodawski M. Simulation model of transport system of Poland as a tool for developing sustainable transport. *The archives of transport*. Volume 31, Issue 3. 2014, s. 23 – 35.
- [75] Jadczyk R. *Układanie tras pojazdów w łańcuchu dostaw. Modele, metody, zastosowania*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego. Łódź. 2019.
- [76] Janecki J., Tott K. *Organizacja eksploatacji pojazdów samochodowych*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 1986.
- [77] Jarzmik K., Jedynek M., Sowa A. *Komputerowy system wspomagania eksploatacji pojazdów w przedsiębiorstwie komunikacyjnym*. Oddz. PAN Kraków, Teka Komisji Naukowo Problemowej Motoryzacji: Konstrukcja, badania, eksploatacja, technologia pojazdów samochodowych i silników spalinowych. *INTERKONMOT*. Kraków 1998;16. s. 201–210.
- [78] Kaszubowski D., A Method for the Evaluation of Urban Freight Transport Models as a Tool for Improving the Delivery of Sustainable Urban Transport Policy. *Sustainability* 2019, 11(6), 1535.
- [79] Jastriebow A., Wciślik M. *Optymalizacja - teoria, algorytmy i ich realizacja w MATLAB-ie*, PŚ, Kielce. 2004.
- [80] Jokieli-Rokita A., Magiera R. Parameter estimation in non-homogeneous Poisson process models for software reliability. Technical report, Wrocław University of Technology, Institute of Mathematics and Computer Science. 2010.
- [81] Jonak J., *Modelowanie matematyczne procesów technicznych*. Politechnika Lubelska 2013.
- [82] Józefowska J. *Modele i narzędzia optymalizacji w systemach informatycznych zarządzania*. Politechnika Poznańska. Poznań 2010 (11).

- [83] Józwiak A. Application of Kohonen's network in logistics, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, nr 5, Warszawa. 2017.
- [84] Józwiak A., Świdorski A. Algorytmy sztucznej inteligencji w logistyce, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej*, Zeszyt 117, 2017, s. 97–108.
- [85] Jurecki R., Chaba R., Nowoczesne narzędzie do zarządzania flotą pojazdów w firmie pozwalające podnosić ekonomię jazdy oraz bezpieczeństwo kierowców, *Materiały Konferencyjne IX International Science Technical Conference, Automotive Safety 2014*, Rajceckie Teplice, s. 160 – 165
- [86] Jurecki R., Chara R. Zarządzanie flotą pojazdów z wykorzystaniem systemu Globtrak. *Logistyka*. 2014; 6: s. 4985 – 4992.
- [87] Kaczor G., Lorenc A.: Aplikacja niezawodnościowych struktur fazowych do wyznaczania niezawodności i kosztów eksploatacji technicznej wtryskiwaczy systemu Common Rail. *Problemy Eksploatacji* 3/2012, s. 29–38.
- [88] Szczepański E., Jachimowski R., Żak J. Decision Support System in Freight Transport Based on Vehicle Routing Problem with Quality Criterion. *Archives of Transport System Telematics*. Volume 11 (3). 2018. s. 49 – 56.
- [89] Katalog Norm Eksploatacji Techniki Lądowej, DU-4.22.13.1, sygn. Logis 23/2014.
- [90] Kierzkowski A. Model procesu eksploatacji obiektu technicznego. *Autobusy*. Nr. 3. Radom. 2013. s. 2193 – 2201.
- [91] Kisielewski P., Sobota Ł. Zastosowanie teorii masowej obsługi do modelowania systemów transportowych. *Autobusy* 6/2016. s. 600 – 604.
- [92] Knopik L, Migawa K. Multi-state model of maintenance policy. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2018; 20 (1), s.125–130
- [93] Ko H. J. A DSS approach with Fuzzy AHP to facilitate international multimodal transportation Network. *KMI International Journal of Maritime Affairs and Fisheries*, Vol. 1 issue 1. 2009, s. 51 – 70.
- [94] Konieczny J. Sterowanie eksploatacją urządzeń. PWN. Warszawa. 1975.
- [95] Kosman G., Rusin A. Koncepcja wspomaganie decyzji eksploatacyjnych i remontowych w zakresie trwałości turbin. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Energetyka*, Z. 131, nr kol 1427, 2009.
- [96] Kosobudzki M. Wykorzystanie sygnału przyspieszenia do modelowania obciążenia elementu ustroju nośnego pojazdu kołowego wysokiej mobilności, Wrocław: Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych. 2014.
- [97] Kowalski M. Magott J., Nowakowski T., Werbińska-Wojciechowska T. Analiza systemu transportowego z wykorzystaniem sieci Petriego. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2011; 1 (49), s. 48–62.
- [98] Koźlak A., *Ekonomika transportu. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2010
- [99] Krajowy Program Badań. Założenia polityki naukowo-technicznej i innowacyjnej państwa. Załącznik do uchwały nr 164/2011 Rady Ministrów z dnia 16 sierpnia 2011
- [100] Kristjanpoller F, Viveros P, Zio E, Pascual R, Aranda O. Equivalent availability index for the performance measurement of haul truck fleets. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2020; 22(4), s. 583–591.
- [101] Kucharski T. Metoda obliczania odpowiedzi dynamicznych układów opisanych równaniami o zmiennych w czasie parametrach. I Krajowa Konferencja Użytkowników MATLAB-a, AGH-Kraków. 1995.
- [102] Lannoy A., Procaccia H., The EDF failure reporting system process. Presentation and prospects. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 51, 1996.

