POLITECHNIKA LUBELSKA

Wydział Mechaniczny

Rozprawa doktorska

Mgr inż. Dariusz Siłuch

Ekspercki model procesu eksploatacji środków transportu zorientowany na minimalizację czasu wyłączenia pojazdu z użytkowania

Promotor: dr hab. inż. Paweł Droździel, prof. uczelni

Promotor pomocniczy: dr inż. Dariusz Dobrowolski

Lublin 2024

Spis treści

Oznaczenie skrótów i symboli ... 3
Wybrane pojęcia i definicje stosowane w pracy ... 5
1. Wstęp ... 8
2. Wybrane zagadnienia eksploatacyjnej obsługi technicznej ... 10
2.1 Antropotechniczny system działania w transporcie samochodowym ... 10
2.2 Obsługa maszyn ... 12
2.3 Strategie eksploatacji maszyn ... 13
2.4 Systemy informatyczne zarządzania eksploatacją ... 15
3. Podstawowe modele niezawodnościowe pojazdu samochodowego ... 17
4. Proces analizy danych ... 24
4.1 Zrozumienie problemu oraz danych ... 25
4.2 Przygotowanie danych ... 27
5. Podsumowanie przeglądu literatury ... 29
6. Teza i cel pracy ... 32
7. Charakterystyka przedsiębiorstwa ... 33
7.1 Opis zebranych danych ... 33
7.2 Kategorie pojazdów PP ... 35
8. Ekspercki model procesu eksploatacji środków transportu ... 38
8.1 Ocena jakości zebranych danych ... 41
8.2 Przygotowanie zebranych danych do analizy ... 43
8.3 Wyznaczenie wskaźników i charakterystyk niezawodnościowych ... 52
8.4 Ocena wpływu stylu jazdy kierowców na czas przebywania pojazdu w naprawie ... 62
8.5 Badania symulacyjne ... 75
Podsumowanie ... 80
Bibliografia ... 82
Streszczenie ... 93
Abstract ... 94
Wykaz rysunków ... 95
Wykaz tabel ... 97
Załączniki ... 98

Oznaczenie skrótów i symboli

Δl – długość przedziału w którym prowadzono badania [km];

Δl_i – i-ty przedział w którym przeprowadzano badania;

Δm_i – liczba zarejestrowanych uszkodzeń w i-tym przedziale Δl_i;

Δt – szerokość badanego przedziału resursu [km];

θ_x – udział przebiegu pojazdu, wykonanego ze średnim spalaniem paliwa na poziomie klasy spalania x, w stosunku do przebiegu całkowitego tego pojazdu;

$\lambda(t)$ – funkcja intensywności uszkodzeń;

C – ilość zużytego paliwa [dm^3];

d_n – liczba dni roboczych w naprawie;

$\overline{d_u}$ – średnia liczba dni użytkowania pojazdów;

D_{NP} – dni w naprawie w przeliczeniu na 10000 km przebiegu pojazdu;

$\overline{D_{NP}}$ – wartość średnia liczby dni w naprawie w przeliczeniu na 10000 km przebiegu pojazdu dla wszystkich badanych pojazdów;

$\overline{d_{n/1rok}}$ – średnia liczba dni w naprawie w ciągu roku w przeliczeniu na 1 pojazd;

DPU – system działania Decydent-Pojazd-Użytkownik;

E(L) – wartość oczekiwana przebiegu pojazdu [km];

f(t) – funkcja gęstości prawdopodobieństwa;

F(t) – funkcja zawodności (dystrybuanta);

FC – średnie spalanie paliwa [dm^3/100 km];

kj – k-te uszkodzenie j-tego samochodu;

l – przebieg pojazdu [km];

$\overline{L}$ – średni przebieg badanych pojazdów [km];

L_0 – średni przebieg do pierwszego uszkodzenia [km];

L_0^k – Średni przebieg do k-tego uszkodzenia [km];

l_{1j} – przebieg do pierwszego uszkodzenia j-tego obiektu [km];

L_c – całkowity przebieg pojazdu [km];

l_{ij} – przebieg między i-tym, a (i-1)-szym uszkodzeniem j-tego samochodu [km];

l_j – przebieg j-tego samochodu [km];

L_{mnj} – przebieg między dwoma kolejnymi uszkodzeniami j-tego obiektu [km];

L_{sx} – przebieg pojazdu wykonany ze średnim spalaniem paliwa, na poziomie klasy spalania paliwa x [km];

$L_{śr}$ – średni przebieg między uszkodzeniami [km];

$m(l)$ – liczba elementów niezdatnych do przebiegu l;

$m(t)$ – liczba elementów niezdatnych w chwili t;

$m(t+\Delta t)$ – liczba elementów niezdatnych do chwili $t+\Delta t$;

m_j – liczba uszkodzeń j-tego obiektu;

$N(0)$ – liczba elementów zdatnych w chwili początkowej;

$n(t)$ – liczba elementów zdatnych w chwili t;

NB – naprawa bieżąca;

$N_{śr}(\Delta t)$ – średnia liczba elementów zdatnych w przedziale resursu Δt;

$\overline{O}$ – średni okres eksploatacji pojazdów [lat];

p – wartość prawdopodobieństwa testowego p;

p_{ij}^{n} – pracochłonność i-tej naprawy na j-tym samochodzie wyrażona w roboczogodzinach [rbh];

P_n – średnia pracochłonność napraw bieżących pojazdu w przeliczeniu na 1000 kilometrów przebiegu;

P_n' – średnia jednostkowa pracochłonność naprawy wyrażona w roboczogodzinach przypadających na jedną naprawę;

PP – Poczta Polska S.A.;

r – klasa złożoności pojazdu;

$R(l)$ – funkcja niezawodności;

t – czas pracy obiektu [dni];

t_i – czas poprawnej pracy do pierwszego uszkodzenia i-tego obiektu [dni];

T – czas pracy obiektu do uszkodzenia [dni];

T_0 – czas pracy do pierwszego uszkodzenia [dni];

WER – Węzeł Ekspedycyjno-Rozdzielczy Poczty Polskiej S.A.

Wybrane pojęcia i definicje stosowane w pracy

Wymienione poniżej pojęcia i definicje zostały opracowane na podstawie [1, 2, 3, 4, 5].

Bezawaryjność to potencjał utrzymania stanu zdatności w ciągu określonego okresu lub ustalonego przebiegu.

Element obiektu badań to najmniejsza, niepodzielna część wystarczająca do zrealizowania określonego celu badań niezawodności.

Konserwacja obejmuje czynności związane z ochroną obiektu przed niekorzystnym wpływem otoczenia (np. korozją), czyszczeniem, smarowaniem, regulacjami i wzmacnianiem połączeń. Czasami zabiegi konserwacyjne traktowane są jako tożsame z obsługą okresową.

Modernizacja jest rodzajem odnowy mającej na celu poprawę parametrów funkcjonowania maszyny. W wyniku przeprowadzonej modernizacji powinno nastąpić np. zwiększenie wydajności maszyny, poprawa jakości wyrobów lub usług, poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy z maszyną, polepszenie wskaźników ekonomicznych funkcjonowania maszyny.

Napraw główna to remont o największym zakresie rzeczowym – przyjmuje się, że koszt takiej naprawy nie powinien przekroczyć 75% wartości odtworzeniowej maszyny – mający na celu przywrócenie maszyny do jej stanu pierwotnego. Polega na naprawie lub wymianie wszystkich części i podzespołów maszyny, których zdatność użytkowa w znaczny sposób zmniejszyła się w efekcie długotrwałej pracy.

Naprawa to doprowadzenie do stanu używalności uszkodzonych zespołów lub pojedynczych części maszyny.

Naprawa bieżąca to naprawa o małym zakresie rzeczowym – przyjmuje się, że koszt takiej naprawy nie powinien przekroczyć 15% wartości odtworzeniowej maszyny – mająca na celu przywrócenie sprawności użytkowej maszyny. W ramach NB można wykonać przegląd, przeprowadzić wymianę zużytych części uniemożliwiających poprawne działanie maszyny, wykonać modernizację maszyny, a także przeprowadzić czynności obsługi codziennej.

Naprawa średnia to naprawa o średnim zakresie rzeczowym – przyjmuje się, że koszt takiej naprawy nie powinien przekroczyć 50% wartości odtworzeniowej maszyny. Obejmuje prace przygotowawcze (takie jak przegląd, demontaż, czyszczenie zdemontowanych podzespołów i części, ocenę ich stanu oraz określenie zakresu wykonywanych prac) oraz prace remontowe (np. wymiana lub naprawa zużytych części, montaż, wykonanie próby).

Naprawialność (zdolność naprawcza, podatność obsługowo-naprawcza) określa przystosowanie obiektu i jego elementów składowych do przeciwdziałania, detekcji i usuwania uszkodzeń. Cechuje się nakładami czasu pracy i materiałów użytych na wykonanie czynności zapobiegawczych oraz naprawczych.

Niezawodność definiowana jest jako zdatność obiektu do wykonania stawianych mu zadań. Miarą niezawodności jest prawdopodobieństwo, że obiekt będzie zdatny w określonym czasie i w określonych warunkach użytkowania.

Obiekt badań rozumiany jest jako pojedyncze urządzenie techniczne lub jego układy, podzespoły, lub też części składowe. Obiektem badań może być też złożony system techniczny zbudowany m.in. ze zbioru maszyn, urządzeń, baz transportowych.

Obsługa codzienna maszyn obejmuje sprawdzenie, oraz usunięcie uchybień z zakresu czystości maszyn, smarowania i działania mechanizmów, jakości połączeń, zużycia materiałów eksploatacyjnych, stanu elementów mających wpływ na bezpieczeństwo pracy.

Obsługa okresowa to podstawowy rodzaj obsługi wykonywanej w ustalonych przedziałach czasu lub resursu, o ustalonym zakresem działania. Jest to typowy rodzaj obsługi, właściwy dla strategii planowo-zapobiegawczej.

Obsługa okresowa to zespół czynności profilaktycznych, przeprowadzanych cyklicznie, zgodnie z ustalonym harmonogramem, mających na celu podtrzymanie oraz przywrócenie wartości użytkowych urządzenia. Czynności te polegają na diagnozowaniu stanu urządzenia oraz usuwaniu wykrytych niesprawności.

Obsługa organizacyjna to działania organizacyjne dotyczące przechowywania lub transportowania kompletnego urządzenia.

Obsługa techniczna ma na celu podtrzymanie lub odtworzenie stanu zdatności urządzenia. W jej wyniku następuje zmiana stanu technicznego urządzenia.

Odnowa to cel działania w efekcie którego następuje przywrócenie stanu zdatności obiektu.

Przegląd gwarancyjny ma na celu utrzymanie zdolności użytkowej maszyny w okresie, w którym za poprawność działania maszyny odpowiada jej producent.

Przegląd sezonowy to obsługa związana z sezonowością lub zmianą warunków klimatycznych w jakich pracuje maszyna. Obejmuje m.in. sprawdzenie stanu technicznego maszyny, odnowienie uszkodzonych elementów, uzupełnienie i zmianę materiałów eksploatacyjnych oraz środków smarnych, wymianę opon.

Przegląd stanu to wstępne, ogólne diagnozowanie obiektu przeprowadzane głównie metodami organoleptycznymi, ukierunkowane na wyeliminowanie możliwości uszkodzenia urządzenia.

Stan graniczny to umowny stan obiektu przy którym dalsze jego użytkowanie nie jest wskazane.

Smarowanie to wprowadzenie między współpracujące elementy odpowiedniego środka smarnego w celu zmniejszenia współczynnika tarcia, a co za tym idzie zmniejszenia strat energetycznych i intensywności zużywania współpracujących elementów.

Środki transportu to określenie stosowane w pracy wymiennie na pojazdy samochodowe.

Trwałość rozumiana jest jako możliwość długotrwałej pracy obiektu w określonych warunkach eksploatacji. Trwałość cechuje się czasem pracy, liczbą wykonanych cykli, lub też ilością wykonanej pracy. W przypadku pojazdów samochodowych miarą trwałości najczęściej jest długość przebytej drogi do momentu osiągnięcia stanu granicznego. Nie dotyczy to jednak części i układów, które nie przenoszą obciążeń dynamicznych, lub dla których głównym procesem starzenia jest proces korozji.

1. Wstęp

Wyłączenie pojazdu z użytkowania jest niekorzystne zarówno z punktu widzenia przedsiębiorstwa przewozowego, jak i jego klientów. W przypadku przedsiębiorstwa sytuacja taka może wiązać się z koniecznością poniesienia kosztów napraw, utratą potencjalnego zysku, czy też z utratą zaufania klientów, którzy w związku, z występowaniem opóźnień w dostawach przesyłek, mogą zrezygnować z usług przewoźnika.

Wyłączenie pojazdu z użytkowania może następować w konsekwencji zaplanowanych przestojów, wynikających np. z konieczności wykonania przeglądu technicznego, czy też przeprowadzenia innych, koniecznych czynności obsługowych pojazdu. Oprócz zaplanowanych przestojów występują również niezaplanowane sytuacje, kiedy pojazd wyłączony jest z użytkowania, spowodowane np. awarią.

Niezawodność w kontekście obiektów technicznych, definiowana jest jako zdatność obiektu do wykonania stawianych mu zadań. Jej miarą jest prawdopodobieństwo, że obiekt będzie zdatny w określonym czasie i w określonych warunkach użytkowania. Utrzymanie wysokiego poziomu niezawodność eksploatacyjnej pojazdów, jest zatem istotne w aspekcie zapewnienia ciągłości i efektywności usług przewozowych. Aby utrzymać wysoki poziomu niezawodności eksploatacyjnej, pojazdy powinny być właściwie użytkowane i obsługiwane.

Związki pomiędzy sposobami użytkowania i obsługiwania maszyn określa przyjęta strategia eksploatacji. Obsługiwanie obejmuje czynności związane z utrzymywaniem, bądź przywracaniem pojazdowi stanu zdatności. Przy planowaniu czynności obsługowych wykorzystywane są m.in. charakterystyki i wskaźniki niezawodnościowe.

W przypadku, gdy flota pojazdów wykonuje podobne zadania przewozowe i pracuje w zbliżonych warunkach eksploatacyjnych, to w procesie użytkowania jednym z najbardziej istotnych czynników, mających wpływ na stan techniczny pojazdu, jest styl jazdy z jakim kierowca prowadzi pojazd.

W niniejszej rozprawie doktorskiej przedstawiony został nowy, ekspercki model procesu eksploatacji środków transportu, zorientowany na minimalizację czasu wyłączenia pojazdu z użytkowania, który został zbudowany w oparciu o analizy rzeczywistych danych, gromadzonych na przestrzeni trzech kolejnych lat, dotyczących sposobu użytkowania i obsługiwania pojazdów wchodzących w skład taboru Poczty Polskiej S.A. w Lublinie.

Dane eksploatacyjne które posłużyły do stworzenia nowego, eksperckiego modelu eksploatacji środków transportu, zgromadzone były w różnych systemach informatycznych PP i w swoim pierwotnym założeniu nie były przeznaczone do tworzenia modeli eksploatacyjnych pojazdów, dlatego w tym celu należało je odpowiednio przygotować.

Przedmiotowy model stworzony został w postaci aplikacji wykonanej w programie KNIME, w której realizowane są wszystkie procesy przetwarzania zebranych danych, prowadzące do wyznaczenia charakterystyk i wskaźników niezawodnościowych pojazdów oraz wskaźników, które pozwalają ocenić wpływ stylu jazdy kierowców na czas przebywania pojazdu w naprawie.

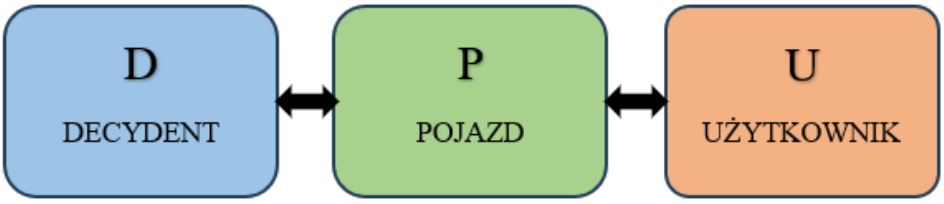
Wyznaczone charakterystyki i wskaźniki niezawodnościowe mogą zostać wykorzystane m.in., przy planowaniu czynności obsługowych tak, aby czynności te były przeprowadzane w efektywniejszy sposób. Zaś przeprowadzona ocena wpływu stylu jazdy kierowców na czas przebywania pojazdu w naprawie, może być podstawą do zdecydowania, czy istnieje konieczność podnoszenia kompetencji kierowców, w zakresie prowadzenia pojazdów, w celu skrócenia czasu wyłączenia pojazdów z użytkowania.

2. Wybrane zagadnienia eksploatacyjnej obsługi technicznej

2.1 Antropotechniczny system działania w transporcie samochodowym

Eksploatacja, w kontekście obiektów technicznych, to zespół organizacyjno-technicznych i ekonomicznych działań ludzi z obiektem technicznym, od momentu wyprodukowania tego obiektu, aż do jego likwidacji [3, 4].

Eksploatację pojazdu samochodowego [5] można rozpatrywać jako działanie w ramach systemu antropotechnicznego, w skład którego wchodzą: decydent, pojazd i użytkownik [1, 6, 7, 8, 9]. Schemat antropotechnicznego systemu działania (DPU) przedstawiono na rysunku 2.1.



Rys. 2.1 Schemat antropotechnicznego systemu działania (DPU)

Decydent jest zwykle właścicielem pojazdu. Odpowiada za ekonomiczne i techniczne utrzymanie pojazdu. Decydentem może być każdy człowiek zlecający wykonanie zadania użytkowego, zatem może być to np. dyrektor przedsiębiorstwa zlecający realizację zadań przewozowych swojemu personelowi.

Użytkownik może być rozumiany jako klient, np. odbiorca towaru, pasażer autobusu, najemca samochodu [8], lub też jako operator [10, 11, 12, 13], np. osoba kierująca pojazdem w celu zrealizowania zadania przewozowego.

Zadaniem systemu antropotechnicznego jest spełnienie potrzeb użytkownika poprzez realizację zadań przewozowych z zachowaniem terminowości i odpowiedniej jakości przewozów. Aby możliwe było wykonanie tego zadania pojazdy realizujące przewozy powinny znajdować się w odpowiednim stanie technicznym. Środki transportu mogą znajdować się w stanie zdatności, gdy posiadają techniczno-operacyjną zdolność do wykonania zadania przewozowego zgodnie z wymaganiami oraz w stanie niezdatności, kiedy nie posiadają zdolności wykonania tego zadania. Przejście ze stanu zdatności do stanu niezdatności występuje, kiedy którykolwiek z parametrów eksploatacyjnych pojazdów przekracza stan graniczny.

Istnieje możliwość przeciwdziałania niekorzystnym zmianom stanu technicznego pojazdów poprzez wykonywanie działań na pojazdach określanych mianem obsługiwania. Działania te opisano w kolejnym podrozdziale.

Zachowania kierowców pojazdów na drogach, mogą być badane na przykład pod kątem oceny bezpieczeństwa ruchu drogowego [14, 15], planowania organizacji ruchu drogowego [16], dostosowania pojazdów autonomicznych do lokalnego ruchu drogowego [17].

Rolę kierowcy samochodu w systemie obsługi technicznej pojazdów poruszono między innymi w artykule [18], gdzie wykazano pozytywny wpływ na stan techniczny pojazdów, kiedy kierowcy wykazywali proaktywne zachowanie zapobiegawcze. W artykule [19] oceniano wpływ różnych czynników – w tym działania kierowcy – na zużycie części układu hamulcowego. W artykule [20] wykazano, że spośród zachowań kierowców, największy wpływ na zużycie opon miały akcje hamowania i przyspieszania, a następnie manewry skrętne oraz prędkość jazdy. Wskazano, że ograniczenie gwałtownego hamowania i przyspieszania ma potencjał znacznego zmniejszenia zużycia opon.

W artykule [21] stwierdzono, że zmieniając swój styl jazdy, kierowcy mogą wpłynąć na stan techniczny pojazdów, przy uwzględnieniu tego samego przebiegu i czynności konserwacyjnych.