- [103] Łazarz B., Wojnar B., Czech P., Wykrywanie wczesnych faz uszkodzeń kół zębatach w warunkach eksploatacyjnych, *Eksploatacja i Niezawodność* 1/2011, s. 68–77
- [104] Legutko S., *Eksploatacja maszyn*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2007.
- [105] Libea M., Waligóra W. Estymacja początkowego okresu niezawodnej pracy łożysk tocznych w pojazdach samochodowych na podstawie badań eksploatacyjnych. *Zagadnienie eksploatacji maszyn*. Z. 2 (150). 2007.
- [106] Ling D., Song W., Sun R. A reliability prediction method for diesel engine components based on fmea. *Maintenance and Reliability*. 1(49). 2011, s. 63 – 67.
- [107] Linneusson G, Ng H C, Amos, A T. Towards strategic development of maintenance and its effects on production performance by using system dynamics in the automotive industry. *International Journal of Production Economics* 2018; 200: 151– 169.
- [108] Liscak S. Zapewnienie niezawodności działania środka transportu. *Eksploatacja i niezawodność – Maintenance and Reliability* 2001; 1 (08), s. 18–22.
- [109] Lockwood B. Pareto Efficiency. *The New Palgrave Dictionary of Economics*. Second Edition. Palgrave Macmillan 2008, [www.dictionaryofeconomics.com](http://www.dictionaryofeconomics.com) (stan na 20.05.2013).
- [110] Loska A., Przegląd modeli eksploatacyjnych systemów technicznych, *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*, 2/2011, Warszawa, s. 37–46.
- [111] Lowe D. Pidgeon, C. *Lowe's Transport Manager's and Operator's Handbook*. Kogan Page; 49th edition, 2019.
- [112] Macha E, Niesłony A. *Niezawodność systemów mechatronicznych*. Podręcznik akademicki. OW Politechnika Opolska. Opole. 2011.
- [113] Masłowski D., Kulińska E., Ligęzka M. System telematyczny wspomagający zarządzanie transportem samochodowym w przedsiębiorstwie Saltrans. *Przedsiębiorczość i Zarządzanie* 12 (2) 2016, s. 331–355.
- [114] Matalytski M., Tikhonenko O. *Procesy stochastyczne, EXIT*, Warszawa. 2011.
- [115] Mendyk E. *Ekonomika transportu*. Poznań. Wyd. WSL. 2009.
- [116] *Metody organizacji i zarządzania. Teoria i praktyka*. Red. S. Duchniewicz. Wydawnictwo PTM, Warszawa 2007.
- [117] Młyńczak M. *Metodyka badań eksploatacyjnych obiektów technicznych*, Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2012, s. 204.
- [118] Młyńczak M., Nowakowski T. *Eksploatacja, niezawodność, bezpieczeństwo maszyn, metody i koncepcje wykorzystania wyników badań*, Inżynieria maszyn, Rok 6, Zeszyt 3, Wrocław. 2001.
- [119] Nakagawa T., *Stochastic Processes with Applications to Reliability Theory*. Springer, 2011.
- [120] Nallusamaya S., Balakannanb K., Charkabortyc PS, Majumdard G. Reliability Analysis of Passenger Transport Vehicles in Public Sector Undertaking. *International Journal of Applied Engineering Research* 10(68), 2015, s. 843 – 850.
- [121] Niewczas A., Ignaciuk P., Dmowski A. Analiza uszkodzeń i kosztów naprawy wybranych układów konstrukcyjnych samochodów dostawczych. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe* 2016; 11, s. 122 – 125.
- [122] Niewczas A, Mórański Ł, Dębicka E, Borucka A. Commercial vehicles incapacity risk analysis in the transport company. *Journal of Konbin* 2020; 49(4), s. 321-340.
- [123] Niewczas A., Rymarz J., Dębicka E. Etapy użytkowania pojazdów ze względu na efektywność eksploatacyjną na przykładzie autobusów miejskich. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2019; 21 (1), s. 21–27.
- [124] Niewczas A., Ślęzak M., Dmowski A., Ignaciuk P. Badanie uszkodzeń układów konstrukcyjnych samochodu ciężarowego oraz kosztów jego naprawy w warunkach wynajmu