Styl jazdy generalnie odnosi się do sposobu, w jaki kierowca prowadzi pojazd i zależy od warunków fizycznych i emocjonalnych kierowcy podczas jazdy [22]. Opiera się na zestawieniu czynników poznawczych, emocjonalnych, sensorycznych i motorycznych, które zachodzą w przestrzeni i czasie. Styl jazdy można oceniać na podstawie eksperymentów przeprowadzanych w symulatorach jazdy [23, 24, 25] lub w warunkach rzeczywistych z wykorzystaniem różnych czujników zamocowanych w pojeździe takich jak np. akcelerometry, GPS [26].

We wcześniejszych badaniach style jazdy najczęściej klasyfikowano na trzy typy: agresywny, umiarkowany i ostrożny/łagodny [27, 28, 29]. Styl agresywny zazwyczaj wiąże się z wyższą prędkością, intensywnym przyspieszeniem i hamowaniem oraz większą prędkością skręcania w porównaniu do pozostałych styli jazdy. Styl łagodny jest zazwyczaj związany z większym odstępem od poprzedzającego pojazdu, dłuższym hamowaniem i łagodnym przyśpieszaniem. Styl umiarkowany jest relatywnie dobrze dostosowany do aktualnych warunków drogowych. W pozycji [30] na podstawie przeprowadzonych na kierowcach ankiet, autorzy dokonali podziału styli jazdy na sześć klas: agresywny, ryzykowny, niespokojny, dysocjacyjny, ostrożny i redukujący stres. Jednak przeprowadzone badania wykazały, że cechy opisanych styli jazdy znacząco korelują z rzeczywistym zachowaniem kierowcy, badanym w symulatorze jazdy, tylko w przypadku stylu agresywnego, ryzykownego i ostrożnego.

2.2 Obsługa maszyn

Obsługiwanie obejmuje czynności związane z utrzymywaniem bądź przywracaniem pojazdowi stanu zdatności. W kontekście modeli działania człowieka z pojazdem należy rozróżnić pojęcia „obsługiwanie" i „odnowa". „Obsługiwanie" oznacza sposób działania – czyli zbiór czynności wykonywanych przez człowieka, natomiast pojęcie „odnowa" stosowane jest m.in. w teorii niezawodności i jest celem działania, w efekcie którego następuje przywrócenie stanu zdatności obiektu.

Czynności **obsługiwania** można podzielić na dwie grupy w których wyróżniamy:

- czynności profilaktyczno-zapobiegawcze – mają na celu podtrzymanie właściwości użytkowych obiektów zdatnych, takie jak np. czyszczenie, smarowanie, zasilanie, diagnozowanie, regulacje, konserwacja;
- czynności naprawcze – polegają na przywróceniu właściwości użytkowych obiektów niezdatnych [2, 3].

Wyczerpywanie potencjału pracy maszyny i jej fizyczne zużywanie to naturalne zjawisko w procesie eksploatacji. Użytkownik może mieć wpływ na ich intensywność, ale nie może ich całkowicie wyeliminować. Stąd już na etapie konstruowania maszyny przewiduje się wykonywanie zabiegów mających na celu utrzymywanie i przywracanie wymaganych wartości cech obiektów.

Obsługi i naprawy można podzielić ze względu na takie kryteria klasyfikacji jak: cel (obsługa techniczna i organizacyjna), zakres obsługi, stan techniczny obiektu (np. odtwarzające potencjał eksploatacyjny, odtwarzające stan zdatności), czas, krotność (jednokrotna i wielokrotna), częstotliwość występowania.

Odnowa potencjału eksploatacyjnego odnosić się do maszyny, której zasób pracy został wykorzystany i dalsze jej użytkowanie nie jest możliwe. Odnowa może być realizowana przez naprawę średnią, naprawę główną lub przez zakup nowej maszyny. Odnowa stanu zdatności może być zrealizowana np. przez naprawę bieżącą. Odnowa resursu eksploatacyjnego następuje poprzez wykonanie przeglądu technicznego lub obsługi okresowej. Odnowa całkowita to wymiana starego urządzenia – zużytego fizycznie bądź moralnie – na nowe – nowszej generacji i bardziej wydajne [2].

Do przeprowadzenia obsługi konieczne są odpowiednie środki techniczne oraz wykwalifikowany personel. Bazę obsługową tworzą wyspecjalizowane stanowiska obsługowe wraz z niezbędnymi narzędziami i przyrządami obsługowymi. Bazy obsługowe mogą być ogólnodostępne, jak też mogą być tylko do dyspozycji danego przedsiębiorstwa.

Dobór odpowiedniego rodzaju obsługi czy odnowy, uzależniony jest od przyjętej strategii eksploatacji. Najbardziej popularne strategie eksploatacji maszyn zostały opisane poniżej.

2.3 Strategie eksploatacji maszyn

Strategia eksploatacji określa związki pomiędzy sposobami użytkowania i obsługiwania maszyn. W systemie obsługiwania maszyn, wpływ na efektywne wykorzystanie personelu oraz na utrzymanie ciągłości procesu obsługowo-naprawczego mają m.in. podsystem zarządzania, podsystem logistyczny (realizujący zaopatrywanie w techniczne środków materiałowe), czy też dział ekonomiczny. Główne cechy najbardziej popularnych strategii eksploatacji maszyn [2, 31] opisano poniżej.

Strategia bierna – polegająca na wymienianie uszkodzonego elementu na nowy po tym jak ulegnie uszkodzeniu (np. wymiana żarówki) – oraz **strategia reaktywna** – polegająca na naprawie uszkodzonego sprzętu w chwili wystąpienia uszkodzenia – mają zastosowanie w odniesieniu do urządzeń lub części niediagnozowalnych. Zgodnie z tymi strategiami nie są podejmowane żadne czynności mające na celu zapobieganie wystąpieniu uszkodzenia obiektu.

Strategia planowo-zapobiegawcza – według resursu, potencjału eksploatacyjnego tj. ilości wykonanej przez obiekt pracy. **Strategia według resursu** polega na przyjęciu normatywnego resursu (np. liczby przejechanych kilometrów lub ilości przepracowanych godzin), w oparciu o który obiekt kierowany jest do obsługi obejmującej profilaktyczne czynności o określonym zakresie. Dzięki rozwiniętej profilaktyce jest to strategia o dużym poziomie bezpieczeństwa, łatwa w zarządzaniu (np. łatwe planowanie materiałowe, powtarzalność dla wielu urządzeń) zapewniająca wysoki współczynnik gotowości urządzeń. Jest to jednak metoda mało efektywna pod względem ekonomicznym, ponieważ obiekt może trafić do obsługi w stosunkowo dobrym stanie technicznym np. jeśli był użytkowany w lżejszych warunkach niż te, które posłużyły do wyznaczenia normatywów międzyobsługowych.

Strategia według stanu technicznego (dynamiczna, wynikowa) zakres prac obsługowo-naprawczych określa na podstawie rzeczywistych potrzeb rozpoznanych w trakcie cyklicznych badań diagnostycznych urządzenia.

Strategia mieszana polega na ustalaniu stałych terminów przeglądów tak, jak w przypadku systemów eksploatacyjnych realizujących strategię według resursu, natomiast zakres prac ustalony zostaje na podstawie przeprowadzonych badań diagnostycznych.

W przypadku **strategii według efektywności ekonomicznej** decyzje dotyczące eksploatacji maszyn podejmuje się na podstawie efektów funkcjonowania maszyny i bilansu ekonomicznego. Oznacza to, że maszyny pomimo że znajdują się w stanie zdatności, mogą zostać wycofane z użytkowania np. w przypadku niezadowalającej efektywności lub zbyt wysokich kosztów eksploatacji w porównaniu do nowych generacji maszyn tego typu.

W **strategii autoryzowanej** za utrzymanie urządzenia odpowiedzialny jest producent, który tworzy własne rozwiązania dotyczące sposobu obsługiwania tego urządzenia oraz wyposaża je we własne środki i systemy diagnostyczne.

Holistyczne strategie eksploatacji zakładają, że systemu jako całości nie da się sprowadzić do sumy komponentów tworzących ten system, czyli nie można wyciągać wniosków o właściwościach systemu tylko na podstawie wiedzy o działaniu pojedynczych podsystemów.

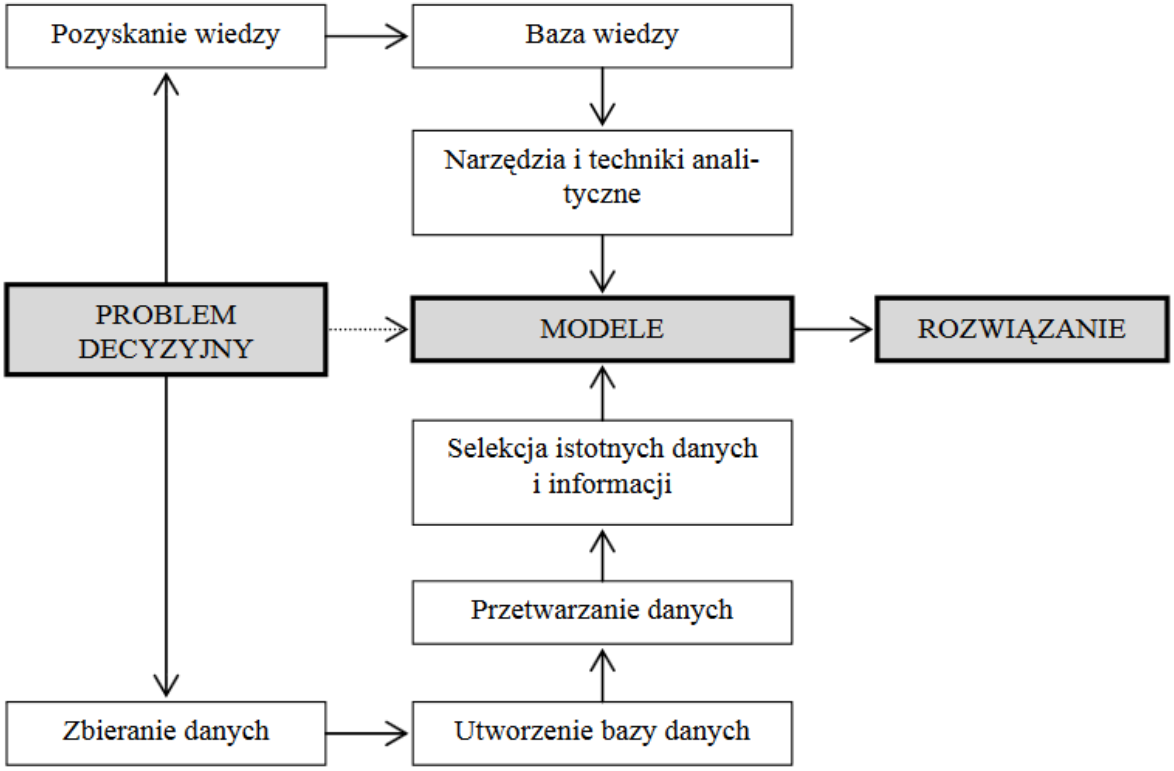
Strategia według niezawodności [32] opiera się na wskaźnikach i charakterystykach niezawodnościowych obiektu. W celu wyznaczenia tych wskaźników wykorzystuje się zaawansowane metody statystyczne oraz komputerowe techniki programowane badania niezawodności obiektów, które pozwalają m.in. na przewidywanie występowania uszkodzeń. Stąd, aby zapobiec wystąpieniu awarii należy zastosować odpowiednie metody o prewencyjnym charakterze. Takie zadanie spełnia na przykład strategia RCM (ang. Reliability Centered Maintenance) [33, 34, 35], która opiera się na realizowaniu działań najkorzystniejszych pod względem niezawodności w celu doskonalenia utrzymania technicznego maszyn.

System zarządzania eksploatacją w przedsiębiorstwie budowany jest co do zasady na podstawie jednej z przedstawionych strategii, przy czym najczęściej wybrana jest jedna strategia podstawowa, a pozostałe strategie są jej uzupełnieniem. Wybór strategii eksploatacji uzależniony jest od specyfiki zadań jakie wykonuje dane przedsiębiorstwo i powinien być motywowany wymogiem osiągania możliwie najwyższego wskaźnika gotowości technicznej maszyn oraz minimalizowania prawdopodobieństwa wystąpienia awarii w trakcie wykonywania zadania. Przy wyborze odpowiedniej strategii eksploatacji [36, 37] brane są pod uwagę takie czynniki jak wielkość przedsiębiorstwa i jego możliwości finansowe oraz problemy, które powstają w procesie obsługiwania takie jak: problem utrzymania odpowiedniego poziomu zapasów, problem ustalania kolejności realizacji zgłoszeń, problem tworzenia kolejek, itp. [38].

2.4 Systemy informatyczne zarządzania eksploatacją

Aby efektywnie zarządzać procesem eksploatacji należy wdrożyć odpowiedni system informatyczny [39, 40], który będzie wykorzystywany do gromadzenia i przetwarzania danych eksploatacyjnych, w celu wspomagania procesu podejmowania decyzji w dziedzinach takich jak: planowanie działania systemu eksploatacji, prognozowanie stanów obiektów, planowanie zasobów materiałowych itp. [41].

Aby osiągnąć założone cele dotyczące zarządzania eksploatacją należy określić problemy decyzyjne i kryteria ich oceny, sformułować założenia w oparciu, o które zbudowany zostanie model, oceniony następnie na drodze analitycznej, symulacyjnej, numerycznej czy empirycznej [9]. Schemat takiego podejścia do zarządzania eksploatacją przedstawiono na rysunku 2.2.



Rys. 2.2 Schemat wykorzystania wiedzy i danych w procesie zarządzania [9]

Ze względu na kryterium zakresu merytorycznego systemu informatycznego wyróżnia się systemy dziedzinowe, cząstkowe i kompleksowe [9, 40].

System dziedzinowy to autonomiczny system informatyczny, wykorzystywany do realizacji usług dla określonego sektora działalności przedsiębiorstwa. Nie jest częścią innego systemu dziedzinowego, ale może wymieniać informacje z pozostałymi systemami. Systemy dziedzinowe powstają niezależnie w różnych działach przedsiębiorstwa, aby realizować potrzeby tego działu.

Do zalet tego typu systemów należą niski koszt zbudowania systemu i wysoka niezależność od pozostałych systemów informatycznych przedsiębiorstwa. Natomiast wadami systemów dziedzinowych są: utrudnione zarządzanie procesem utrzymania i rozwoju poszczególnych systemów, możliwość powielania danych gromadzonych w niezależnych systemach i zróżnicowane formaty zapisu danych, które utrudniają integrację danych pochodzących z różnych systemów dziedzinowych.

System cząstkowy (odcinkowy) jest systemem działającym w obrębie jednej dziedziny zarządzania, który realizuje wybrane zadania użytkowe.

Zintegrowany (wielodziedzinowy) system informatyczny to zaawansowany funkcjonalnie system obejmujący co najmniej dwie różne dziedziny zarządzania przedsiębiorstwem. Dzięki zintegrowanym narzędziom wymiany i integracji danych oraz procedur, może kompleksowo wspomagać zarządzanie wszystkimi obszary przedsiębiorstwa.

Systemy zarządzania eksploatacją mogą wspomagać takie problematyczne obszary jak: ewidencja obiektów technicznych, reprezentacja struktury tych obiektów, opis aktualnego oraz historycznego stanu obiektu, relacje między zdarzeniami technicznymi i efektami ekonomicznymi tych zdarzeń, zależność stanu obiektów od operacji przeprowadzanych na ich elementach składowych.

3. Podstawowe modele niezawodnościowe pojazdu samochodowego

Niezawodność obiektów może być rozpatrywana m.in. w obszarze bezpieczeństwa [42, 43, 44], kosztów eksploatacji maszyn, oceny jakości obiektów.

Zagadnienia bezpieczeństwa poruszano na przykład w artykule [45] w którym autorzy omówili analizę RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety [46]) stanowiącą jeden z etapów opracowanej metodyki tworzenia strategii utrzymania środków transportu. Analiza RAMS obejmuje analizę uszkodzeń, identyfikację zespołów i podzespołów środków transportu istotnych w kontekście bezpieczeństwa ruchu oraz wyznaczenie charakterystyk trwałościowo-niezawodnościowych.

Wyniki badań dotyczących kosztów ponoszonych z powodu usuwania uszkodzeń pojazdów transportu masowego przedstawiono w publikacji [47]. Wskazano w niej, że badania tego typu dostarczają istotnych informacji dla dostawców floty, które można wykorzystać przy planowaniu kosztów usług gwarancyjnych, jak też mogą zostać wykorzystane przez producenta przy modernizacjach pojazdów mających na celu zmniejszenie liczby awarii. Koszty obsług prewencyjnych i korekcyjnych badane były w pracy [48]. Analizy zostały przeprowadzone na historycznych danych dotyczących obsług środków transportu oraz były ukierunkowane głównie na wyznaczenie udziałów kosztów ponoszonych na obsługi prewencyjne, przy których całkowite koszty obsług są najniższe. W artykule [49] porównywano wpływ częstości występowania awarii pojazdów dwóch marek na koszty ich utrzymania. Wykazano, że w analizowanym okresie pojazdy obu marek, przy podobnych kosztach użytkowania, znacząco różniły się uszkodzeniami oraz gotowością techniczną.

Metodę eksploatacyjnej oceny pojazdów, wykorzystywanych w transporcie towarów, przedstawiono w artykule [50]. Metoda ta wykorzystuje sztuczne sieci neuronowe w oparciu o eksploatacyjne miary jakości pojazdów. Autorzy zaznaczają, że sieci neuronowe mogą być stosowane do oceny niezawodności i bezpieczeństwa pojazdów, jak też do oceny bezpieczeństwa samych usług transportowych.

Analizy niezawodnościowe znajdują zastosowanie na etapie projektowania, produkcji oraz eksploatacji środków transportu. Mogą być wykorzystywane do budowy systemu obsługowo-naprawczego danego typu pojazdu, przy wyznaczaniu czasów międzyobsługowych [51, 52], planowaniu wymian prewencyjnych komponentów [53], do planowania zaopatrzenia w części wymienne [54], czy też w procesie planowania bardziej efektywnego wykorzystania pojazdów [55, 56, 57].

W artykule [58] przedstawiono metodę określania optymalnego czasu poświęcanego na obsługę zapobiegawczą oraz określono jaki jest wpływ obsługi zapobiegawczej na niezawodność obiektów w stosunku do których ta obsługa została zastosowana. W [59] opisano stochastyczny model do określania rocznej intensywności napraw krytycznych, który umożliwia osiągnięcie przez obiekt pożądanej gotowości oraz który można wykorzystać do określania poziomu zapasów i przepustowości zakładów remontowych.

Niezawodność może być rozpatrywana zarówno dla złożonych systemów jako całości [60, 61, 62, 63], elementów łańcucha dostaw [64, 65], dla pojedynczych obiektów [66, 67], ich układów i podzespołów [68, 69], jak i dla pojedynczych części [70, 71, 72].

W artykule [73] przedstawiono metodykę szacowania układów sieciowych. Zaprezentowano w nim analizę niezawodności sieci komunikacyjnej w miejskim transporcie zbiorowym. Do obliczeń wykorzystano algorytm faktoryzacji umożliwiający ocenę wpływu awarii poszczególnych połączeń na niezawodność całej sieci. Podobna tematyka poruszana była w [74], gdzie pokazano metodę wyznaczania niezawodności sieci, która umożliwia uwzględnienie odnów po uszkodzeniu, wszystkich obiektów w sieci. W publikacji [75] autorzy przedstawili opracowany model oceny odporności systemu transportu publicznego, który oblicza przepływ pasażerów i wydajność sieci w przypadku planowanych, lokalnych redukcji pojemności. Model wykorzystuje wskaźniki niezawodnościowe, które określają zmiany w wydajności sieci transportowej w odniesieniu do całego zakresu możliwości redukcji pojemności.

Zagadnienia związane z łańcuchem dostaw poruszane były w [76], gdzie przedstawiono kompleksowy przegląd literatury związany z metodami oceny stosowanymi w tym obszarze, a następnie skupiono się na badaniu kwestii oceny podatności i odporności łańcucha dostaw na zakłócenia.