- długoterminowego. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport.* z. 112. 2016. s. 291 – 301.
- [125] Niziński S. *Elementy eksploatacji obiektów technicznych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn 2000.
- [126] Niziński S., Wierzbicki S. Model procesu eksploatacji pojazdów mechanicznych. *Transport 1. Politechnika Radomska* 2002, s. 435–440.
- [127] Nowakowski T, Młyńczak M, Werbińska-Wojciechowska S, Dziaduch I, Tubis A. Life Cycle Costs of passenger transportation system. Case study of Wrocław city agglomeration 5. *JPSRA* 2014; 5 109–120.
- [128] Nowakowski T., Werbińska – Wojciechowska S. Zagadnienie utrzymania środków transportu – system wsparcia decyzyjnego. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej*, z. 87, 2012, s. 37 – 54.
- [129] Olearczuk E. *Zarys teorii użytkowania urządzeń technicznych*. WNT. Warszawa. 1972.
- [130] Olszańska S., Łukasik Z. Modelowanie działań systemu transportowego ciągłości niezawodnej pracy środków transportu, *Autobusy*, 6/2017.
- [131] Ossowski S., Hernandez J. Z., Belmonte M-V., Fernandez A., Garcia Serrano-A A., Perez-de-la-Cruz J-L., Serrano J-M., Triguero F. Decision support for traffic management based on organizational and communicative multiagent abstractions. *Transportations Research Part C*, vol. 13, 2005, s. 272 – 298.
- [132] Owczarek P, Brzeziński M., Zelkowski J., Gontarczyk M., Steering Model of Exploitation Process of N1 Category Vehicles in Transport Companies, *Transport Means Proceedings of the 22nd International Scientific Conference, Kaunas University of Technology, Volume: 3*, 2018. s. 1027–1032
- [133] PN – 93/N – 50191, *Słownik terminologiczny. Niezawodność, jakość usługi*.
- [134] PN-N 04001:1982: *Eksploatacja obiektów technicznych. Terminologia ogólna (wycofana bez zastąpienia 2006)*
- [135] Pokora W., Świdorski A. Modelowanie neuronowe w zastosowaniu do oceny zarządzania konfiguracją w logistyce, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, nr 5, Warszawa. 2014.
- [136] *Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne. Standard Eksploatacyjny SE – 03.1 / 1999*
- [137] Praca zbiorowa pod redakcją Woropaya M. *Podstawy racjonalnej eksploatacji maszyn. Biblioteka problemów eksploatacji*. Wyd. Instytut Technologii Eksploatacji. Radom. 1996.
- [138] Prochowski L. Ocena procesu narastania przebiegu podczas eksploatacji samochodów ciężarowych w kilku kategoriach pojemności silnika. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2018; 20 (3), s.359–370.
- [139] Prochowski L., Wach W., Jackowski J., Pieniążek W. Eksperymentalne i modelowe badania wpływu uszkodzenia opon run flat na dynamikę hamowania wieloosiowego pojazdu specjalnego. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* Vol. 17, No. 1, 2015, s. 118 – 128.
- [140] Prochowski L., Żuchowski A. *Pojazdy samochodowe. Samochody ciężarowe i autobusy*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006
- [141] Prońko R. Zastosowanie klasycznego algorytmu genetycznego do rozwiązania zbilansowanego zagadnienia transportowego, *Studia i Materiały. Miscellanea Oeconomicae* Rok 16, Nr 2/2012, s. 305–314.
- [142] Pszczółkowski J.S., Goliasz T. Badanie charakterystyk eksploatacyjnych uszkodzeń pojazdów kołowych, w: *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, vol. 20, nr 1-2, 2019, s. 203–210.

- [143] Pszczółkowski J.S., Goliasz T. Istota strategii eksploatacji wg kryteriów niezawodności. w: *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, vol. 20, nr 6, 2019, s. 161 – 167.
- [144] Pyszka A. Istota efektywności. Definicje i wymiary. Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach. Nr 230. 2015. s. 14–24.
- [145] Raport Głównego Inspektoratu Transportu Drogowego na temat funkcjonowania międzynarodowego transportu drogowego. Warszawa 2019. <https://gitd.gov.pl/dla-przedsiębiorców/raporty/> stan na 25.02.2020 r.
- [146] Raport PARP. Raport o stanie sektora małych i średnich przedsiębiorstw w Polsce. Warszawa 2019.
- [147] Rosiński A., Modelowanie procesu eksploatacji systemów telematyki transportu, Politechnika Warszawska, 2015.
- [148] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 27 września 2003 r. w sprawie szczegółowych czynności organów w sprawach związanych z dopuszczeniem pojazdu do ruchu oraz wzorów dokumentów w tych sprawach. Załącznik nr 4. Klasyfikacja pojazdów.
- [149] Rögnvaldsson T, Nowaczyk S, Byttner S, Prytz R, Svensso M. Self-monitoring for maintenance of vehicle fleets. *Data Mining and Knowledge Discovery* 2018; 32(2): 344-384.
- [150] Rydzkowski W., Wojewódzka-Król K. (red.), *Transport*, PWN, Warszawa 2009.
- [151] Rześny – Cieplińska J., *Organizatorzy transportu w kształtowaniu ładu przestrzennego gospodarki*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2013, s. 166 – 167.
- [152] Samuelson P.A., Nordhaus W.D. *Ekonomia*. T. 1. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004, s. 443.
- [153] Sienkiewicz P. *Teoria efektywności systemów*. PAN, Ossolineum, Wrocław-Warszawa-Kraków 1987, s. 67
- [154] Skerlic S., Sololovskij E., Erculj V. Maintenance of heavy trucks: an international study on truck drivers. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* Vol. 22, No. 3, 2020, s. 493 – 500.
- [155] Słowiński B. *Inżynieria eksploatacji maszyn*. Politechnika koszalińska. Koszalin 2014.
- [156] Smalko Z., *Podstawy projektowania niezawodnych maszyn i urządzeń mechanicznych*. WNT, Warszawa 1972. Wyd. 2, elektroniczne 2005
- [157] Smolnik M., Wiązania G., Szybka J.: *Koncepcja oceny systemu eksploatacji środków transportu komunikacji miejskiej*. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*. 2014, nr 7–8.
- [158] Stanisław A., *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny*. Tom 1. Statystyki podstawowe. Statsoft. Kraków 2006.
- [159] Stanisław A., *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny*. Tom II. Statystyki podstawowe. Statsoft. Kraków 2007.
- [160] Stenström C, Norrbin P, Parida A, Kumar U. Preventive and corrective maintenance - cost comparison and cost-benefit analysis. *Structure and Infrastructure Engineering* 2016; 12 (5), s. 603–617.
- [161] Sulmicki P. *Planowanie i zarządzanie gospodarcze*. PWE, Warszawa 1978, s. 137.
- [162] Ścieszka S., Żołnierczak M., *Eksploatacja maszyn. Część 1. Trwałość eksploatacyjna i regeneracja elementów maszyn*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice. 2012.
- [163] Ślęzak M., Niewczas A., Dmowski A., Ignaciuk P. Comparative Analysis of Reliability and Maintenance Costs of Heavy Goods Vehicles of Selected Brands Used Under Long-Term Rental. 11th International Scientific and Technical Conference on Automotive Safety Location: Casta Papiernica, Slovakia 18-20, 2018.

- [164] Świdorski A., Borucka A., Jacyna-Gołada I., Szczepański E. Wear of brake system components in various operating conditions of vehicle in the transport company. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2019; 21 (1): 1–9.
- [165] Świdorski A., Józwiak A., Dębicka E., Mitkow S. Modelowanie neuronowe zastosowaniu do oceny ryzyka w eksploatacji środków transportu. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport* 2018.
- [166] Świdorski A., Józwiak A., Jachimowski R. Eksploatacyjne miary jakości pojazdów w zastosowaniu do oceny usług transportowych z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2018; 20 (2), s. 292–299.
- [167] Szałucki K., Letkiewicz A. Przedsiębiorstwa transportowe – funkcjonowanie i rozwój. Uwarunkowania i narzędzie zwiększania efektywności przedsiębiorstw transportu w sieciach międzyorganizacyjnych. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ekonomika Transportu i Logistyka*. 2014 (53), s. 86 – 87.
- [168] Szybka J., Heinrich M., Smolnik M., Wędrychowicz D.: Failure stream parameters as the reliability characteristic of the maintenance process of the selected mining machines. *Problemy Eksploatacji. Maintenance Problems*. 2014, nr 1.
- [169] Szybka J., Szop T., *Niezawodność i bezpieczeństwo.*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2009.
- [170] Szymanowski W. *Kierowanie operacyjne w przedsiębiorstwie. Metody ilościowe*, PWSBiA, Warszawa. 2001.
- [171] Trzaskalik T. *Wprowadzenie do badań operacyjnych z komputerem*. Wyd. II. PWE, Warszawa. 2008.
- [172] Tylicki H., Ochodek B., Surówka L. Monitorowanie stanu technicznego pojazdów samochodowych. *Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management* Nr 69, 2014, s. 225 – 235.
- [173] Ulengin F., Onsel S., Topcu Y. I., Ektas E., Kabak O. An integrated transportation decision support system for transportation policy decisions. The case of Turkey. *Transportation Research, part A*, Vol. 41, 2007, s. 80 – 97.
- [174] Urbani-Popiołek I. (red). *Ekonomiczne i organizacyjne aspekty transportu*. Wyższa Szkoła Gospodarki w Bydgoszczy. Bydgoszcz 2013.
- [175] Ustawa o rachunkowości z dnia 29.09.1994 r. (Dz. U. nr 173, poz. 1807 z póź. zm.).
- [176] Ustawa z dn. 6 września 2001 r. o transporcie drogowym
- [177] Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym
- [178] Voronov S, Frisk E, Krysander M. Data-Driven Battery Lifetime Prediction and Confidence Estimation for Heavy-Duty Trucks. *IEEE Transactions on Reliability* 2018; 67(2): 1–17.
- [179] Wang H., Pham H. A survey of reliability and availability evaluation of complex networks using Monte Carlo techniques. *Microelectronics and Reliability*. Vol. 37, No.2, 1997.
- [180] Waśkiewicz J., Balke I., Średnie koszty 1 wozokilometra przebiegu oraz ich struktura rodzajowa w badanych polskich przedsiębiorstwach ciężarowego transportu samochodowego w latach 2009-2011 i w I półroczu 2012r., *Transport Samochodowy* 4. Warszawa 2012, s. 5–20.
- [181] Witkowski K., Tanona K. Analiza kosztów transportu drogowego. *Logistyka* 5. 2013. s. 411 – 416.
- [182] Wituszyński K. P., Jakubowski W. Wskaźniki niezawodności pojazdów samochodowych podlegających okresowym badaniom technicznym na Stacji Kontroli pojazdów. *Archiwum Motoryzacji* 1. Politechnika Białostocka 2009. s. 39 – 46.

- [183] Wojciechowski Ł., Cisowski T., Metoda optymalizacji procesu eksploatacji w ujęciu bezawaryjności pojazdu. Politechnika Lubelska. Lublin 2018.
- [184] Woropay M., Landowski B., Jaskulski Z. Wybrane problemy eksploatacji i zarządzania systemami technicznymi. Wydawnictwa Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej. Bydgoszcz. 2004.
- [185] Woźniak D., Rola badań technicznych i diagnostycznych. PSZ nr 3/2016, WIW, Warszawa, 2016
- [186] Woźniak D., Kukiełka K., Woźniak J., Exploitation wearing and car element malfunctions. Autobusy. 8/2016. s. 168 – 173.
- [187] Woźniak D., Kukiełka L., Woźniak J., Chodór J. Uszkodzenia silników samochodowych – niektóre aspekty identyfikacji. Eksploatacja i testy. Autobusy 7-8, 2017. s. 233 – 242.
- [188] [www.pracujwlogistyce.pl/11-tydzien-1/5587-sztuczna-inteligencja-w-spedycji-nowy-sposob-na-zdobywanie-frachtow](http://www.pracujwlogistyce.pl/11-tydzien-1/5587-sztuczna-inteligencja-w-spedycji-nowy-sposob-na-zdobywanie-frachtow) (stan na 15.07.2017 r.).
- [189] Wytyczne UDT dotyczące eksploatacji urządzeń transportu bliskiego, wydanie 1, grudzień 2018 r.
- [190] Zelkowski J., Kijek M., Owczarek P., Gontarczyk M., Analiza i ocena operatorów logistycznych w Polsce, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej Problemy transportu w inżynierii logistyki część 3, z. 120, Warszawa 2018, s. 459–470.
- [191] Zhou X et al. Integrating a simplified emission estimation model and mesoscopic dynamic traffic simulator to efficiently evaluate emission impacts of traffic management strategies. Transportation Research Part D: Transport and Environment 2015; 37, s. 123–136.
- [192] Zimon., G. Analiza kosztów w przedsiębiorstwach transportu samochodowego. Zeszyty naukowe uniwersytetu szczecińskiego nr 873 Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia nr 77. Szczecin. 2015. s. 349–354.
- [193] Żak J. Modelowanie procesów transportowych metodą sieci faz. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej Transport. 2013.
- [194] Żak J., Jacyna-Gołda I. Using queue theory to analysis and evaluation of the logistics centre workload. Archives of Transport 25, 2013, s. 117–135.
- [195] Żółtowski B., Niziński S. Modelowanie procesów eksploatacji maszyn, Akademia Techniczno-Rolnicza, Bydgoszcz. 2002.
- [196] Żółtowski J. Wybrane zagadnienia z podstaw konstrukcji i niezawodności maszyn. Warszawa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. 2004.
- [197] Zuber N., Bajrić R. Application of artificial neural networks and principal component analysis on vibration signals for automated fault classification of roller element bearings, Maintenance and Reliability, vol. 18, no. 2, Lublin. 2016.
- [198] Żurek J., Mitkow S., Ziółkowski J. Metody oceny gotowości pojazdów. Materiały XXXIV Zimowej Szkoły Niezawodności. Szczyrk. Wyd. ITeE. Radom. 2006.