W monografii [77] skupiono się na opracowaniu modelu oceny efektywności pojazdów komunikacji miejskiej, rozpatrywanej z perspektywy przedsiębiorstwa transportowego. Opisano w niej zastosowaną metodykę oraz wyniki badań skoncentrowanych na ocenie efektywności eksploatacyjnej autobusów dwóch różnych marek. Wyznaczono też wskaźniki niezawodnościowe dotyczące przebiegów pojazdów między uszkodzeniami.

Metodę szacowania trwałości elementów lub zespołów obiektów z zachowaniem wymaganego poziomu niezawodności opisano w [78]. Metoda ta bazuje na równaniu różnicowym z którego wyprowadza się równanie różniczkowe cząstkowe typu Fokkera-Plancka. Na podstawie rozwiązania tego równania wyznacza się funkcję gęstości prawdopodobieństwa zużycia obiektu, odwzorowaną w postaci rozkładu normalnego.

Trwałości obiektów w tej metodzie można wyznaczyć wykorzystując funkcję gęstości zużywania lub wyznaczając funkcję gęstości prawdopodobieństwa czasu w którym obiekt osiąga stan graniczny.

Sposób w jaki elementy wchodzące w skład układu są ze sobą powiązane, mając wpływ na całkowitą niezawodność tego układu, określa struktura niezawodnościowa. Struktury niezawodnościowe można podzielić na podstawowe (szeregowe, równoległe, z redundancją [79]), mieszane i złożone [62].

Ze względu na różnorodny sposób uszkadzania poszczególnych komponentów pojazdu, częstość występowania uszkodzeń może być opisana różnymi rozkładami prawdopodobieństwa [80, 81, 82, 83, 84, 85, 86], takimi jak np. rozkład wykładniczy [87], rozkład Weibulla [88, 89], czy rozkład gamma [46, 90].

Model pozwalający na ocenę niezawodności elementów, które w procesie eksploatacji podlegają różnym grupom czynników prowadzących do ich uszkodzenia przedstawiono w [91]. W pracy pokazano między innymi symulacje obrazujące zmiany charakterystyk niezawodnościowych dla różnych, przyjmowanych wartości parametrów skali, kształtu i położenia, trójparametrowego rozkładu Weibulla.

W pracy [92] przedstawiono metody stochastycznego modelowania kosztów obsług korygujących, uwzględniające charakterystyki niezawodnościowe obiektów naprawialnych takich jak pojazdy, dla prostych strumieni uszkodzeń, których modelem jest proces Poissona [93]. Autorzy wskazali że podstawą zastosowania przedstawionych metod jest rozpoznanie tych elementów pojazdu, które ulegają uszkodzeniu zgodnie z tym procesem.

Pojazdy zbudowane są z wielu komponentów, dla których procesy starzenia odbywają się w różnorodny sposób, dlatego do opisu ich modeli niezawodnościowych powinno stosować się odpowiednie miary eksploatacyjne, takie jak czas, przebieg pojazdu, liczba cykli pracy itp. Aby uniknąć różnorodnego nazewnictwa przy opisie poszczególnych charakterystyk niezawodnościowych stosowane jest wspólne dla tych wszystkich miar eksploatacji pojęcie „resursu”.

Określone charakterystyki i wskaźniki niezawodnościowe można wyznaczać dla pojazdu na poziomie różnych klas jego złożoności tj. dla pojazdu jako całości, jego układów, zespołów i części. Części samochodu mogą być naprawialne i nienaprawialne, natomiast pozostałe klasy złożoności pojazdu zawierają tylko elementy naprawialne [94, 95].

W przypadku obiektów badanych do pierwszego uszkodzenia ocenę niezawodności można opisać (w ujęciu statystycznym) za pomocą charakterystyk takich jak: funkcja niezawodności, funkcja zawodności, funkcja gęstości prawdopodobieństwa, funkcja intensywności uszkodzeń, średni czas pracy do pierwszego uszkodzenia [1, 96, 97, 98, 99].

Funkcja niezawodności R(t) definiowana jest jako prawdopodobieństwo poprawnej pracy obiektu w przedziale od 0 do t, czyli, że czas pracy obiektu T będzie nie mniejszy niż t. Stąd funkcję tą można zapisać wyrażeniem probabilistycznym przedstawionym za pomocą równania:

$$R(t) = P\{T \geq t\} \tag{3.1}$$

Funkcja zawodności F(t) definiowana jest jako prawdopodobieństwo tego, że obiekt ulegnie uszkodzeniu w przedziale od 0 do t, czyli, że czas pracy T do uszkodzenia obiektu będzie mniejszy niż t. Stąd funkcję tą można zapisać wyrażeniem probabilistycznym przedstawionym za pomocą równania:

$$F(t) = P\{T < t\} \tag{3.2}$$

Funkcja gęstości prawdopodobieństwa f(t) to prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia obiektu w chwili t w przeliczeniu na jednostkę resursu.

Funkcja intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$ to prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia obiektu w chwili t pod warunkiem, że do chwili t element pracował bezawaryjnie. Empiryczną wartość funkcji intensywności uszkodzeń obliczyć można wykorzystując wzór:

$$\lambda(t) = \frac{m(t + \Delta t) - m(t)}{N_{śr}(\Delta t) \cdot \Delta t} \tag{3.3}$$

Średni czas pracy do pierwszego uszkodzenia można obliczyć za pomocą zależności empirycznej wyrażonej równaniem:

$$T_0 = \frac{1}{N(0)} \sum_{i=1}^{N(0)} t_i \tag{3.4}$$

Samochody są obiektami które w okresie ich eksploatacji są wielokrotnie naprawiane. Z tego powodu charakterystyki niezawodnościowe stosowane dla obiektów badanych do pierwszego uszkodzenia są niewystarczające do opisu ich niezawodności.

W przypadku samochodów jedną z podstawowych charakterystyk niezawodnościowych służących do oceny poprawności ich działania w procesie eksploatacji jest **parametr strumienia uszkodzeń** [100]. Wartość tego parametru oznacza średnią liczbę uszkodzeń obiektu na jednostkę resursu. W praktyce wartość parametru strumienia uszkodzeń dla samochodów można obliczyć jako średnią liczbę uszkodzeń na 1000 km przebiegu ze wzoru:

$$\Lambda_i(l) = \frac{\Delta m_i \cdot 1000}{N(0) \cdot \Delta l} \left[\frac{\text{uszkodzeń}}{1000\ \text{km}}\right] \tag{3.5}$$

Parametr strumienia uszkodzeń może być wykorzystywany jako wskaźnik liczby wyłączeń pojazdu z użytkowania z przyczyn technicznych, w ustalonym przedziale przebiegu.

Niezawodność samochodu charakteryzowana jest głównie przez poprawność działania, trwałość i naprawialność [96, 101]. Wybrane charakterystyki i wskaźniki niezawodnościowe z każdej z tych trzech kategorii, które zostały wyznaczone na podstawie zebranych danych eksploatacyjnych badanych pojazdów opisano poniżej.

Poprawność działania można scharakteryzować takimi charakterystykami jak funkcja niezawodności, średni przebieg między uszkodzeniami, czy średni przebieg między uszkodzeniami w r-tej grupie złożoności.

Funkcję niezawodności R(l), czyli prawdopodobieństwo poprawnej pracy pojazdu, wykorzystując dane empiryczne można obliczyć według wzoru:

$$R(l) = \frac{N(0) - m(l)}{N(0)} \tag{3.6}$$

Średni przebieg między uszkodzeniami można obliczyć dla samochodu na podstawie wzoru:

$$L_{śr} = \frac{1}{\sum_{j=1}^{N(0)} (m_j - 1)} \sum_{j=1}^{N(0)} \sum_{i=2}^{m_j} l_{ij}\ \text{[km]} \tag{3.7}$$

Trwałość pojazdu lub jego elementów można scharakteryzować takimi charakterystykami jak średni przebieg do pierwszego uszkodzenia, średni przebieg między kolejnymi uszkodzeniami, średni przebieg do k-tego uszkodzenia.

Średni przebieg do pierwszego uszkodzenia L_0 jest charakterystyką, która stanowi dobre kryterium oceny jakości nowego pojazdu lub jego elementów. Jego wartość w przypadku samochodu lub jego elementów można obliczyć na podstawie wzoru:

$$L_0 = \frac{1}{N(0)} \sum_{j=1}^{N(0)} l_{1j} \ [km] \tag{3.8}$$

Średni przebiegu między kolejnymi uszkodzeniami j-tego obiektu można obliczyć na podstawie wzoru:

$$L_{mnj} = \frac{1}{m_j - 1} \sum_{i=2}^{m_j} l_{ij} \ [km] \tag{3.9}$$

Przebieg pojazdu między uszkodzeniami jest wielkością losową i zależy od różnych czynników. Aby uzyskać bardziej precyzyjne wartości L_{mn} do badań bierze się większą liczbę pojazdów. Wtedy **wartość średnia przebiegu między uszkodzeniami** dla próby o liczebności N(0) oblicza się ze wzoru:

$$L_{śr} = \frac{1}{\sum_{j=1}^{N(0)} (m_j - 1)} \sum_{j=1}^{N(0)} \sum_{i=2}^{m_j} l_{ij} \ [km] \tag{3.10}$$

Wartość średnia przebiegu między kolejnymi uszkodzeniami $L_{śr}$ jest jednym z kryteriów oceny jakości wykonanych napraw pojazdów jak również pośrednio może służyć do oceny jakości użytych części zamiennych.

Średni przebieg do k-tego uszkodzenia można obliczyć na podstawie wzoru:

$$L_0^k = \frac{1}{N(0)} \sum_{j=1}^{N(0)} \sum_{i=1}^{kj} l_{ij} \ [km] \tag{3.11}$$

Do najczęściej wyznaczanych wskaźników **naprawialności** należą: średnia pracochłonność obsługiwania technicznego, średnia pracochłonność naprawy, średni czas postoju pojazdu w naprawie, współczynniki postoju pojazdu w napranie ze względu na dany element.

Ponieważ w pracy skupiono się na naprawach bieżących, a pozostałe rodzaje obsług pominięto, to w ramach wyznaczania wskaźników podatności naprawczej pojazdu, obliczono takie wskaźniki jak: średnia jednostkowa pracochłonność naprawy bieżącej, podana w roboczogodzinach na jedną naprawę oraz na 1000 kilometrów przebiegu.

Średnia pracochłonność naprawy odzwierciedla wartość oczekiwaną czasu pracy, potrzebną do naprawy pojazdu, w celu przywrócenia mu stanu zdatności.

Średnią jednostkową pracochłonność naprawy bieżącej obliczyć można na podstawie danych empirycznych ze wzoru:

$$P_n' = \frac{1}{\sum_{j=1}^{N(0)} m_j} \sum_{j=1}^{N(0)} \sum_{i=1}^{m_j} p_{ij}^n \left[\frac{\text{rbh}}{1 \text{ naprawę}}\right] \tag{3.12}$$

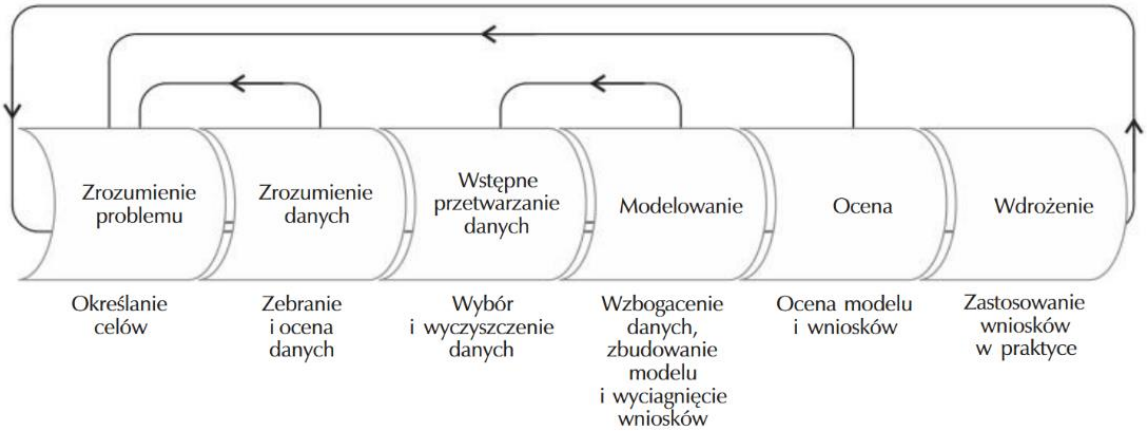
Średnią pracochłonność napraw bieżących pojazdu w przeliczeniu na 1000 kilometrów przebiegu obliczyć można na podstawie danych empirycznych ze wzoru:

$$P_n = \frac{1000}{\sum_{j=1}^{N(0)} l_j} \sum_{j=1}^{N(0)} \sum_{i=1}^{m_j} p_{ij}^n \left[\frac{\text{rbh}}{1000 \text{ km}}\right] \tag{3.13}$$

4. Proces analizy danych

Wybór i zastosowanie formalnej metodyki analizy danych ma zasadniczy wpływ na jakość tworzonego modelu. Pozwala tworzyć wiarygodne modele, przeciwdziała próbom naginania wyników analiz (danych) do postawionych hipotez oraz nieuzasadnionego uogólniania hipotez. Dodatkowo, postępowanie zgodnie z dobrymi, sprawdzonymi praktykami pozwala uniknąć wielu błędów oraz skraca czas i koszt przygotowania modelu.

W niniejszej pracy stosowano wybrane założenia metodyki CRISP-DM (CRoss Industry Standard Process for Data Mining), która określa kolejne etapy projektu łącznie z instrukcjami do wykonania w każdym z tych etapów [102, 103] (rysunek 4.1).



Rys. 4.1 Zobrazowanie metodyki CRISP-DM [103]

Metodyka CRISP-DM jest opisowa, zatem określa zadania, ale nie precyzuje w jaki sposób należy je wykonać. Stąd należy ją traktować jako zbiór wskazówek pozwalających usystematyzować prace projektowe oraz opisujących, kiedy wracać do poprzednich etapów realizacji projektu.

Według tej metodyki projekt powinien rozpocząć się od zrozumienia problemu, uwarunkowań ekonomicznych oraz postawienia celów które chcemy osiągnąć. Drugim etapem jest zrozumienie danych w celu oceny ich przydatności i reprezentatywności w rozwiązaniu postawionego problemu. W trzecim etapie dane polegają przygotowaniu do ich dalszej analizy. W jego efekcie dane powinny zostać wyczyszczone, wyselekcjonowane i uporządkowane. Etap modelowania zawiera postawienie hipotez, dostosowanie danych do wymogów stosowanych algorytmów oraz tworzenie modeli. Następnie stworzone modele zostają ocenione i ewentualnie ich jakość jest poprawiona. W końcowym etapie z powstałych wcześniej modeli wybierane są najlepsze, które są przeznaczone do wdrożenia, a opracowanie procedur ich aktualizacji jest ostatnim krokiem projektu.

4.1 Zrozumienie problemu oraz danych

Model rozumiany jako uproszczona wersja rzeczywistości, zawiera tylko te aspekty rzeczywistego zjawiska, które są istotne dla postawionego zadania. Należy zatem pamiętać, że modele nie zawierają kompletu danych, więc ich zastosowanie jest ograniczone. Posiadane dane powinny determinować to, jakie hipotezy zostaną postawione, i to od jakości oraz ilości danych, będą zależały wyniki analiz. Posiadając większą ilość danych, można zbudować lepsze modele w oparciu o prostsze algorytmy analizy, niż stosując bardziej zaawansowane algorytmy, ale na mniejszej ilości danych [104].

Używane do tworzenia modeli dane muszą mieć postać tabelaryczną. Dane te powinny być usystematyzowane w taki sposób, że wiersze (rekordy) tabeli reprezentują pojedyncze przykłady, natomiast kolumny reprezentują zmienne [105].

Zmienne dzielą się na ilościowe (numeryczne) i jakościowe (kategoryczne). Zmienne numeryczne to zmienne takich typów jak np. integer, decimal, boolean, czyli zmienne których wartościami są wyłącznie liczby. Zmienne ilościowe dzieli się na ciągłe (o nieskończonym zbiorze wartości) i dyskretne (o skończonym zbiorze wartości).

Zmienne jakościowe to zmienne pozostałych typów, np. typów tekstowych, takich jak string. Jeżeli wartości zmiennej jakościowej mogą być w sensowny sposób ze sobą porównywane, to taką zmienną jakościową nazywa się porządkową, w przeciwnym razie mówimy o regularnej zmiennej jakościowej. Zmienne jakościowe nie pozwalają na określenie odległości między wartościami, ani na wykonywanie na nich operacji arytmetycznych.

Aby zrozumieć dane należy w pierwszej kolejności poznać poszczególne zmienne. Podstawowym sposobem poznania zmiennej jest wyznaczenie jej statystyk opisowych. Podstawową korzyścią płynącą z wyliczenia tych statystyk jest możliwość skonsultowania ich z ekspertem z danej dziedziny, który oceni jakość i reprezentatywność danych.

Rozkład wartości zmiennych numerycznych można opisać takimi statystykami jak np.:

• położenie koncentracji wartości określają miary tendencji centralnej: średnia arytmetyczna, mediana, dominanta;

• zróżnicowanie wartości opisują miary dyspersji (rozproszenia): odchylenie standardowe, wariancja, rozstęp, współczynnik zmienności;

• kształt rozkładu zmiennej z rozkładem normalnym można porównać wykorzystując miary symetrii rozkładu: kurtozę i skośność. (Jeżeli zmienna opisana jest rozkładem zbliżonym do normalnego, można stosować testy parametryczne, natomiast zmienne o innych rozkładach możemy oceniać tylko testami nieparametrycznymi).

Rozkład zmiennych kategorycznych ocenia się za pomocą tabel częstości (które pozwalają sprawdzić, ile kategorii przyjmuje zmienna jakościowa i czy wszystkie kategorie są poprawne) oraz histogramów. Możliwości oceny zmiennych jakościowych jest mniej niż w przypadku zmiennych ilościowych, dlatego zmienne jakościowe często konwertuje na zmienne numeryczne.

Bardzo częstym problemem są **brakujące dane,** czyli nieznane wartości zmiennych. Brak wartości może oznaczać, że wartość nie istnieje lub jest nieznana. W przypadku, gdy wartość jest nieznana, możemy ją np. pobrać z innych źródeł lub uzupełnić z pomocą eksperta z danej dziedziny. Jeżeli dla danej zmiennej występuje duży procent brakujących danych, to przydatność takiej zmiennej jest wątpliwa i należy rozważyć jej usunięcie, jednak usuwać powinno się tylko te zmienne, co do których braku przydatności nie ma wątpliwości.

Podstawowym celem analizy zmiennych jest ocena przydatności i reprezentatywności tych zmiennych. Statystyki opisowe, histogramy przedstawiające rozkłady wartości, wiedza o brakujących danych czy ilość informacji ukrytych w zmiennych umożliwiają już na wczesnym etapie projektu wykryć i opisać problemy z danymi w celu ich wczesnego wyeliminowania, aby nie dopuścić do skomplikowania lub nawet uniemożliwienia realizacji całego projektu.

Drugim krokiem po analizie zmiennych jest zbadanie **korelacji** między zmiennymi. Dwie zmienne są ze sobą skorelowane, jeśli znajomość wartości jednej zmiennej pozwala, chociaż w niedużym stopniu, w wyznaczeniu wartości drugiej zmiennej. Zmienna wyjściowa, inaczej objaśniana, nazywana jest też zależną. Wynika z tego, że powinna istnieć korelacja pomiędzy zmienną wyjściową, a zmiennymi wejściowymi. Zmienne wejściowe, które w żaden sposób (bezpośrednio lub pośrednio), nie są skorelowane ze zmienną wyjściową należy usunąć z danych służących do budowania modelu. Usuwanie tych zmiennych jest dobrym sposobem upraszczania modeli i prowadzi do poprawy jakości modeli.