## Spis rysunków

Rys. 1.1. Liczba przedsiębiorstw z liczbą taboru samochodów ciężarowych i ciągników siodłowych w latach 2014 – 2019.....	9
Rys. 1.2. Wzrost przewozu ładunków transportu samochodowego zarobkowego w ujęciu przewiezionych ton ładunku w latach 2014 – 2019.....	10
Rys. 1.3. Wzrost wykonanej pracy przewozowej transportu samochodowego zarobkowego w latach 2014 – 2019 .....	10
Rys. 1.4. Liczba pojazdów ciężarowych o ładowności do 1499 kg w stosunku do liczby wszystkich pojazdów ciężarowych w latach 2014 – 2019.....	12
Rys. 1.5. Wyniki kontroli pojazdów dostawczych .....	13
Rys. 2.1. Usytuowanie przedziału silnika: a) przed kabiną kierowcy, b) i c) we wnętrzu kabiny .....	20
Rys. 2.2. Przebieg współczynnika gotowości technicznej dla pojazdów dostawczych.....	25
Rys. 2.3. Charakterystyka funkcji niezawodności $R(t)$ oraz funkcji zawodności $F(t)$ .....	27
Rys. 2.4. Zależność kosztów od niezawodności pojazdu samochodowego .....	29
Rys. 2.5. Model pojazdu o szeregowej strukturze niezawodnościowej, składającej się z 6 układów .....	30
Rys. 2.6. Charakterystyka stanów technicznych w zależności od czasu eksploatacji pojazdu samochodowego .....	34
Rys. 2.7. Zależność cech użytkowych pojazdu od czasu jego eksploatacji .....	34
Rys. 2.8. Eksploatacja w cyklu życia pojazdu samochodowego.....	38
Rys. 2.9. Struktura systemu eksploatacji $PS_{N1}$ .....	41
Rys. 2.10. Relacja pomiędzy założoną, a rzeczywistą charakterystyką użytkowanego pojazdu samochodowego .....	45
Rys. 2.11. Klasyfikacja modeli procesów eksploatacji pojazdów samochodowych .....	50
Rys. 2.12. Transformacja wejść na wyjścia w procesie użytkowania $PS_{N1}$ .....	52
Rys. 2.13. Graficzne przedstawienie wykorzystania modeli matematycznych w informatycznych systemach zarządzania procesami eksploatacji $PS_{N1}$ .....	55
Rys. 3.1. Schemat realizacji pracy .....	72
Rys. 4.1. Grupy wiekowe pojazdów samochodowych kategorii N1 .....	77
Rys. 4.2. Udział procentowy grupy pojazdów w wieku 12 lat i starsze w stosunku do wszystkich pojazdów samochodowych kategorii N1 .....	77



Rys. 4.3. Schemat realizacji działań operacyjnych w obszarze relacji biznesowych pomiędzy poszczególnymi podmiotami łańcucha dostaw .....	82
Rys. 4.4. Schemat realizacji zlecenia transportowego.....	83
Rys. 4.5. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Jaka jest wielkość przedsiębiorstwa transportowego?” .....	85
Rys. 4.6. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Jaką pełni Pan/Pani funkcję w przedsiębiorstwie?” .....	86
Rys. 4.7. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Ile pojazdów dostawczych zarejestrowanych jest w Pana/Pani przedsiębiorstwie?” .....	86
Rys. 4.8. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Jaka jest specyfika jazdy pojazdów dostawczych w Pana/Pani przedsiębiorstwie?” .....	86
Rys. 4.9. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Na jakiej podstawie planowanie jest użytkowanie pojazdów?” .....	87
Rys. 4.10. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Z jakim wyprzedzeniem planowane jest użytkowanie pojazdów? .....	87
Rys. 4.11. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Jak często użytkowane są pojazdy w odniesieniu do tygodnia?” .....	87
Rys. 4.12. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Jaki jest średni dzienny przebieg pojazdów?” .....	88
Rys. 4.13. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Czy stosuje się Pan/Pani do zasad jazdy ekonomicznej?” .....	88
Rys. 4.14. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Jaki jest średni czas realizacji zlecenia transportowego?” .....	88
Rys. 4.15. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Czy przekracza Pan/Pani dopuszczalne normy użytkowania? Jeśli tak to jakie?” .....	89
Rys. 4.16. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Czy stosuje się Pan/Pani do wytycznych określonych w instrukcji obsługi pojazdu w zakresie wykonywania przeglądów okresowych?” .....	89
Rys. 4.17. Wyniki ankiet dotyczące odpowiedzi na pytanie: „Czy wykonuje Pan/Pani codzienną obsługę techniczną pojazdu przed rozpoczęciem pracy, jeśli tak to jakie są to czynności?.....	89
Rys. 5.1. Renault Master z nadwoziem typu chłodnia.....	94
Rys. 5.2. Udziały poszczególnych grup kosztów przedsiębiorstwa transportu samochodowego ładunków na podstawie wybranej literatury oraz badań własnych .....	115