4.2 Przygotowanie danych

Większość osób zajmujących się analizą danych w praktyczny sposób ocenia, że samo przygotowanie danych do analizy, stanowi od 60 do 80 procent czasu przygotowania projektu, niezależnie od rodzaju postawionego problemu, ilości danych czy zastosowanych technologii [103]. Wynika to z tego, że dane źródłowe, niezależnie od tego, w jaki sposób są gromadzone, nigdy nie są gotowe do analizy.

Przygotowanie danych jest to zatem niezbędny etap projektu, choć zakres pracy wykonywanych w tym etapie, jest różny w zależności od rodzaju analizy i może obejmować takie punkty jak opisane poniżej.

- Import danych – pobranie danych z różnych źródeł jak np. pliki w różnych formatach, bazy danych, serwisy internetowe.
- Scalenie danych – pobrane z różnych źródeł dane należy scalić do jednej tabeli. Związane jest z tym często wyszukiwanie wspólnych kluczy łączących dane, usuwanie duplikatów, uwspólnianie typów zmiennych.
- Uporządkowanie danych – zebrane dane należy przedstawić w tabeli tak, aby kolumny tabeli reprezentowały zmienne, a w wierszach były przedstawione kolejne przykłady.
- Wzbogacenie danych – polega na wstawieniu do tabeli nowych zmiennych obliczonych na podstawie już posiadanych danych.
- Czyszczenie danych – usunięcie wykrytych błędów takich jak kolejno: brakujące wartości, powtarzające się przykłady (rekordy), wartości błędne i na końcu wartości odstające.
- Przekształcenie danych – w zależności od zaplanowanej metody analizy może być konieczne przekształcenie danych (typów zmiennych) do potrzeb algorytmów stosowanych w danej metodzie. W przypadku zmiennych ilościowych stosuje się normalizację, uogólnienia, dyskretyzację, wygładzanie. Zmienne jakościowe się porządkuje, uogólnia, koduje do postaci numerycznej.

- Redukcja danych – ma na celu zmniejszenie liczby zmiennych lub rekordów po to, aby uprościć analizę i polepszyć jakość modeli. W przypadku kolumn tabeli, obejmuje usunięcie nieprzydatnych zmiennych (niepowiązanych ze zmienną wyjściową lub silnie ze sobą powiązane), a w przypadku posiadania dużej liczby rekordów, może obejmować podział danych na klastry, bądź wydzielenie próby danych do eksperymentów.
- Podział danych – polega na rozdzieleniu danych na te służące do przygotowania modelu oraz te które posłużą do jego walidacji i testowania.

5. Podsumowanie przeglądu literatury

Eksploatacja, w kontekście obiektów technicznych, to zespół organizacyjno-technicznych i ekonomicznych działań ludzi z obiektem technicznym, od momentu wyprodukowania tego obiektu, aż do jego likwidacji [3, 4]. Eksploatację pojazdu samochodowego można rozpatrywać jako działanie w ramach systemu antropotechnicznego, którego zadaniem jest realizacja zleceń przewozowych z zachowaniem terminowości i odpowiedniej jakości przewozów [6, 8, 11]. Aby możliwe było wykonanie tego zadania pojazdy realizujące przewozy powinny znajdować się w odpowiednim stanie technicznym. Środki transportu mogą znajdować się w stanie zdatności, gdy posiadają techniczno-operacyjną zdolność do wykonania zadania przewozowego zgodnie z wymaganiami oraz w stanie niezdatności, kiedy nie posiadają zdolności wykonania tego zadania. Przejście ze stanu zdatności do stanu niezdatności występuje, kiedy którykolwiek z parametrów eksploatacyjnych pojazdów przekracza stan graniczny. Obsługiwanie obejmuje czynności związane z utrzymywaniem bądź przywracaniem pojazdowi stanu zdatności, czyli czynności profilaktyczno-zapobiegawcze lub naprawcze [2, 31].

Strategia eksploatacji określa związki pomiędzy sposobami użytkowania i obsługiwania maszyn. System zarządzania eksploatacją w przedsiębiorstwie budowany jest zwykle na podstawie jednej, podstawowej strategii, która może być uzupełniona o elementy innych strategii eksploatacji. Jedną z podstawowych strategii eksploatacji jest strategia według niezawodności, która opiera się na wskaźnikach i charakterystykach niezawodnościowych obiektu. Charakterystyki niezawodnościowe mogą być również wykorzystywane w strategii planowo-zapobiegawczej np. przy wyznaczaniu resursu międzyobsługowego, jak też przy planowaniu wymian prewencyjnych, do planowania zaopatrzenia w części wymienne, czy też w procesie planowania bardziej efektywnego wykorzystania pojazdów [2, 31].

W zarządzaniu eksploatacją pomagają różne systemy informatyczne przedsiębiorstwa. Wyróżnia się systemy dziedzinowe, cząstkowe i kompleksowe [9, 40].

Kierowca pojazdu jest jednym z elementów wspomnianego systemu antropotechnicznego i ma wpływ m.in. na stan techniczny pojazdu. W przytaczanych pozycjach literaturowych wykazano, że styl jazdy kierowców ma istotny wpływ na szybkość zużywania wybranych części pojazdu [18, 19, 20].

Styl jazdy kierowcy generalnie odnosi się do sposobu, w jaki kierowca prowadzi pojazd i zależy od warunków fizycznych i emocjonalnych kierowcy podczas jazdy [22]. Styl jazdy można oceniać na podstawie eksperymentów przeprowadzanych na symulatorach jazdy lub w warunkach rzeczywistych z wykorzystaniem różnych czujników zamocowanych w pojeździe [23, 24, 25].

Możliwość wykorzystania wskaźnika, jakim jest średnie zużycia paliwa w przeliczeniu na 100 przejechanych kilometrów, jako kryterium oceny stylu jazdy poruszano np. w [26]. Wskaźnik ten wykorzystywano również jako kryterium oceny stanu technicznego pojazdu w [106], natomiast w aktualnie dostępnej literaturze, brakuje opisów badań, które dotyczyłyby bezpośrednio oceny wpływu stylu jazdy kierowcy na czas przebywania pojazdu w naprawie.

Stąd **problemem badawczym** jest określenie, czy istnieje związek pomiędzy stylem jazdy kierowców, ocenianym na podstawie kryterium jakim jest średnie zużycie paliwa wyrażone w dm^3 na 100 przejechanych kilometrów, a czasem jaki pojazd przebywa w naprawie.

Modele niezawodnościowe obiektów technicznych mają zastosowanie na wielu płaszczyznach. Niezawodność może być analizowana w obszarze bezpieczeństwa [42, 43, 45], kosztów eksploatacji [47, 48], czy też oceny jakości badanych obiektów [50].

Analizy niezawodnościowe znajdują zastosowanie na etapie projektowania, produkcji oraz eksploatacji środków transportu. Mogą być wykorzystywane do budowy systemu obsługowo-naprawczego danego typu pojazdu, przy wyznaczaniu czasów międzyobsługowych [51, 52], planowaniu wymian prewencyjnych komponentów [53, 58], do planowania zaopatrzenia w części wymienne [54, 59], czy też w procesie planowania bardziej efektywnego wykorzystania pojazdów [55, 56, 57].

Niezawodność może być rozpatrywana zarówno dla złożonych systemów jako całości [61, 63, 73, 74], elementów łańcucha dostaw [64, 76], dla pojedynczych obiektów [66, 67], ich układów i podzespołów [68, 69], jak i dla pojedynczych części [70, 78].

Ze względu na różnorodny sposób uszkadzania poszczególnych komponentów pojazdu, częstość występowania uszkodzeń może być opisana różnymi rozkładami prawdopodobieństwa [83, 86], takimi jak np. rozkład wykładniczy [87], rozkład Weibulla [88, 89], czy rozkład gamma [46, 90].

W przypadku obiektów badanych do pierwszego uszkodzenia ocenę niezawodności można opisać za pomocą charakterystyk takich jak: funkcja niezawodności, funkcja zawodności, funkcja gęstości prawdopodobieństwa, funkcja intensywności uszkodzeń, średni czas pracy do pierwszego uszkodzenia [1, 96, 98, 99].

Niezawodność samochodu charakteryzowana jest głównie przez: poprawność działania, trwałość i naprawialność [96, 101]. Poprawność działania można opisać takimi charakterystykami jak: funkcja niezawodności, średni przebieg między uszkodzeniami, czy średni przebieg między uszkodzeniami w r-tej grupie złożoności. Trwałość pojazdu lub jego elementów można opisać takimi charakterystykami jak: średni przebieg do pierwszego uszkodzenia, średni przebieg między kolejnymi uszkodzeniami, średni przebieg do k-tego uszkodzenia. Do najczęściej wyznaczanych wskaźników naprawialności należą: średnia pracochłonność obsługiwania technicznego, średnia pracochłonność naprawy, średni czas postoju pojazdu w naprawie, współczynniki postoju pojazdu w napranie ze względu na dany element.

Wyznaczenie oraz zastosowanie opisanych wskaźników i charakterystyk niezawodnościowych w procesie planowania obsług środków transportu, umożliwia lepszą organizację tych obsług, a co za tym idzie, przyczynia się do skrócenia czasu wyłączenia pojazdu z użytkowania.

Wybór i zastosowanie formalnej metodyki analizy danych ma zasadniczy wpływ na jakość tworzonego modelu. Jedną z takich metodyk jest metodyka CRISP-DM, która określa kolejne etapy projektu, łącznie z instrukcjami do wykonania w każdym z tych etapów oraz określa, kiedy wracać do poprzednich etapów realizacji projektu, dzięki czemu pozwala tworzyć wiarygodne modele [102, 103].

6. Teza i cel pracy

Teza

Możliwe jest zbudowanie utylitarnego modelu procesu eksploatacji środków transportu, zorientowanego na minimalizację czasu wyłączenia pojazdu z użytkowania, w oparciu o rozproszone i niepełne dane, dotyczące sposobu użytkowania i obsługiwania samochodów, pochodzące z różnych systemów informatycznych wybranego przedsiębiorstwa przewozowego.

Cel pracy

Celem pracy jest zbudowanie nowego, eksperckiego modelu procesu eksploatacji środków transportu, ukierunkowanego na minimalizację czasu wyłączenia ich z użytkowania. Model zostanie zbudowany w oparciu o dane eksploatacyjne zgromadzone w różnych systemach informatycznych wybranego przedsiębiorstwa przewozowego, które wykorzystywane są przez kadrę kierowniczą do zarządzania flotą pojazdów, ale z założenia nie były przeznaczone do budowy eksploatacyjnych modeli oceny wykorzystania samochodów.

7. Charakterystyka przedsiębiorstwa

Poczta Polska S.A. to przedsiębiorstwo świadczące różnego typu usługi. Podstawową jej działalnością jest jednak przede wszystkim transport przesyłek pocztowych. Usługi pocztowe pełnią istotną rolę w funkcjonowaniu całego państwa oraz korzysta z nich zdecydowana większość obywateli. Bez nich niemożliwe byłoby prawidłowe funkcjonowanie większości instytucji, urzędów i przedsiębiorstw, dlatego też bardzo ważna jest dobra organizacja służb pocztowych.

W obrocie pocztowym wyróżnia się: listy (listy zwykłe, listy polecone, listy z zadeklarowaną wartością, kartki pocztowe), paczki pocztowe (paczki wymagające rejestracji szczegółowej (PW), paczki niewymagające rejestracji szczegółowej (PZ), paczki nadane na szczególnych zasadach), przesyłki pobraniowe transportowane jak przedmioty ładunku, pocztowe opakowanie zbiorcze (POZ), przesyłki paletowe. Spośród ww. ładunków przewożonych przez Pocztę Polską najliczniejszą grupę stanowią listy i paczki. Istotną rolę odgrywają też przesyłki ekspresowe oraz obecnie dynamicznie rozwijany dział przesyłek paletowych.

Obszar działań firmy obejmuje całe terytorium Polski, które podzielone zostało na regiony dystrybucji. W każdym regionie znajduje się nadrzędna jednostka logistyczna [107, 108] tzw. Węzeł Ekspedycyjno-Rozdzielczy (WER). WER pełni funkcje recepcyjne, rozdzielcze, ekspedycyjne, doręczania przesyłek, logistyczne i inne. Do WER-u trafiają wszystkie przesyłki nadane na terenie regionu (wyjątkiem są przesyłki nadane w usłudze transportu bezpośredniego) oraz wszystkie przesyłki, które mają być doręczone adresatom na terenie regionu [109].

7.1 Opis zebranych danych

Pozyskane od lubelskiego oddziału Poczty Polskiej S.A. dane pochodziły z różnych działów tego przedsiębiorstwa i obejmowały okres trzech kolejnych lat eksploatacji pojazdów. Pierwszym miejscem, z którego pobrano dane dotyczące użytkowania pojazdów był Węzeł Ekspedycyjno-Rozdzielczy PP w Lublinie. Dane te były wprowadzane do systemu informatycznego na podstawie kart dziennej pracy kierowców, na których każdy kierowca zapisywał m.in., ile kilometrów przejechał danym pojazdem w ciągu dnia oraz ile paliwa zużył na przejechanie tego dystansu. Ze wszystkich zgromadzonych w systemie danych możliwe było wygenerowanie raportów miesięcznych dla każdego pojazdu osobno.

Raporty te zawierają m.in. takie informacje jak: nr boczny pojazdu, nr kierowcy, dzienna liczba kilometrów jaką przebył dany kierowca, przebieg całkowity pojazdu po danym dniu oraz ilość pobranego przez kierowcę paliwa w tym dniu. Dane te zostały rozpisane w każdym miesięcznym raporcie z podziałem na kolejne dni miesiąca, a w ramach jednego dnia, dodatkowo z podziałem na nr karty kierowcy z której pochodziły dane. Przykład takiego miesięcznego zestawienia pracy pojazdu pokazano w załączniku nr 1.

Z systemów informatycznych WER Lublin, pobrano również dane opisujące każdy pojazd w szerszym zakresie niż było to we wspomnianych wcześniej raportach, jak np.: nr rejestracyjny, rodzaj pojazdu, rodzaj paliwa, kubatura i wymiary przestrzeni ładunkowej, rok produkcji, dodatkowe wyposażenie (np. winda) itp.

Drugim miejscem, z którego pobrano dane była, stacja obsługi pojazdów Poczty Polskiej S.A. w Lublinie. Z tego miejsca uzyskano dwa rodzaje raportów. Raporty pierwszego rodzaju opisują wykonane obsługi pojazdów i zawierają m.in. takie informacje jak data raportu, nr pojazdu, oddział z którego pochodzi dany pojazd, data otwarcia i zamknięcia zlecenia, przebieg pojazdu z jakim pojazd trafił do obsługi, rodzaj obsługi, liczba roboczogodzin przepracowanych na zlecenie, opis występującej usterki/obsługi. Przykład takiego raportu pokazano w załączniku 2. Raporty drugiego rodzaju stanowią wykaz części i materiałów jakie zostały wykorzystane podczas wszystkich obsług i napraw pojazdów w ciągu jednego miesiąca (załącznik 3).

Aby możliwe było przeprowadzenie analizy porównawczej danych, zgromadzonych w opisanych wyżej raportach, konieczne było połączenie wszystkich, pojedynczych raportów danego typu, w tabele zbiorcze. I tak, raporty dotyczące m.in. dziennych przebiegów pojazdów oraz zużycia paliwa zebrano w formie tabeli zbiorczej, którą na poczet niniejszej pracy nazwano „Użytkowanie". Było to zajęcie bardzo pracochłonne, gdyż raporty te wygenerowane zostały z systemu informatycznego PP w postaci nieedytowalnych plików w formacie pdf (ponad 5100 raportów) przez co konieczne było „ręczne" skopiowanie zebranych w tych raportach danych do edytowalnej tabeli zbiorczej.

Raporty miesięczne opisujące obsługi pojazdów (naprawy i przeglądy) zebrano w tabeli zbiorczej którą nazwano „Obsługiwanie", wykazy użytych części i materiałów złączono w tabeli nazwanej „Części", natomiast szczegółowe dane techniczne opisujące poszczególne pojazdy zebrano w tabeli nazwanej „Pojazdy".

7.2 Kategorie pojazdów PP

Ze wszystkich opisanych w poprzednim podrozdziale raportów, pozyskano dane eksploatacyjne dotyczące 287 pojazdów wykonujących przewóz towarów w ramach zadań realizowanych przez Pocztę Polską. Pojazdy pocztowe zostały podzielone przez PP na pięć kategorii w zależności od maksymalnej masy pojazdu i od rodzaju wykonywanych przez te pojazdy zadań przewozowych.

Do kategorii I należą pojazdy o masie maksymalnej do 3.5 t. Jest to najliczniejsza grupa pojazdów, która wykonuje najwięcej zadań przewozowych. Pojazdy te wykorzystywane są przy doręczaniu listów, paczek, przesyłek kurierskich, obsłudze skrzynek pocztowych, itp. Pojazdy te użytkowane są głównie na terenie Lublina i jego najbliższych okolic, jednak mogą być również wykorzystywane – w przypadku przesyłek kurierskich bezpośrednich – na terenie całego kraju.

W grupie pojazdów I kategorii znajdowały się 203 samochody różnych marek i modeli. Ilości pojazdów należących do I kategorii, z podziałem na poszczególne marki, przedstawiono w tabeli 7.1.

Tab. 7.1 Liczba pojazdów poszczególnych marek, należących do I kategorii

Marka	Kod modelu	Liczba
CITROEN	A	32
	B	35
FIAT	K	3
	L	1
	F	5
FORD	D	13
IVECO	M	2
LUBLIN	N	9
MERCEDES	O	1
PEUGEOT	X	52
	Y	21
RENAULT	E	7
VOLKSWAGEN	P	1
	C	16
	G	5

Źródło: opracowanie własne.

Do kategorii II należą pojazdy o masie maksymalnej w zakresie 3.5÷12 t. Pojazdy te wykorzystywane są głównie do przewozu opakowań zbiorczych (kontenery rolkowe zamykane) pomiędzy placówkami PP na terenie lubelskiego regionu dystrybucji.

W grupie pojazdów II kategorii znalazło się 13 samochodów. Ilości pojazdów należących do II kategorii, z podziałem na poszczególne marki, przedstawiono w tabeli 7.2.

Tab. 7.2 Liczba pojazdów poszczególnych marek, należących do II kategorii

Marka	Kod modelu	Liczba
IVECO	H	9
MAN	S	3
STAR	T	1

Źródło: opracowanie własne.

Do III kategorii należą pojazdy o masie maksymalnej w zakresie 12÷18 t. Pojazdy te wykonują podobne zadania jak w przypadku II kategorii. Wykorzystywane są do przewozu opakowań zbiorczych (kontenery rolkowe zamykane) pomiędzy głównymi placówkami PP. Pojazdy zarówno II jak i III kategorii wykorzystywane są również do przewozu przesyłek paletowych.

W grupie pojazdów III kategorii znalazło się 13 samochodów. Ilości pojazdów należących do III kategorii, z podziałem na poszczególne marki, przedstawiono w tabeli 7.3.

Tab. 7.3 Liczba pojazdów poszczególnych marek, należących do III kategorii

Marka	Kod modelu	Liczba
IVECO	H	7
MAN	I	5
MERCEDES	U	1

Źródło: opracowanie własne.

Do IV kategorii należą pojazdy o masie maksymalnej przekraczającej 18 t. Pojazdy tej kategorii wykorzystywane są głównie do dwóch celów. Pierwszy z nich to realizacja cyklicznych kursów pomiędzy węzłami ekspedycyjno-rozdzielczymi na terenie kraju, drugi to realizacja usługi przesyłki paletowej.

W grupie pojazdów IV kategorii znalazło się 56 samochodów. Ilości pojazdów należących do IV kategorii, z podziałem na poszczególne marki, przedstawiono w tabeli 7.4.

Tab. 7.4 Liczba pojazdów poszczególnych marek, należących do IV kategorii

Marka	Kod modelu	Liczba
IVECO	J	49
MAN	W	3
MERCEDES	V	1
MERCEDES	U	1
VOLVO	Z	2

Źródło: opracowanie własne.

Oprócz ww. czterech kategorii pojazdów, wyróżnia się V kategorię, do której można zaliczyć pojazdy nietypowe takie jak np. pojazdy opancerzone.

W grupie pojazdów V kategorii znalazły się 3 samochody. Ilości pojazdów należących do V kategorii, z podziałem na poszczególne marki, przedstawiono w tabeli 7.5.