Rys. 6.1. Algorytm postępowania dla opracowania modelu procesu użytkowania pojazdów dostawczych.....	127
Rys. 6.2. Edytor danych w systemie IBM SPSS Statistics .....	130
Rys. 6.3. Edytor raportów w systemie IBM SPSS Statistics.....	130
Rys. 6.4. Struktura zbioru danych w systemie IBM SPSS Statistics .....	131
Rys. 6.5. Badanie statystyk opisowych dla zmiennych ilościowych w systemie IBM SPSS Statistics.....	131
Rys. 6.6. Dobór parametrów modelu regresji wieloczynnikowej w systemie IBM SPSS Statistics.....	132
Rys. 6.7. Weryfikacja modelu w systemie IBM SPSS Statistics .....	132
Rys. 7.1. Liniowy model utraty potencjału użytkowego .....	185
Rys. 7.2. Zależność zużycia współpracujących części od przebiegu pojazdu .....	185
Rys. 7.3. Koszty napraw wybranych układów funkcjonalnych dla badanych marek pojazdów.....	188
Rys. 7.4. Pęknięta rama nośna pojazdu Renault Master .....	189

## Spis tabel

Tab. 2.1. Rodzaje i podrodzaje pojazdów .....	18
Tab. 2.2. Przeznaczenie pojazdów ze względu na specyfikację.....	19
Tab. 3.1. Wykaz badanych przedsiębiorstw transportowych użytkujących PS <sub>N1</sub> .....	70
Tab. 4.1. Klasyfikacja przedsiębiorstw transportowych na podstawie wybranej literatury.....	75
Tab. 4.2. Kryteria doboru przedsiębiorstw transportowych użytkujących PS <sub>N1</sub> .....	80
Tab. 4.3. Identyfikacja załadunków i rozładunków w procesie realizacji zlecenia transportowego .....	81
Tab. 5.1. Specyfikacja techniczna Renault Master.....	94
Tab. 5.2. Charakterystyka techniczna pojazdów samochodowych kategorii N1 .....	95
Tab. 5.3. Zestawienie wybranych obserwacji wraz z opisującymi je zmiennymi w podziale na grupy .....	98
Tab. 5.4. Charakterystyka zmiennych techniczno-eksploatacyjnych procesu użytkowania PS <sub>N1</sub> .....	99
Tab. 5.5. Zbiór zmiennych techniczno-eksploatacyjnych stanowiących podstawę do badań efektywności użytkowania PS <sub>N1</sub> .....	104
Tab. 5.6. Zestawienie współczynników efektywności użytkowania PS <sub>N1</sub> .....	106
Tab. 5.7. Zestawienie współczynników efektywności użytkowania PS <sub>N1</sub> w odniesieniu do każdego przedsiębiorstwa transportowego.....	109
Tab. 5.8. Obszary decyzyjne procesu użytkowania i obsługi PS <sub>N1</sub> w przedsiębiorstwach transportowych .....	119
Tab. 5.9. Charakterystyka czynności wykonywanych podczas przeglądu standardowego dla Citroen Jumper z silnikiem Multijet 120 .....	123
Tab. 6.1. Zestawienie istotnych zmiennych techniczno-eksploatacyjnych procesu użytkowania PS <sub>N1</sub> .....	128
Tab. 6.2. Analiza statystyczna zmiennej <i>Przebieg dzienny</i> w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych .....	136
Tab. 6.3. Analiza statystyczna zmiennej <i>Czas jazdy</i> w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych .....	138
Tab. 6.4. Analiza statystyczna zmiennej <i>Czas pracy</i> w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych .....	140
Tab. 6.5. Analiza statystyczna zmiennej <i>Współczynnik przeciążenia</i> w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych.....	142

Tab. 6.6. Analiza statystyczna zmiennej <i>Zużycie paliwa</i> w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych .....	144
Tab. 6.7. Analiza statystyczna zmiennej <i>Ładowność</i> w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych .....	146
Tab. 6.8. Analiza statystyczna zmiennej <i>Masa ładunku</i> w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych .....	148
Tab. 6.9. Analiza statystyczna zmiennej <i>Koszt realizacji zlecenia transportowego</i> w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych .....	150
Tab. 6.10. Analiza statystyczna zmiennej <i>Cena za realizację usługi</i> w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych .....	152
Tab. 6.11. Analiza statystyczna zmiennej <i>Dochód</i> w odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych .....	154
Tab. 6.12. Analiza statystyczna dla zmiennej <i>Model pojazdu</i> .....	156
Tab. 6.13. Analiza statystyczna dla zmiennej <i>Sezonowość</i> .....	156
Tab. 6.14. Podsumowanie regresji wieloczynnikowej zmiennej zależnej <i>Dochód <math>D_u</math></i> dla przedsiębiorstwa 1 .....	162
Tab. 6.15. Wyniki analizy regresji dla przedsiębiorstwa 1 .....	162
Tab. 6.16. Analiza nadmiarowości modelu regresji dla przedsiębiorstwa 1 .....	162
Tab. 6.17. Podsumowanie regresji wieloczynnikowej zmiennej zależnej <i>Dochód <math>D_u</math></i> dla przedsiębiorstwa 2 .....	163
Tab. 6.18. Wyniki analizy regresji dla przedsiębiorstwa 2 .....	163
Tab. 6.19. Analiza nadmiarowości modelu regresji dla przedsiębiorstwa 2 .....	163
Tab. 6.20. Podsumowanie regresji wieloczynnikowej zmiennej zależnej <i>Dochód <math>D_u</math></i> dla przedsiębiorstwa 3 .....	164
Tab. 6.21. Wyniki analizy regresji dla przedsiębiorstwa 3 .....	164
Tab. 6.22. Analiza nadmiarowości modelu regresji dla przedsiębiorstwa 3 .....	165
Tab. 6.23. Podsumowanie regresji wieloczynnikowej zmiennej zależnej <i>Dochód <math>D_u</math></i> dla przedsiębiorstwa 4 .....	165
Tab. 6.24. Wyniki analizy regresji dla przedsiębiorstwa 4 .....	165
Tab. 6.25. Analiza nadmiarowości modelu regresji dla przedsiębiorstwa 4 .....	166
Tab. 6.26. Podsumowanie regresji wieloczynnikowej zmiennej zależnej <i>Dochód <math>D_u</math></i> dla przedsiębiorstwa 5 .....	166
Tab. 6.27. Wyniki analizy regresji dla przedsiębiorstwa 5 .....	166
Tab. 6.28. Analiza nadmiarowości modelu regresji dla przedsiębiorstwa 5 .....	167

Tab. 6.29. Podsumowanie regresji wieloczynnikowej zmiennej zależnej <i>Dochód <math>D_u</math></i> dla przedsiębiorstwa 6 .....	167
Tab. 6.30. Wyniki analizy regresji dla przedsiębiorstwa 6 .....	167
Tab. 6.31. Analiza nadmiarowości modelu regresji dla przedsiębiorstwa 6.....	168
Tab. 6.32. Podsumowanie regresji wieloczynnikowej zmiennej zależnej <i>Dochód <math>D_u</math></i> dla przedsiębiorstwa 7 .....	168
Tab. 6.33. Wyniki analizy regresji dla przedsiębiorstwa 7 .....	168
Tab. 6.34. Analiza nadmiarowości modelu regresji dla przedsiębiorstwa 7 .....	169
Tab. 6.35. Wyniki testu normalności reszt.....	170
Tab. 6.36. Wyniki testu Durбина-Watsona.....	171
Tab. 6.37. Wyniki statystyk testowych T oraz zbiorów krytycznych.....	173
Tab. 6.38. Wyniki prognozy dochodu dla przedsiębiorstwa 1 .....	175
Tab. 7.1. Analiza awaryjności dla wszystkich obserwacji.....	179
Tab. 7.2. Analiza testu Kruskala-Wallisa.....	180
Tab. 7.3. Statystyki opisowe dla zmiennych <i>Wiek Pojazdu <math>W_p</math>, Współczynnik przeciążenia <math>W_u</math>, Zużycie paliwa <math>S_u</math></i> w grupie „awaria”.....	181
Tab. 7.4. Analiza awaryjności dla zmiennej <i>Zużycie paliwa</i> i <i>Modelu pojazdu</i> .....	182
Tab. 7.5. Analiza awaryjności dla zmiennej <i>Model pojazdu</i> i <i>Współczynnik przeciążenia</i> ...	182
Tab. 7.6. Analiza awaryjności dla zmiennej <i>Sezonowość</i> i <i>Zużycie paliwa</i> .....	183
Tab. 7.7. Analiza awaryjności dla zmiennej <i>Sezonowość</i> i <i>Współczynnik przeciążenia</i> .....	183
Tab. 7.8. Analiza wybranych cech techniczno-eksploatacyjnych dla pojazdów awaryjnych w odniesieniu do marki pojazdu.....	189