Tab. 7.5 Liczba pojazdów poszczególnych marek, należących do V kategorii

Marka	Kod modelu	Liczba
IVECO	M	1
MERCEDES	O	2

Źródło: opracowanie własne.

Ze względu na specyfikę pojazdów V kategorii, zdecydowano się wyłączyć je z dalszej analizy. Z dalszej analizy zostały wyłączone również pojazdy, które były obsługiwane w bazie serwisowej PP w Lublinie, jednak przynależały do innych oddziałów PP (np. Zamość) i nie było możliwości pozyskania danych o historii użytkowania tych pojazdów.

8. Ekspercki model procesu eksploatacji środków transportu

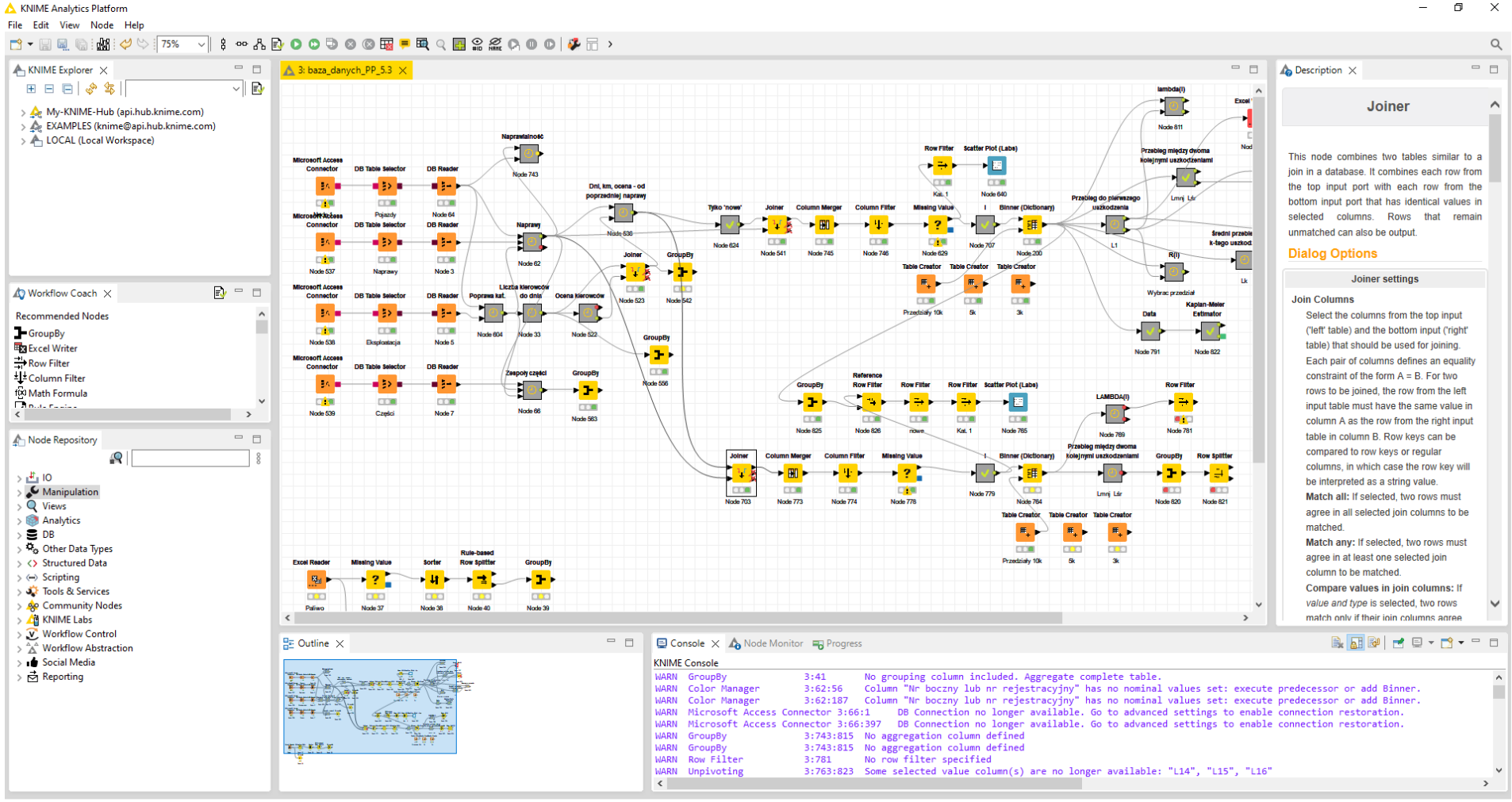
PP nie posiada zintegrowanego systemu informatycznego, służącego do kompleksowego zarządzania eksploatacją posiadanej floty pojazdów. Zarządzanie użytkowaniem i obsługiwaniem posiadanych środków transportu wspomagane jest natomiast osobnymi, dziedzinowymi systemami informatycznymi. W każdym z tych systemów gromadzone są niezależnie od siebie, określone dane o użytkowaniu i obsługiwaniu pojazdów. Systemy te nie umożliwiają bezpośredniej wymiany danych pomiędzy sobą, nie został też przyjęty jednolity system zapisu danych w tych systemach, który umożliwiałby ich prostą integrację.

W związku z powyższym wydaje się za celowe, opracowanie nowego modelu eksploatacji pojazdów, pozwalającego scalić te rozproszone dane eksploatacyjne, który w oparciu o opisane w literaturze modele niezawodnościowe pojazdów samochodowych, pozwalałby na wyznaczenie charakterystyk niezawodnościowych środków transportu, a także który w oparciu o opinie ekspertów oraz zastosowane autorskie algorytmy przetwarzania danych, pozwalałby ocenić wpływ stylu jazdy kierowców na czas przebywania pojazdów w naprawie.

Przedmiotowy, ekspercki model procesu eksploatacji środków transportu zbudowany został w postaci aplikacji stworzonej w programie KNIME.

KNIME (ang. KoNstanz Information MinEr) jest programem typu open source (licencja umożliwia bezpłatne pobieranie oraz swobodne wykorzystywanie programu), który został stworzony na Uniwersytecie w Konstancji i wykorzystywany jest m.in. do wykonywania analiz i obliczeń statystycznych, jak również uczenia maszynowego w wielu dziedzinach nauki.

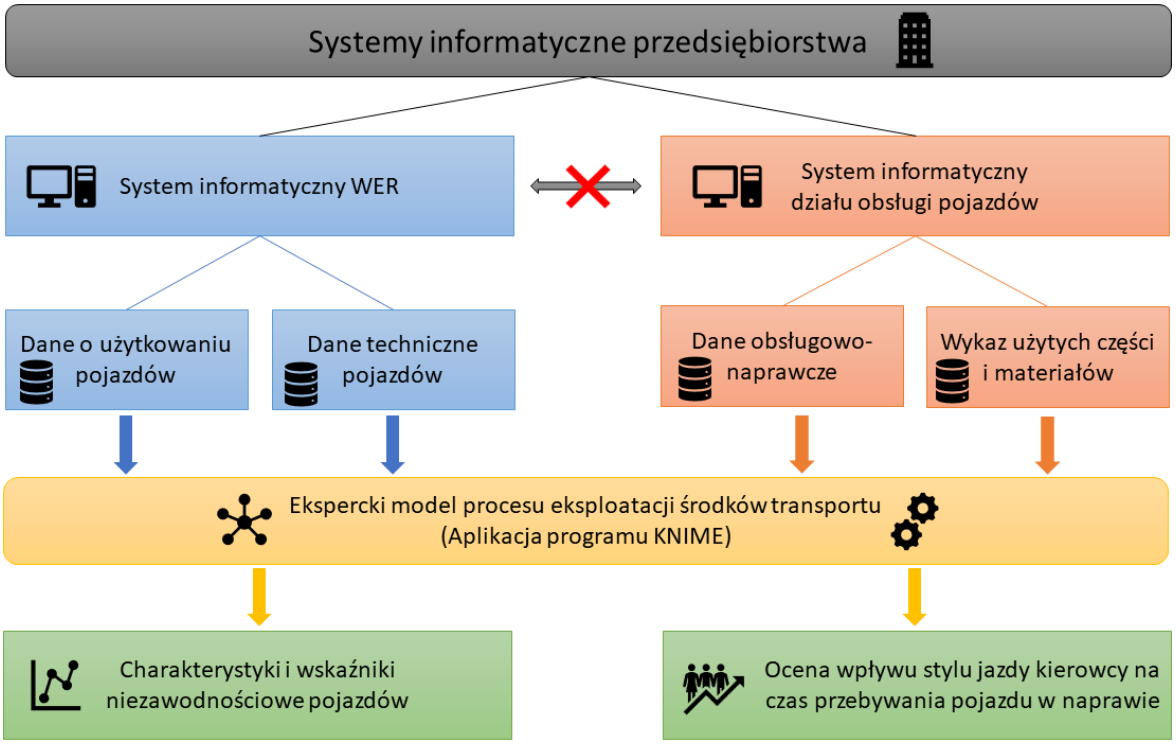
Sposób posługiwania się programem polega na łączeniu w graf elementów – zwanych modułami lub węzłami – symbolizujących ładowanie danych, ich transformację, generowanie statystyk, modelowanie, wizualizację, zapisywanie wyników, itp. Program działa na zasadzie mechanizmu „przeciągnij i upuść”, dzięki czemu zarządzanie, czy zmiana poszczególnych etapów analizy danych jest bardzo intuicyjna [110, 111]. Interfejs programu KNIME pokazano na rysunku 8.1.



Rys. 8.1 Interfejs programu KNIME

Program KNIME nie występuje w polskiej wersji językowej, dlatego nazwy węzłów pojawiających się na rysunkach przedstawionych w pracy zapisane są w języku angielskim, natomiast w niektórych miejscach aplikacja umożliwia dodawanie opisów do poszczególnych obiektów i te opisy wykonane zostały w języku polskim. Ze względu na to, że program jako separator miejsc dziesiętnych w zapisach liczbowych wykorzystuje kropkę, to w celu ujednolicenia systemu zapisu, taki sam separator do oznaczania miejsc dziesiętnych, został wykorzystany w całej pracy.

Zbudowana aplikacja, będąca przedmiotowym modelem, odpowiada za ujednolicenie sposobu zapisu danych pochodzących ze wspomnianych systemów informatycznych przedsiębiorstwa oraz za integrację tych danych. W aplikacji realizowane są wszystkie procesy przetwarzania zebranych danych, które prowadzą do wyznaczenia charakterystyk i wskaźników niezawodnościowych pojazdów oraz wskaźników, które pozwalają ocenić wpływ stylu jazdy kierowców na czas przebywania pojazdu w naprawie. Koncepcję działania opracowanego modelu zobrazowano na rysunku 8.2.



Rys. 8.2 Schemat funkcjonowania eksperckiego modelu procesu eksploatacji środków transportu

Do zbudowania aplikacji wykorzystano setki różnego rodzaju węzłów. Każdy z tych węzłów wymagał odpowiedniego skonfigurowania do konkretnego zastosowania. W niniejszej pracy w celu zobrazowania metodyki budowy aplikacji w programie KNIME, opisano tylko kilka przykładowych, zastosowanych schematów połączenia węzłów, które realizują wybrane zadania w całym procesie przetwarzania zgromadzonych danych.

8.1 Ocena jakości zebranych danych

Początkowo opisane w rozdziale 7.1 tabele zbiorcze zostały zapisane w postaci osobnych plików formatu xlsx, jednak w trakcie budowy aplikacji w programie KNIME, okazało się, że ten format plików posiada pewne ograniczenia, jak np. brak możliwości modyfikowania danych w pętlach (loop) tworzonych we wspomnianym programie. Z tego powodu zdecydowano się stworzyć bazę danych programu Access, która nie posiada takich ograniczeń jak pliki programu Excel, w której zebrano wszystkie dane ze wspomnianych wcześniej tabel zbiorczych z zachowaniem układu tych tabel.

W celu sprawdzenia jakości zebranych danych eksploatacyjnych, przeprowadzono ich wstępną ocenę oraz badania statystyczne. W oparciu o nie, wytypowano błędy i niejednolite zapisy w danych, których przykłady opisano poniżej.

Tabela „Użytkowanie" zawierała dobrze uporządkowane dane, ponieważ były one w usystematyzowany sposób zbierane dzień po dniu, na podstawie kolejnych kart pracy kierowców. Jednak mimo to, miejscami występowały w niej błędne dane. Błędy te dotyczyły głównie niepoprawnie wprowadzonych dziennych lub całkowitych przebiegów pojazdów. Przykładem takiego błędu jest powielenie lub pominięcie którejś z cyfr w zapisie przebiegu, czego skutkiem było to, że wprowadzony przebieg różnił się o rząd wielkości od wartości rzeczywistej.

Tabela „Obsługiwanie" zawierała zdecydowanie najwięcej nieusystematyzowanych zapisów z całej utworzonej bazy danych. Wynikało to m.in. z tego, że raporty dzienne na podstawie których powstała zbiorcza tabela, na przestrzeni analizowanego okresu, były tworzone w różnych szablonach programu Excel. Najważniejsze przykłady z tych nieścisłości i błędów opisano w dalszej części akapitu. I tak pojazdy, których dotyczyła obsługa były oznaczane przez nr boczny lub nr rejestracyjny, co należało ujednolicić chociażby w celu wyznaczenia przebiegu pomiędzy kolejnymi naprawami tego samego pojazdu. Numery boczne dla tego samego pojazdu mogły być zapisane w różny sposób (np. F670, F-670, F - 670, 670). Zapisy, które wymagały usystematyzowania to głównie daty. Daty rozpoczęcia i zakończenia zlecenia były rozbite na kolumny: rok, miesiąc, dzień, lub np. w jednej kolumnie znajdowały się dzień i miesiąc, a rok był podany w jednym miejscu dla całego raportu miesięcznego. W kolumnach tych stosowano też różne metody zapisu, np. miesiąc zapisany liczbą lub słownie. Zdarzały się także błędnie wpisane wartości np. rok raportu późniejszy niż bieżący rok.

Te same wyrazy zapisywane były z użyciem polskich znaków lub z ich pominięciem. Występowały błędy w zapisanym przebiegu całkowitym pojazdu podobne do tych, jakie były opisane w poprzednim akapicie, przy opisie tabeli „Użytkowanie". Niektóre pojazdy były przypisane do błędnej kategorii, itp.

Wykaz użytych części i materiałów zebrany w tabeli „Części" zawierał pewne cechy, które w znaczny sposób ograniczały możliwość wykorzystania go do szczegółowej analizy. Największym problemem było to, że wykaz zawierał wszystkie części i materiały, które zostały wykorzystane na dany pojazd w ciągu całego miesiąca, bez podziału na dni miesiąca. W efekcie czego, nie było możliwości dopasowania użytych części do poszczególnych napraw w przypadku, gdy w danym miesiącu wystąpiły więcej niż jedna naprawa oraz gdy okres naprawy obejmował więcej niż jeden miesiąc – np. naprawa rozpoczęła się na koniec miesiąca, a zakończyła się na początku kolejnego miesiąca. Uniemożliwiało to także dokładne wyznaczenie średniego przebiegu pomiędzy kolejnymi wymianami konkretnych części. Innym istotnym problemem był nieprecyzyjny opis niektórych części, np. pojedyncze słowa „czujnik", „tuleja", „łożysko", które nie określały w żaden sposób, którego układu pojazdu one dotyczą.

Tabela „Pojazdy" nie zawierała zaś informacji o wszystkich badanych środkach transportu, dlatego częściowo uzupełniono te informacje na podstawie danych zawartych w pozostałych tabelach.

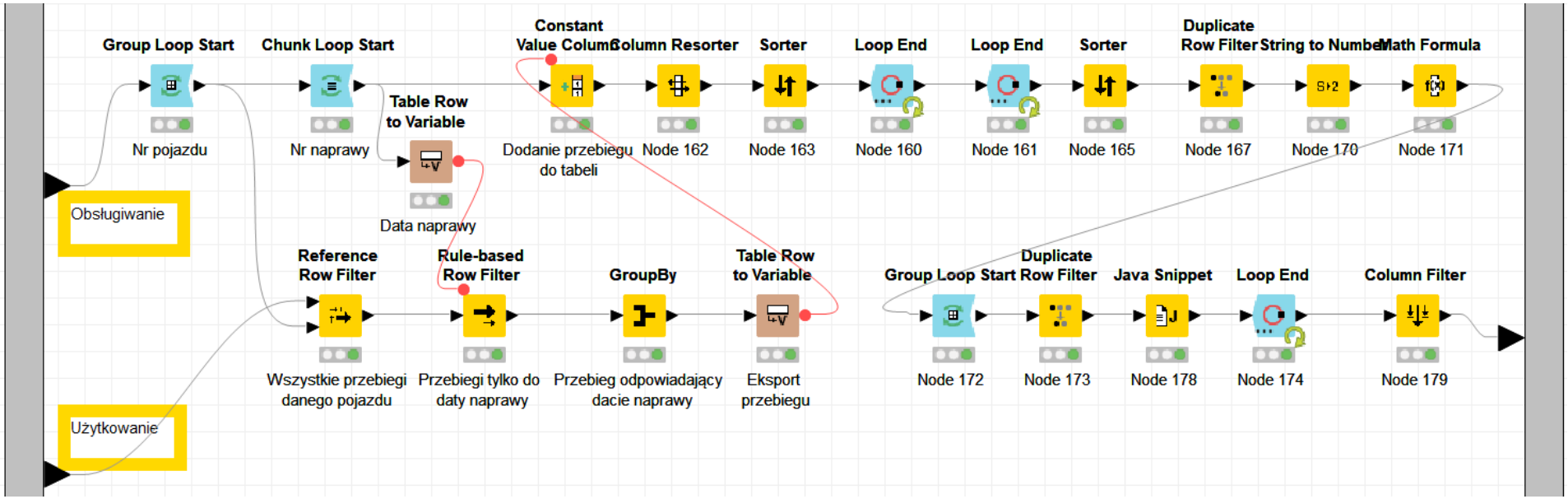
Niestety Poczta Polska nie udostępniła informacji o poniesionych kosztach napraw, ani o cenach poszczególnych części i materiałów wykorzystanych w trakcie tych napraw, stąd w budowanym eksperckim modelu eksploatacji pojazdów aspekt kosztów nie został uwzględniony.

8.2 Przygotowanie zebranych danych do analizy

Opisane w poprzednim rozdziale, wykryte błędy należało usunąć, a brakujące dane uzupełnić. Sposób naprawy wybranych, najistotniejszych problemów z danymi, przedstawiono w tym rozdziale. Jednym z głównych problemów z zebranymi danymi, były błędnie zapisane przebiegi całkowite pojazdów. Ponieważ w tabeli „Użytkowanie", w większości przypadków dane były zbierane systematycznie, dzień po dniu, to w zbiorze tym łatwiej można było wychwycić i usunąć błędne wartości zapisów przebiegów pojazdów. Przykładowo, w przypadku wykrycia wartości odstającej przebiegu całkowitego pojazdu w danym dniu (np. różnica o rząd wielkości), wartość taką można było usunąć, a następnie uzupełnić np. stosując interpolację liniową na podstawie wcześniejszych i późniejszych przebiegów tego pojazdu. Naprawione w ten sposób dane stały się najbardziej wiarygodnym źródłem, z którego można było zaczerpnąć przebieg pojazdu z konkretnego dnia w przypadku, gdy brakowało go w innych tabelach.

Aby w trakcie dalszej analizy można było łączyć dane, dotyczące tych samych pojazdów, ale pochodzące z różnych tabel, konieczne było ujednolicenie odpowiednich zmiennych takich jak np. nr boczny pojazdu, data, we wszystkich tabelach bazy danych. Przykładowo, jeżeli w tabeli „Obsługiwanie" nie został zapisany przebieg, z jakim pojazd trafił do naprawy w danym dniu, to dopasowując datę i ten sam nr boczny pojazdu, brakujący przebieg można było zaimportować z tabeli „Użytkowanie". Schemat kolejnych kroków przetwarzania danych jakie zostały w tym celu wykonane przedstawiono w postaci grafu programu KNIME na rysunku 8.3.