## Załącznik nr 1

 <p><b>Farmio SA</b>          ul. Rondo ONZ 1 / XX p., 00-124 Warszawa          Sąd Rejonowy dla M. St. Warszawy w Warszawie, XII Wydział Gospodarczy, KRS 0000405809          Kapitał Zakładowy 1 285 347,00 zł, NIP: 525-252-13-33, REGON: 145878753</p>		
ZLECENIE TRANSPORTOWE NR: 125/2016		Z DNIA: 7.02.2016
Przedsiębiorstwo transportowe: <b>DELOS TRANS</b> <b>PRZEMYSŁOWA 6, 05-860 PŁOCHOCIN</b>	Pojazd samochodowy: <b>WGM 5521U</b>	
Miejsce załadunku: <b>FERMA DROBIU MIZGIER</b> <b>ŚRODA WIELKOPOLSKA 63-000</b> <b>MARIANOWO BRODOWSKIE 20</b>	Miejsce rozładunku: <b>FRESH LOGISTICS POLSKA</b> <b>GRODZISK MAZOWIECKI 05-825</b> <b>TRANSPORTOWA 6</b>	
Termin załadunku: <b>2.02.2016 godz. 13:00</b>	Termin rozładunku: <b>2.02.2016 godz. 19:00</b>	
Specyfikacja ładunku: Towar pakowany w tekturowe wyłaczanki, następnie w kartony układane na paletach. Towar zabezpieczony folią, przekładkami oraz usztywnianymi narożnikami.		
Rodzaj ładunku: <b>Jaja 10M WW (103-15-22)</b>	Liczba palet: <b>8 EUR</b>	
WYMIARY: <b>120x80x100</b>	Masa ładunku: <b>1800 kg</b>	
Uwagi / dyspozycje dodatkowe: <b>Termin płatności - 28 dni od daty dostarczenia fv do biura zleceniodawcy</b> <b>Bez wymiany palet</b> <b>Transport w temperaturze kontrolowanej - chłodnia</b> <b>Kierowca przyjmuje i zdaje jedynie palety EUR (nie budzące zastrzeżeń) za dostawę towaru do klienta na palecie innej niż EUR zostanie obciążony.</b>	Cena za realizację usługi: <b>1,50 zł/km</b>	
Zlecenie wystawił:  Krzysztof Marchwadzki		
<b><u>Wymagane pisemne potwierdzenie przyjęcia zlecenia do realizacji w ciągu 1 godziny. Brak pisemnej odmowy w ciągu 1 godziny od otrzymania zlecenia oznacza jego przyjęcie.</u></b> W sprawach nieuregulowanych obowiązują przepisy Kodeksu Cywilnego.		

## Załącznik nr 2

Paulina Owczarek  
Wojskowej Akademii Technicznej

Szanowni Państwo,

W ramach prowadzonych badań w obszarze użytkowania pojazdów samochodowych kategorii N1 (pojazdów dostawczych) zwracam się z prośbą o anonimowe wypełnienie ankiety, której celem jest weryfikacja warunków i zasad użytkowania pojazdów dostawczych w przedsiębiorstwach transportowych. Wyniki niniejszej ankiety zostaną wykorzystane i opublikowane w rozprawie doktorskiej pt. „Modelowanie procesu użytkowania pojazdów samochodowych kategorii N1 w przedsiębiorstwach transportowych.” Wypełnienie ankiety zajmie Państwu 5 – 10 min.

Dziękuję serdecznie za udział w badaniu!

### ANKIETA

1. Jaka jest wielkość przedsiębiorstwa transportowego, które Pan/Pani reprezentuje?
  - Mikro przedsiębiorstwo (zatrudnionych mniej niż 10 pracowników)
  - Małe przedsiębiorstwo (zatrudnionych mniej niż 50 pracowników)
  - Średnie przedsiębiorstwo (zatrudnionych mniej niż 250 pracowników)
  
2. Kto jest odpowiedzialny za zarządzanie transportem w Pana/Pani firmie?
  - Właściciel przedsiębiorstwa
  - Kierownik transportu
  
3. Jaka funkcję pełni Pan/Pani w przedsiębiorstwie?
  - Właściciel przedsiębiorstwa
  - Właściciel przedsiębiorstwa i jednocześnie kierowca
  - Kierowca
  - Kierownik transportu
  - Inne .....
  
4. Ile pojazdów ciężarowych o DMC do 3,5 tony zarejestrowanych jest w Pana/Pani przedsiębiorstwie?  
.....
  
5. Jaka jest specyfika jazdy pojazdów dostawczych w Pana/Pani przedsiębiorstwie?
  - Miejska
  - Podmiejska
  - Autostradowa
  - Mieszana
  
6. Na podstawie czego planowane jest użytkowanie pojazdów w celu świadczenia usług transportowych?
  - Nie jest planowane
  - Na podstawie zleceń od klienta, których nie da się przewidzieć
  - Na podstawie stałej umowy z klientem
  
7. Z jakim wyprzedzeniem planowane jest użytkowanie pojazdów?
  - Z dnia na dzień
  - Z 2-3 dniowym wyprzedzeniem
  - Z ok tygodniowym wyprzedzeniem
  - Z min tygodniowym wyprzedzeniem
  - Zgodnie ze stałym harmonogramem dostaw

8. Jak często użytkowane są pojazdy dostawcze w odniesieniu do tygodnia?
- 1-3 dni w tygodniu
  - 4-5 dni w tygodniu
  - 6 dni w tygodniu
  - Codziennie
9. Jaki jest średni dzienny przebieg pojazdów dostawczych?
- Do 100 km
  - 100-200 km
  - 200-300 km
  - 300-400 km
  - Powyżej 400 km
10. Czy w przedsiębiorstwie stosowane są metody sterowania użytkowaniem pojazdów?
- nie
  - tak
- Jeśli tak to jakie.....
11. Czy stosuje się Pan/Pani do zasad jazdy ekonomicznej?
- nie
  - tak
12. Jaki jest średni czas realizacji zlecenia transportowego?
- Do 4 h
  - 4h-6h
  - 6h-9h
  - Powyżej 9h
13. Czy przekracza Pan/Pani dopuszczalne normy użytkowania? Jeśli tak to jakie?
- Nie przekracza
  - Dopuszczalną masę całkowitą
  - Dopuszczalne naciski na oś
  - Dopuszczalne czas jazdy
14. Czy stosuje się Pan/Pani do wytycznych określonych w instrukcji obsługi pojazdu w zakresie wykonywania przeglądów okresowych?
- nie
  - tak
15. Czy wykonuje Pan/Pani codzienną obsługę techniczną pojazdu przed rozpoczęciem pracy, jeśli tak to jakie są to czynności?
- nie
  - tak
  - Kontrola ogumienia
  - Kontrola układu hamulcowego
  - Kontrola układu kierowniczego
  - Uzupełnianie płynów
  - Kontrola skrzyni ładunkowej
  - Inne .....