Aplikacja stworzona w programie KNIME, będąca przedmiotowym modelem, zbudowana jest z wielu grafów reprezentujących procesy przetwarzania danych. Cała aplikacja budowana była w taki sposób, aby w jak największym stopniu automatyzować procesy przetwarzania danych dla różnych modeli pojazdów, tj. w taki sposób, aby wystarczyło podać na wejściu do aplikacji „surowe" dane, które byłyby następnie przetwarzane i analizowane przez aplikację na zasadzie „czarnej skrzynki", a na wyjściu otrzymalibyśmy gotowe wyniki analiz dla poszczególnych modeli pojazdów, np. w postaci wykresów i obliczonych wartości wskaźników niezawodnościowych. W wielu aspektach udało się uzyskać zamierzony efekt, jednak aplikacja nadal jest na etapie prototypu i wymaga nadzoru na niektórych etapach analizy danych.



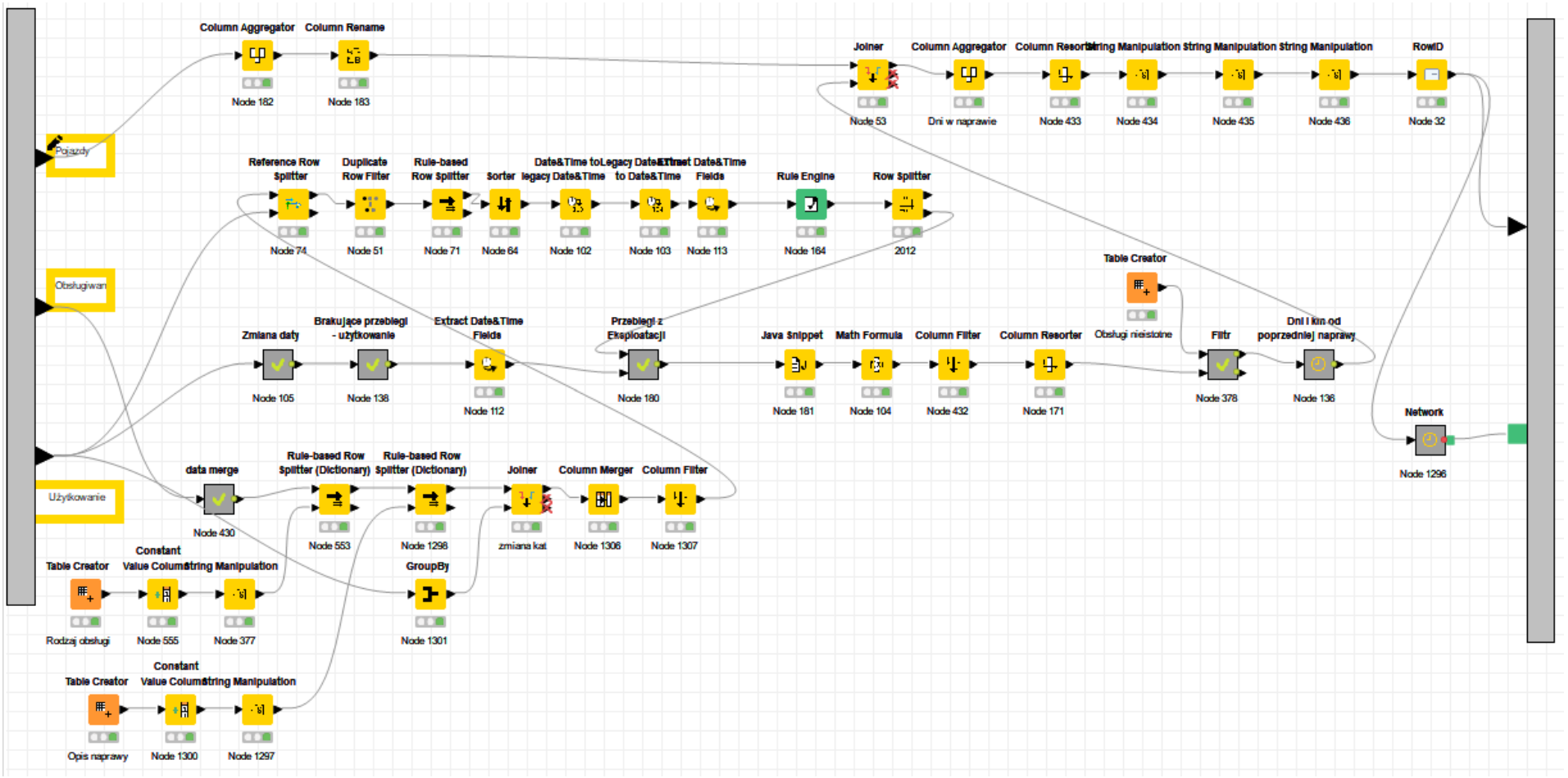
Rys. 8.3 Graf programu KNIME reprezentujący proces importowania wartości przebiegów pojazdów z tabeli "Użytkowanie" do tabeli „Obsługiwanie”

Przedstawiony na rysunku 8.3 graf reprezentujący proces importowania przebiegów pojazdów z tabeli „Użytkowanie” do tabeli „Obsługiwanie” może posłużyć do zobrazowania tego, w jaki sposób pewne etapy przetwarzania danych są w aplikacji automatyzowane. Szara belka po lewej stronie reprezentuje wejścia do grafu. Można z nich pobrać dane z tabel „Użytkowanie” i „Obsługiwanie”. Węzeł „Group Loop Start” rozpoczyna pętlę przetwarzania porcji danych, a w tym przypadku ze zbioru napraw wszystkich pojazdów, wybiera naprawy tylko jednego, konkretnego pojazdu, na podstawie unikatowego numeru bocznego tego pojazdu. W efekcie czego na wyjściu z tego węzła uzyskuje się tabelę składającą się z wierszy (rekordów), z których każdy reprezentuje jedną naprawę tego pojazdu. Następny węzeł „Chunk Loop Start” rozpoczyna procedurę wybierania kolejno pojedynczych rekordów z tabeli, czyli w tym przypadku pojedynczych napraw danego pojazdu. Jednocześnie wybrany w węźle „Group Loop Start” unikatowy numer boczny pojazdu trafia do węzła „Reference Row Filter”. Węzeł ten służy do odfiltrowania ze wszystkich danych zgromadzonych w tabeli „Użytkowanie” tylko tych danych, które dotyczą tego konkretnego pojazdu. Dalej z węzła „Chunk Loop Start” dane pojedynczej naprawy trafiają do węzła „Table Row To Variable”, w którym data naprawy zostaje ustawiona jako zmienna. W kolejnym kroku data ta zostaje ustawiona w węźle „Rule-based Row Filter” jako data końcowa, w efekcie czego ze wszystkich przebiegów danego pojazdu zgromadzonych w tabeli „Użytkowanie”, dalej przechodzą tylko te z datą danej naprawy lub wcześniejszą. Następnie z tych danych, w węźle „GroupBy” wybrany zostaje przebieg całkowity pojazdu z dnia najbliższego dniowi rozpoczęcia danej naprawy. Taki zabieg wybrania najbliższej daty został wykonany, ponieważ nie zawsze istnieje możliwość bezpośredniego dopasowania do siebie daty naprawy i daty użytkowania pojazdu. Niedopasowanie dat występuje np. wtedy, gdy pojazd użytkowany był do piątku – i wtedy zarejestrowano jego ostatni przebieg – po czym został odstawiony do serwisu, natomiast jego naprawa rozpoczęła się w poniedziałek i datę poniedziałkową zapisano jako datę rozpoczęcia naprawy. W kolejnym kroku przebieg z dnia najbliższego dniowi rozpoczęcia naprawy trafia do węzła „Table Row To Variable” w którym ustawiony zostaje jako zmienna, która następnie trafia do węzła „Constant Value Column”, który to z kolei dodaje do tabeli „Obsługiwanie” nową kolumnę, w której zapisany zostaje odczytany wcześniej przebieg całkowity pojazdu z jakim pojazd trafił do naprawy.

W końcowej części tego odcinka grafu znajdują się dwa węzły „Loop End”. Pierwszy z nich zakańcza procedurę rozpoczętą węzłem „Chunk Loop Start” tj. procedura zostaje wykonana kolejno dla wszystkich napraw tego samego pojazdu, czyli dla każdej z napraw zostaje zapisany przebieg całkowity pojazdu z jakim pojazd trafił do danej naprawy. Drugi z węzłów „Loop End” zakańcza procedurę rozpoczętą węzłem „Group Loop Start” tj. powtarza tą procedurę po kolei dla wszystkich pojazdów, których dane znajdujących się w tabeli „Obsługiwanie”.

Program KNIME oprócz wbudowanych węzłów, wykonujących określone operacje na danych, posiada też węzły pozwalające na wykonywanie autorskich skryptów zapisanych w różnych językach programowania. Umożliwia to zbudowanie własnego narzędzia do przetwarzania danych w przypadku, gdy nie można znaleźć odpowiedniego, gotowego narzędzia w zbiorze zaimplementowanych w program węzłów lub gdy gotowe węzły nie posiadają wystarczających możliwości konfiguracji. W wielu miejscach zbudowanej aplikacji zostały wykorzystane węzły, wykonujące autorskie skrypty, zapisane w języku programowania Java. W przypadku opisanej powyżej procedury pobierania wartości przebiegów całkowitych, z jakimi pojazd trafił do naprawy, zastosowano następnie skrypt, który wykonywał procedurę wstawiania pobranych z tabeli „Użytkowanie” wartości przebiegów w miejsca, gdzie w tabeli „Obsługiwanie” dane te nie zostały wcześniej wprowadzone (załącznik 12).

W systemie obsług pojazdów PP, obsługi zostały podzielone na kilka kategorii: naprawa bieżąca, naprawa awaryjna (dotyczy głównie czynności wykonywanych po kolizjach), obsługa doraźna (np. uzupełnianie płynów eksploatacyjnych), przegląd przebiegowy, przegląd sezonowy, przegląd gwarancyjny, inne. W dalszych analizach skupiono się głównie na naprawach bieżących, wynikających z losowych awarii pojazdów, stąd z całego zbioru danych odfiltrowano pozostałe rodzaje obsług. Jednak w zbiorze napraw bieżących, zdarzały się także obsługi niezwiązane z tą kategorią, jak np. oklejanie pojazdu numerem bocznym (które najczęściej przypisane jest do kategorii „inne”), wymiana oleju (która najczęściej przypisana jest do kategorii „przegląd przebiegowy”), czy też wymiana opon z letnich na zimowe (która najczęściej przypisana jest do kategorii „przegląd sezonowy”). W związku z tym, z kategorii napraw bieżących należało odfiltrować również obsługi niezwiązane z awariami pojazdów. Na rysunku 8.4 przedstawiono graf prezentujący część procesu przygotowania danych, dotyczących napraw, w tym węzły odpowiadające za odfiltrowanie obsług niezwiązanych z awariami pojazdów.



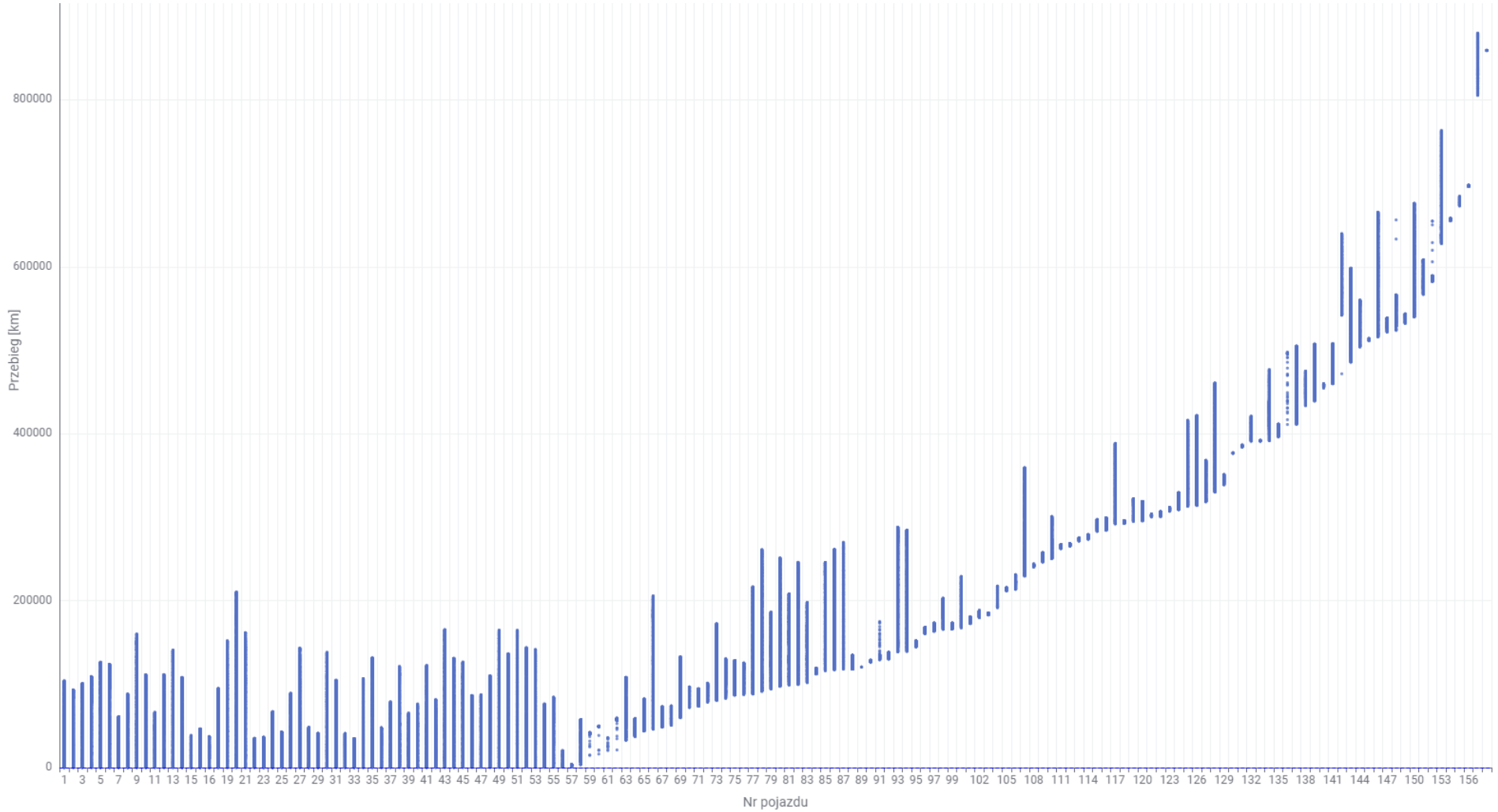
Rys. 8.4 Graf programu KNIME reprezentujący część procesu przygotowania do analizy danych dotyczących obsługiwania pojazdów

Odseparowanie rekordów dotyczących obsług niezwiązanych z losowymi awariami pojazdów, ze zbioru napraw bieżących, zrealizowano w kilku krokach. W pierwszej kolejności utworzono nową tabelę z podpisem „Opis naprawy” (węzeł Table Creator), w której zostały zapisane, wytypowane wcześniej wyrażenia, występujące w opisach obsług niezwiązanych z naprawami bieżącymi, jak np. „sezonowa wymiana opon”. Następnie ze wszystkich zapisanych w tej tabeli wyrażeń, w węźle „String manipulation” tworzone są reguły typu: $Rodzaj występującej usterki/obsługi$ LIKE "Sezonowa wymiana opon", gdzie $Rodzaj występującej usterki/obsługi$ to nazwa kolumny z opisem obsługi. Dalej zastosowano węzeł rozdzielający, działający na zasadzie reguł [Rule-based Row Splitter (Dictionary)], który na podstawie wygenerowanych wcześniej reguł rozdziela zbiór rekordów dotyczących napraw bieżących, na część związaną z awariami losowymi i część niezwiązaną z tą kategorią napraw. Węzeł rozdzielający (a nie filtrujący) zastosowano po to, aby pozostawić możliwość podejrzenia, które rekordy zostały odseparowane i aby można było sprawdzić, czy zapisane reguły rozdzielające działają prawidłowo.

W przypadku wykrycia na późniejszym etapie analizy danych (lub po dodaniu nowych danych z kolejnych lat eksploatacji pojazdów), innych opisów obsług niż te już zapisane w węźle „Opis naprawy”, które to opisy sugerowałyby, że dana obsługa nie jest związana z kategorią napraw bieżących, tylko została błędnie zakwalifikowana do tej kategorii, można wrócić do tego miejsca w aplikacji i uzupełnić listę opisów (w węźle „Opis naprawy”) o nowe nazwy.

W trzyletnim okresie, z którego pochodziły zebrane dane, w lubelskim oddziale PP eksploatowane były zarówno pojazdy, które zostały w tym okresie zakupione i dla których pozyskano pełną historię ich eksploatacji, jak też pojazdy starsze, dla których w tym okresie zarejestrowano tylko pewien fragment z całej historii ich eksploatacji. W dalszych opisach eksploracji danych skoncentrowano się głównie na pojazdach I kategorii (o masie maksymalnej do 3,5t), gdyż do tej kategorii należała największa liczba badanych pojazdów (zob. tabela 7.1). Nowe samochody były zakupywane w różnym czasie, w związku z czym, w analizowanym trzyletnim okresie uzyskały one mocno zróżnicowane przebiegi końcowe oraz zarejestrowano dla nich różną liczbę napraw. Dodatkowo pojazdy leasingowane mogły być serwisowane poza bazą obsługową PP, dlatego dla takich pojazdów zgromadzone zostały tylko informacje o ich użytkowaniu, natomiast nie zostały dla nich zarejestrowane żadne naprawy. W związku z tym, do dalszej analizy wybrano tylko te środki transportu, dla których zarejestrowano co najmniej jedną naprawę, a pozostałe odfiltrowano.

.



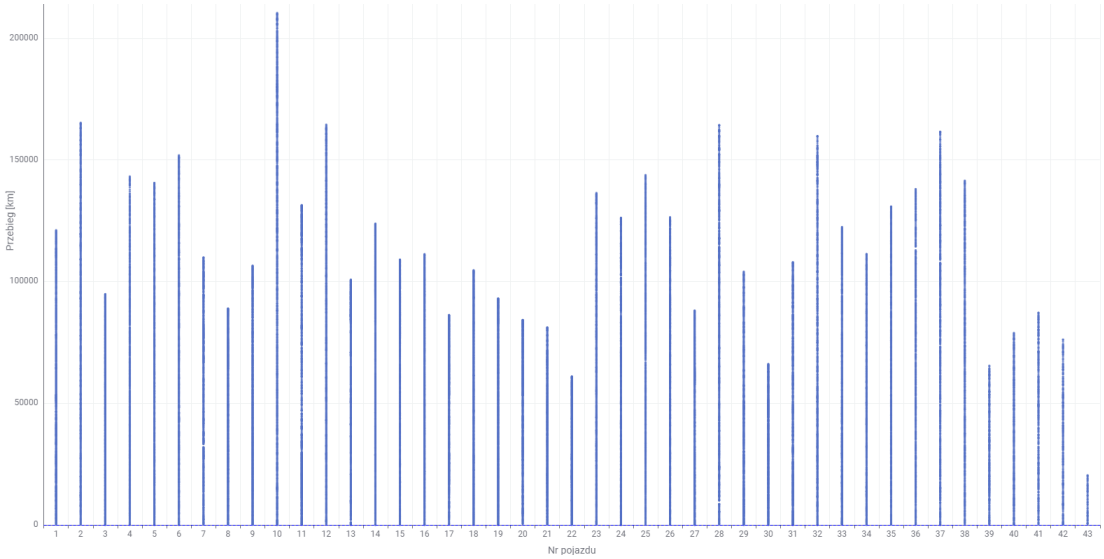
Rys. 8.5 Zarejestrowane przebiegi pojazdów I kategorii

Na rysunku 8.5 zobrazowano w postaci wykresu punktowego zarejestrowane w analizowanym, trzyletnim okresie, przebiegi pojazdów I kategorii. Na osi odciętych tego wykresu wymienione są numery konkretnych pojazdów, a na osi rzędnych za pomocą punktów odłożono przebiegi całkowite zapisane w kolejnych dniach pracy tych środków transportu. W procesie eksploracji danych, poszczególne pojazdy były identyfikowane przez rzeczywisty nr boczny danego pojazdu, natomiast w przedstawianych dalej wynikach analiz, aby uniknąć ujawnienia niejawnych informacji, nr boczne pojazdów zastąpiono wygenerowanymi numerami porządkowymi

W związku z dużym zróżnicowaniem zarejestrowanych przebiegów poszczególnych pojazdów zdecydowano się podzielić wszystkie badane pojazdy na dwie grupy. W pierwszej grupie znalazły się pojazdy z zarejestrowaną pełną historią eksploatacji (przebieg początkowy bliski 0 km), natomiast w drugiej grupie znalazły się pozostałe pojazdy.

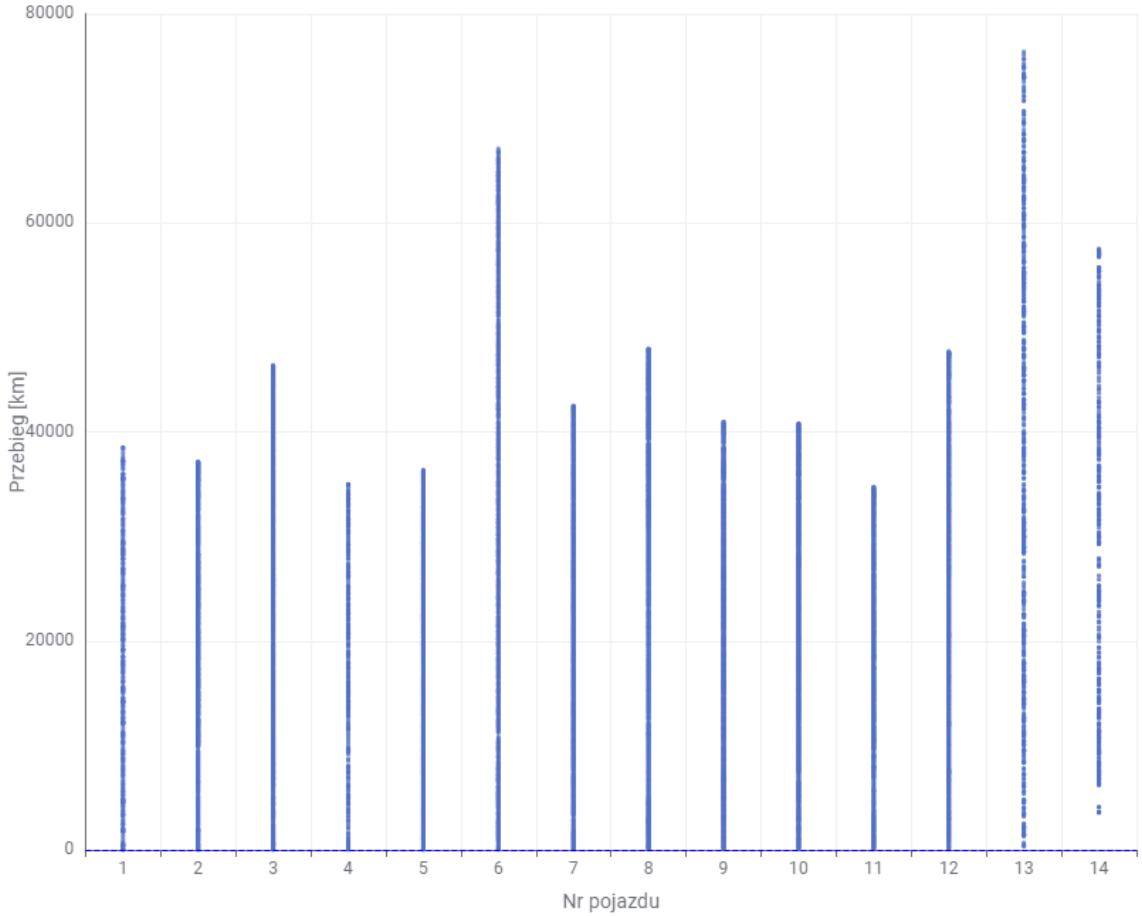
W grupie pojazdów z pełną historią eksploatacji znalazły się dwa modele pojazdów pewnej marki. Ze względu na to, że PP nie wyraziła zgody na ujawnienie wszystkich danych, które udostępniła w celu napisania niniejszej pracy, zdecydowano się zakodować pewne nazwy, które mogłyby posłużyć do identyfikacji poszczególnych pojazdów. W związku z tym, pierwszy ze wspomnianych modeli pojazdów oznaczono dalej jako „model X”, a drugi jako „model Y”.

W wyniku odfiltrowania samochodów dla których nie zarejestrowano w badanym okresie żadnych napraw, z 52 wymienionych w tabeli 7.1 pojazdów modelu X, do dalszych badań wykorzystano dane eksploatacyjne 43 wybranych środków transportu. Kolejne zapisane przebiegi całkowite wybranych pojazdów modelu X, przedstawiono na rysunku 8.6.



Rys. 8.6 Przebiegi wybranych pojazdów modelu X

W przypadku pojazdów modelu Y, w wyniku odfiltrowania samochodów dla których nie zarejestrowano w badanym okresie żadnych napraw, z 21 wymienionych w tabeli 7.1 samochodów modelu Y do dalszych badań wykorzystano dane eksploatacyjne tylko 14 wybranych środków transportu. Zarejestrowane przebiegi wybranych pojazdów modelu Y przedstawiono na rysunku 8.7.



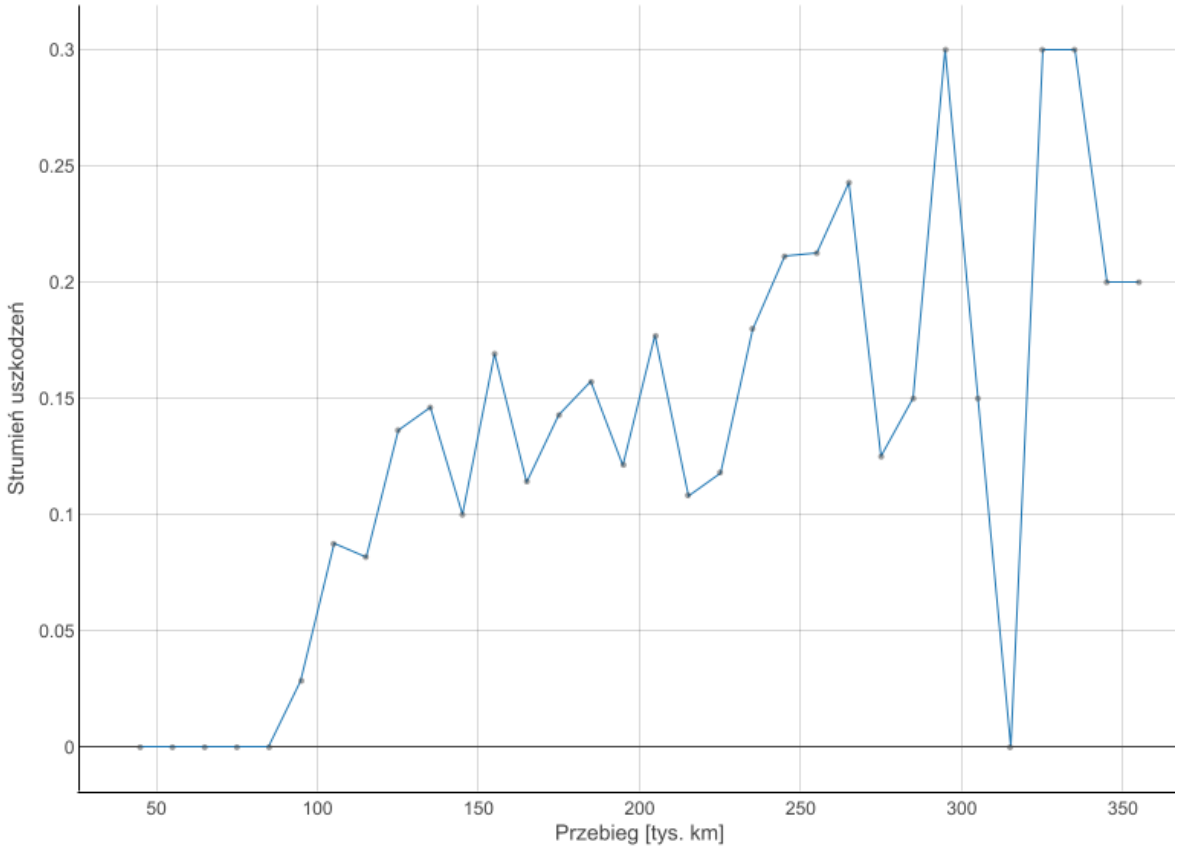
Rys. 8.7 Przebiegi wybranych pojazdów modelu Y

8.3 Wyznaczenie wskaźników i charakterystyk niezawodnościowych

Aplikacja została zbudowana tak, aby charakterystyki niezawodnościowe były wyznaczane w zautomatyzowany sposób dla wszystkich badanych modeli pojazdów. Natomiast w niniejszej pracy, uzyskane wyniki przedstawiono tylko dla kilku wybranych modeli pojazdów, dla których liczba badanych samochodów była największa, w związku z czym, wyniki obliczeń dla tych modeli były statystycznie najbardziej reprezentatywne.

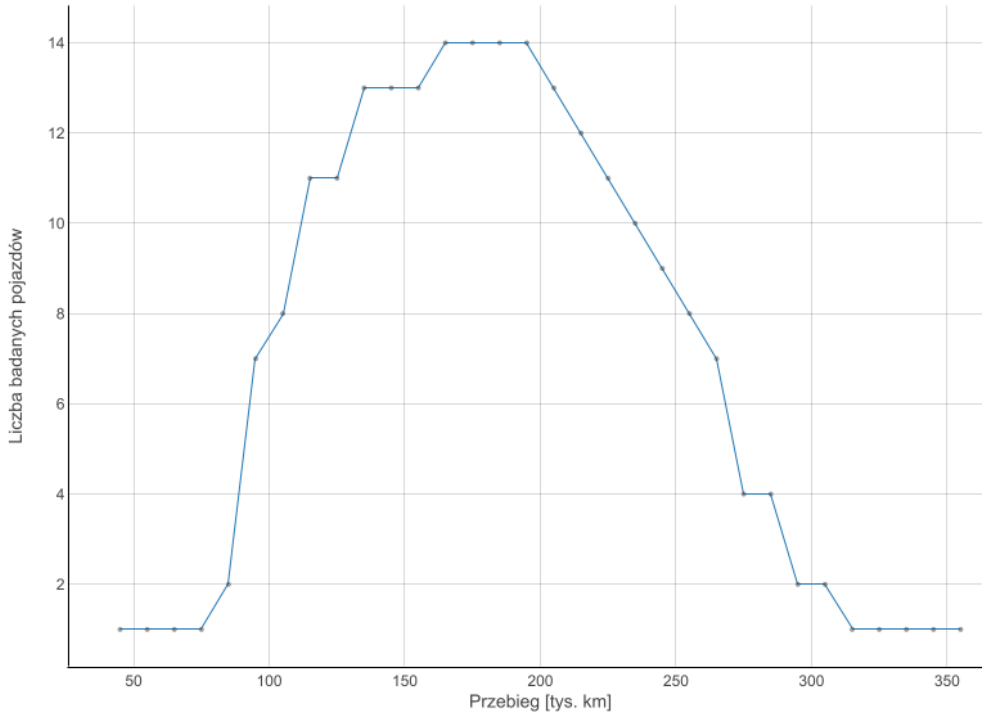
W pierwszej kolejności przedstawiono charakterystyki i wskaźniki niezawodnościowe do wyznaczenia których nie jest wymagana znajomość całej historii eksploatacji pojazdów [112, 113].

Parametr **strumienia uszkodzeń** pojazdów został wyznaczony na podstawie wzoru (3.5). Długość przedziałów Δl, w jakich rejestrowano liczbę uszkodzeń pojazdów, określono na 10 tys. km. Na rysunku 8.8 przedstawiono wykres strumienia uszkodzeń dla samochodów modelu A.



Rys. 8.8 Wykres strumienia uszkodzeń dla pojazdów modelu A

Liczbę badanych pojazdów modelu A, która posłużyła do wyznaczenia wartości strumienia uszkodzeń w analizowanych przedziałach przebiegu kilometrowego, przedstawiono na rysunku 8.9.



Rys. 8.9 Liczba badanych pojazdów modelu A w poszczególnych przedziałach przebiegu

Średnią pracochłonność naprawy dla poszczególnych modeli pojazdów przedstawiono w tabeli 8.1 za pomocą dwóch wskaźników – średniej jednostkowej pracochłonności naprawy bieżącej $P`_n$ obliczonej na podstawie wzoru (3.12) oraz średniej pracochłonności napraw bieżących przypadającej na 1000 km przebiegu pojazdu P_n obliczonej na podstawie wzoru (3.13).

Tab. 8.1 Średnia pracochłonność naprawy dla poszczególnych modeli pojazdów

Kategoria	**Model pojazdu**	**Liczba badanych pojazdów**	**Liczba napraw**	**$P`_n$ [rbh/naprawę]**	**P_n [rbh/1000km]**
1	X	46	204	5.96	0.27
1	Y	18	77	4.91	0.57
1	A	18	306	15.41	1.08
1	B1	13	84	11.66	0.73
1	B2	13	79	17.58	0.40
1	C	13	242	29.43	0.89
1	D	12	42	27.01	0.26
1	E	5	13	21.00	0.17
1	F	5	33	17.02	0.69
1	G	5	86	27.97	1.04
2	H1	5	66	18.37	0.86
3	H2	7	150	30.83	0.86
3	I	5	62	25.75	0.26
4	J1	9	9	2.89	0.01
4	J2	5	72	19.17	0.54

Źródło: opracowanie własne.

W dalszej części rozdziału opisano wskaźniki i charakterystyki niezawodnościowe, dla pojazdów, dla których w stworzonej bazie danych, zapisano pełną historią ich eksploatacji. Dla pojazdów tych istniała możliwość wyznaczenia charakterystyk niezawodnościowych, wyznaczanych zarówno do pierwszego uszkodzenia, jak i charakterystyk typowych dla obiektów odnawialnych.

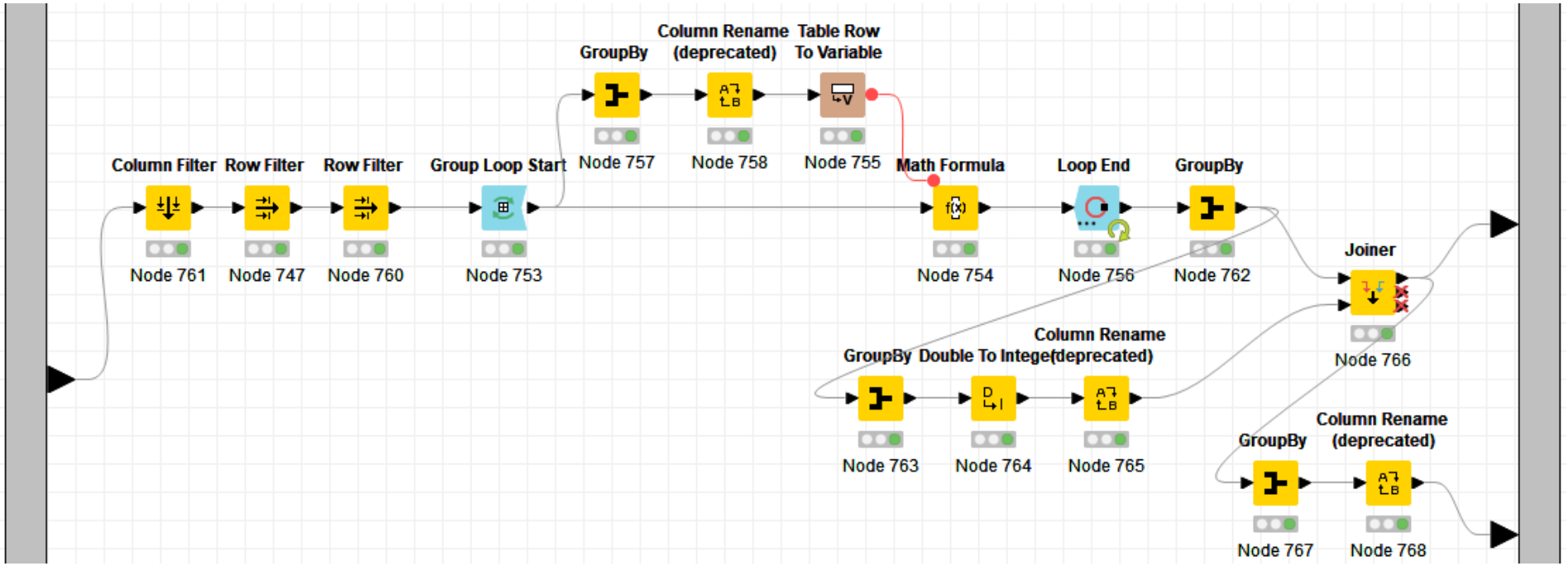
Kolejne naprawy tych samych pojazdów zostały ponumerowane, a następnie wyznaczono średnie wartości przebiegów pomiędzy kolejnymi naprawami dla poszczególnych modeli pojazdów. I tak, dla pojazdów modelu X, średni **przebieg do pierwszego uszkodzenia**, obliczony na podstawie wzoru (3.8) wyniósł L_0=44627 km. Zaś średnie przebiegi pomiędzy kolejnymi naprawami pojazdów modelu X, obliczone na podstawie wzoru (3.11) przedstawiono w tabeli 8.2. W analizowanym okresie, przeprowadzono różną liczbę napraw dla poszczególnych samochodów, dlatego w tabeli 8.2 podano również liczbę badanych pojazdów, których dane posłużyły do wyznaczenia przebiegów pomiędzy kolejnymi naprawami.

Tab. 8.2 Średni przebieg do k-tej naprawy dla pojazdów modelu X

Nr naprawy	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Przebieg [km]	25565	11600	19518	11368	8545	13296
Liczba badanych pojazdów	37	31	24	20	15	10

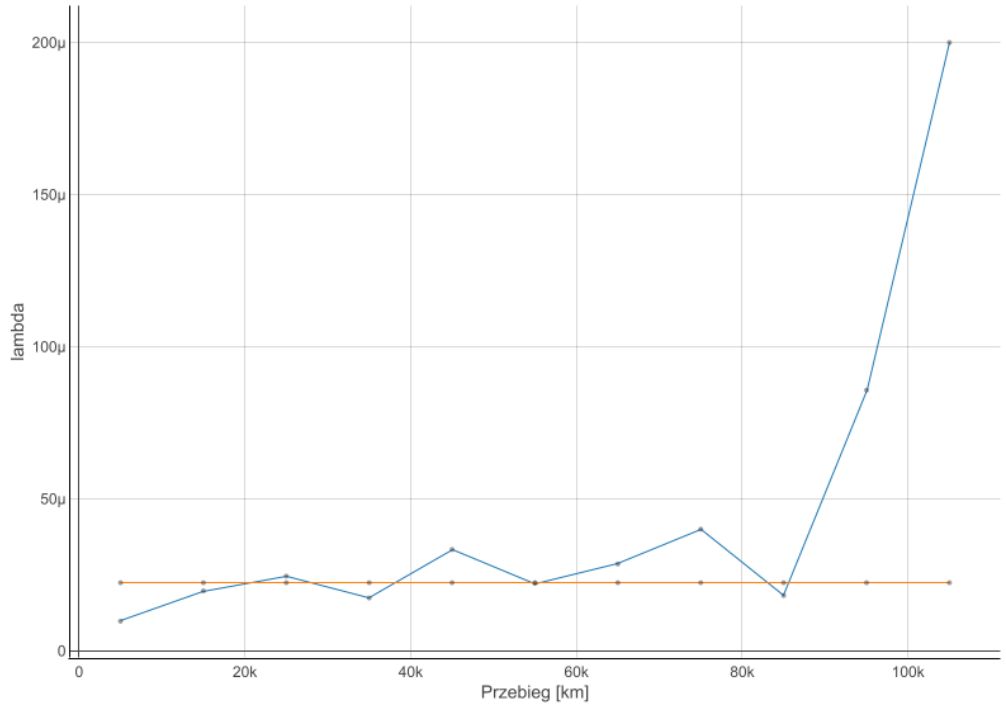
Źródło: opracowanie własne.

Średni przebieg pomiędzy uszkodzeniami dla pojazdów modelu X, wyznaczony na podstawie przebiegów 37 badanych pojazdów (nie dla wszystkich pojazdów zarejestrowano co najmniej 2 naprawy) w oparciu o wzór (3.7) wyniósł $L_{śr}$=20095 km. Na rysunku 8.10 przedstawiono schemat połączeń węzłów, w zbudowanej aplikacji programu KNIME, jaki został wykorzystany do wyznaczenia średniego przebiegu pomiędzy uszkodzeniami pojazdów.



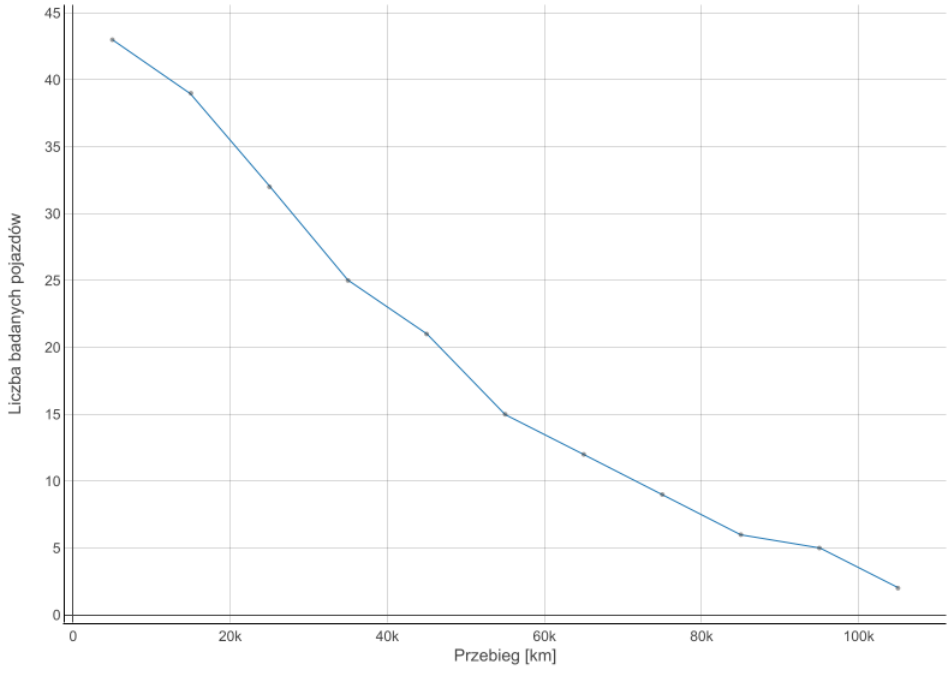
Rys. 8.10 Schemat połączeń węzłów w aplikacji zbudowanej w programie KNIME jaki został wykorzystany do wyznaczenia średniego przebiegu pomiędzy uszkodzeniami pojazdów

Wartość empiryczną funkcji **intensywności uszkodzeń** wyznaczono na podstawie wzoru (3.3), przy czym jako jednostkę resursu przyjęto w tym przypadku przebieg kilometrowy pojazdu. Wykres empirycznej funkcji intensywności uszkodzeń wyznaczonej dla pojazdów modelu X przedstawiono na rysunku 8.11 niebieską linią.



Rys. 8.11 Wykres funkcji intensywności uszkodzeń dla pojazdów modelu X

Dodatkowo na rysunku 8.12 pokazano jaka liczba pojazdów posłużyła do wyznaczenia wartości tej funkcji w poszczególnych przedziałach przebiegu kilometrowego pojazdów.



Rys. 8.12 Wykres liczby badanych pojazdów modelu X w kolejnych przedziałach przebiegu

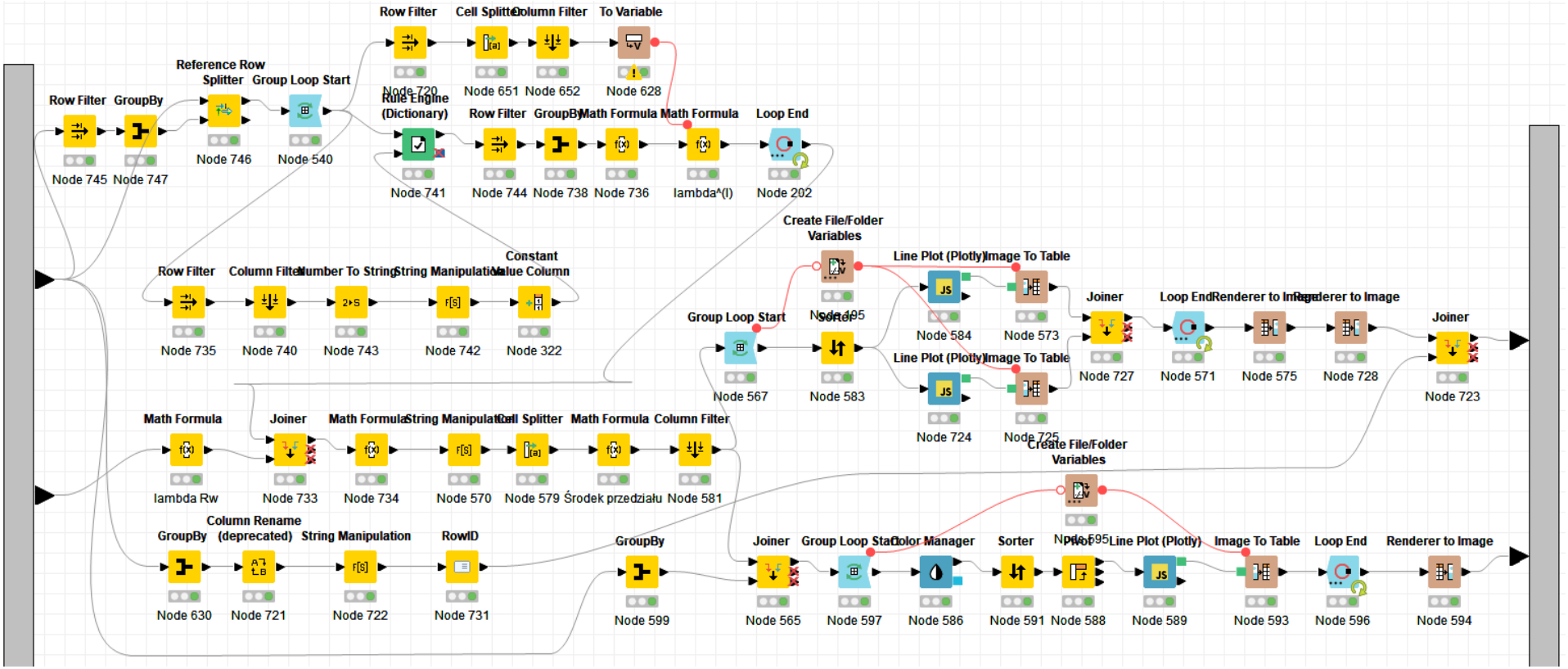
Analizując powyższe wykresy można zauważyć, że intensywność uszkodzeń pojazdów modelu X, dla przebiegów do około 90 tys. km jest w przybliżeniu stała, natomiast powyżej tej wartości zmienia swój charakter. Zmiana ta jest prawdopodobnie spowodowana tym, że przebiegi powyżej 90 tys. km osiągnęło tylko kilka badanych pojazdów (patrz rys. 8.12), stąd uzyskane wartości funkcji intensywności uszkodzeń dla przebiegów powyżej 90 tys. km są w tym przypadku statystycznie mniej miarodajne. W związku z tym, założono, że intensywność uszkodzeń jest stała w całym rozpatrywanym przedziale przebiegu, a w związku z tym, strumień awarii ww. pojazdów można opisać rozkładem wykładniczym [82, 83, 84, 85].

W przypadku rozkładu wykładniczego, wartość teoretycznej funkcji intensywności uszkodzeń obiektów jest stała i można ją wyznaczyć z zależności:

$$\lambda = \frac{1}{\mathrm{E(L)}} \tag{8.1}$$

W rozpatrywanym przypadku wartość E(L) jest równa średniemu przebiegowi pojazdu do pierwszego uszkodzenia L_0. Stąd podstawiając wartość L_0 do wzoru (8.1) otrzymujemy wartość intensywności uszkodzeń dla rozkładu wykładniczego. W przypadku pojazdów modelu X, $\lambda = 2.24 * 10^{-5}\ [\mathrm{km}^{-1}]$. Wartość tą zobrazowano na rysunku 8.11 pomarańczową linią.

Na rysunku 8.11 przedstawiono empiryczną i teoretyczną funkcję intensywności uszkodzeń wyznaczone dla pojazdów modelu X. Natomiast stworzona aplikacja zbudowana jest w taki sposób, aby w automatyczny sposób obliczać wartości tych funkcji i generować ich wykresy dla wszystkich modeli badanych pojazdów. Obecnie, aplikacja tworzy teoretyczne charakterystyki niezawodnościowe oparte tylko na rozkładzie wykładniczym. Na rysunku 8.13 pokazano graf programu KNIME reprezentujący proces wyznaczania funkcji intensywności uszkodzeń dla badanych pojazdów. W procesie tym generowane są osobne wykresy funkcji intensywności uszkodzeń dla poszczególnych modeli pojazdów oraz wykresy na których zestawiono funkcje intensywności uszkodzeń wszystkich modeli samochodów należących do danej kategorii pojazdów.



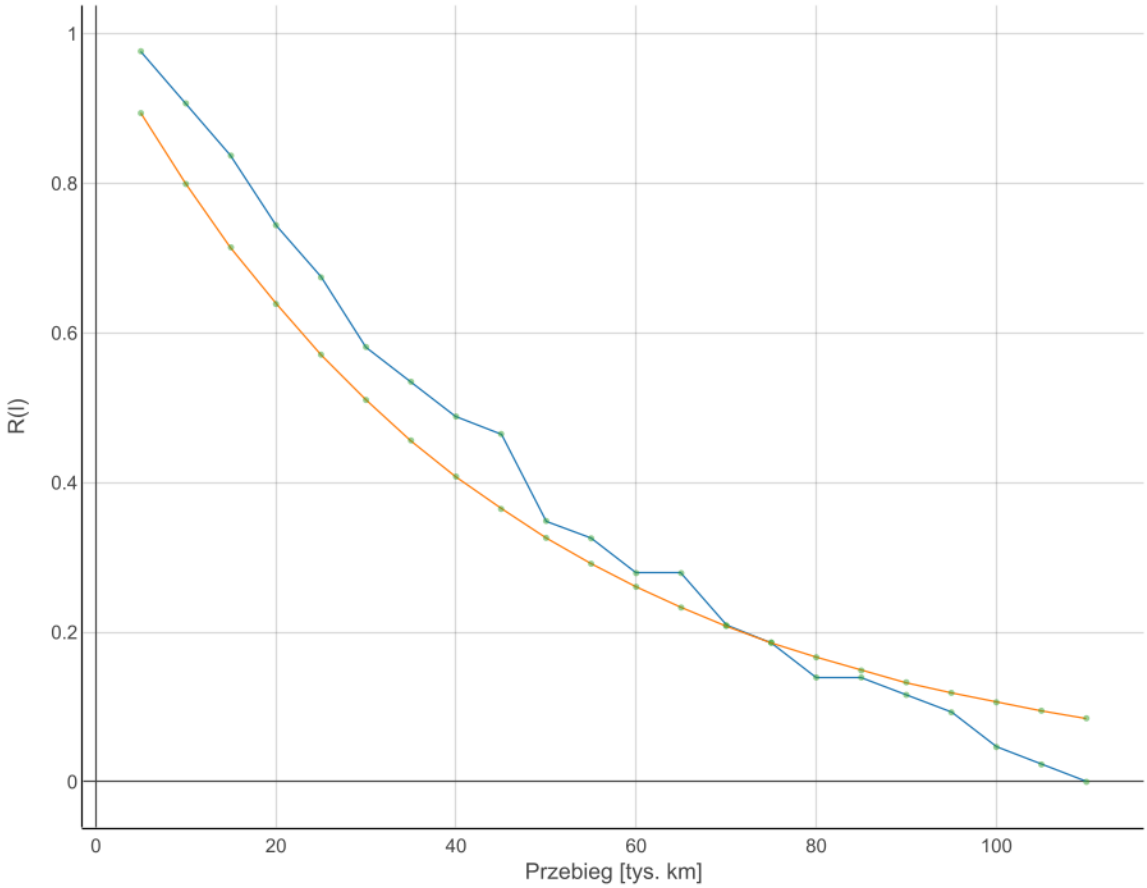
Rys. 8.13 Graf programu KNIME reprezentujący proces wyznaczania funkcji intensywności uszkodzeń dla badanych pojazdów

Prawdopodobieństwo poprawnej pracy pojazdów zamodelowane zostało za pomocą funkcji niezawodności. Wartość empiryczną funkcji niezawodności obliczono na podstawie wzoru (3.6) oraz przedstawiono na rysunku 8.14 niebieską linią. Natomiast wartość teoretyczną funkcji niezawodności obliczono na podstawie wzoru odpowiedniego dla rozkładu wykładniczego:

$$R(l) = e^{-\lambda \cdot l} \tag{8.2}$$

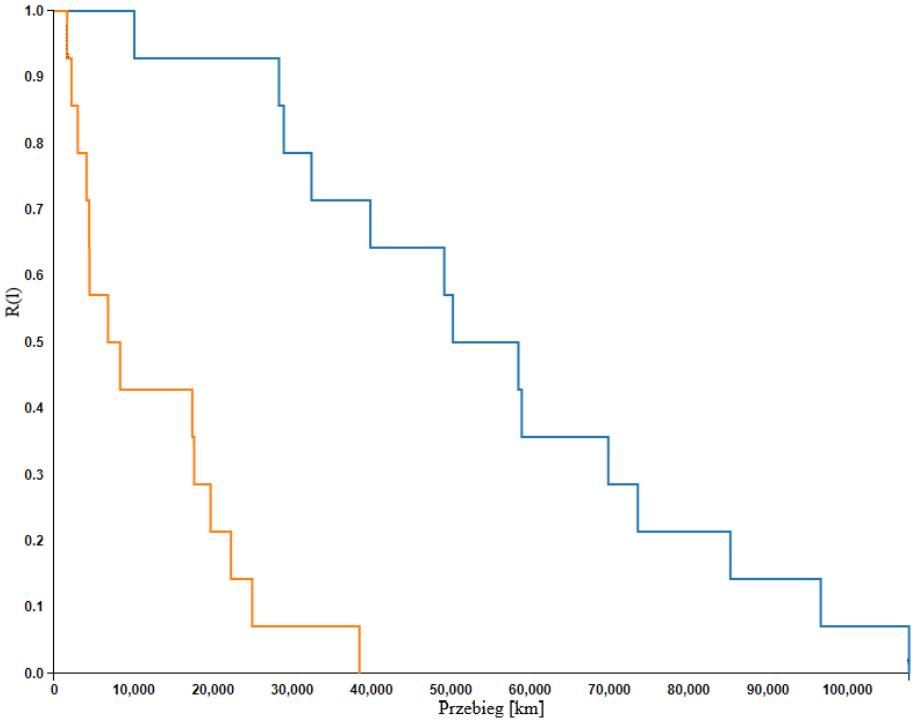
oraz zobrazowano na rysunku 8.14 pomarańczową linią.

Dopasowanie rozkładu teoretycznego funkcji niezawodności do empirycznej funkcji niezawodności oceniono za pomocą obliczonego współczynnika determinacji [103]. Jego wartość w przypadku charakterystyk wyznaczonych dla modelu X wyniosła $R^2 = 0.94$, zatem dopasowanie to można uznać za dobre.



Rys. 8.14 Wykres funkcji niezawodności dla pojazdów modelu X

Empiryczną funkcję niezawodności wyznaczono również wykorzystując estymator Kaplana-Meiera [86, 114], który jest narzędziem statystycznym wykorzystywanym w analizie czasu do zdarzenia, i który w odróżnieniu od wyznaczonych wcześniej na podstawie wzoru (3.6) charakterystyk, opisuje wszystkie pojedyncze zdarzenia (awarie), a nie łączną liczbę awarii, które wystąpiły w danym przedziale przebiegu.

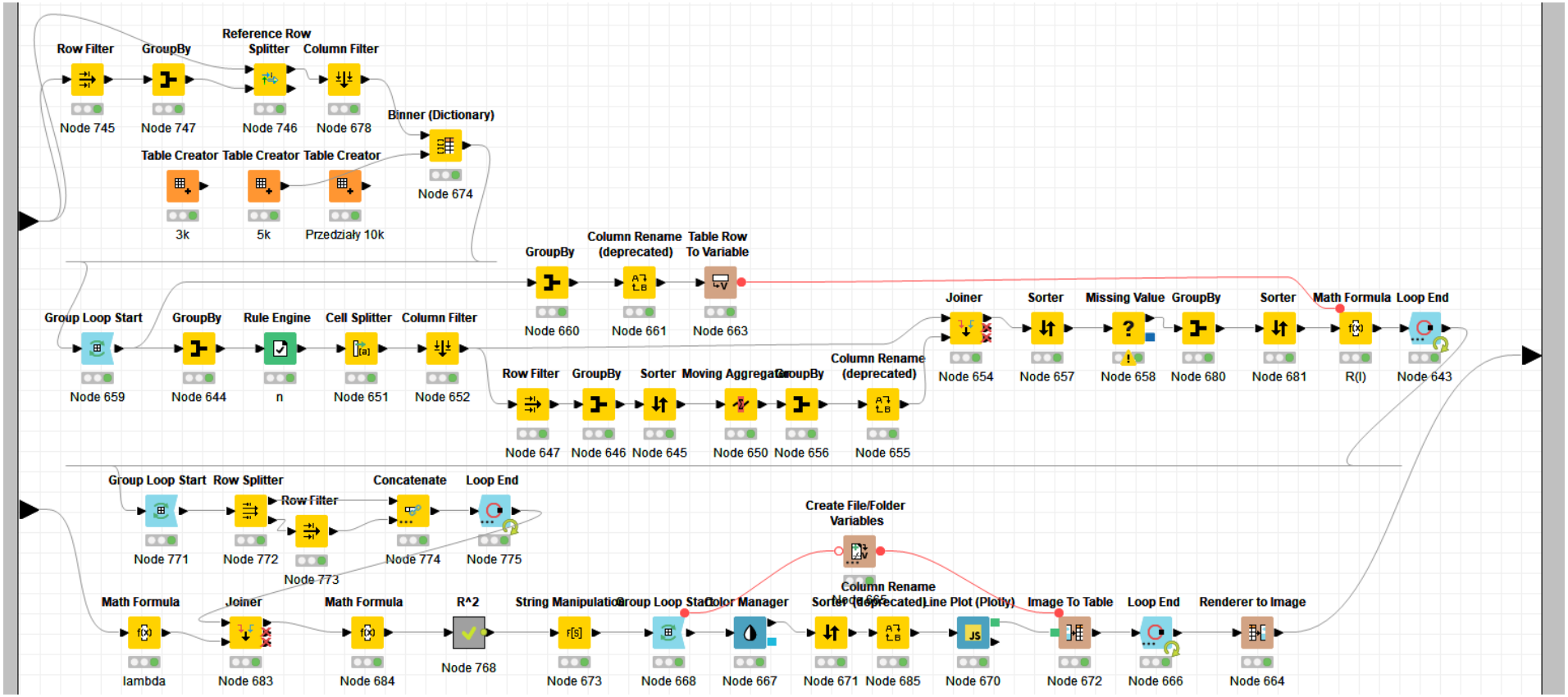


Rys. 8.15 Wykres funkcji niezawodności wyznaczonej estymatorem Kaplana-Meiera dla pojazdów modeli X i Y

Na rysunku 8.15 przedstawiono wykresy funkcji niezawodności wyznaczonej z wykorzystaniem estymatora Kaplana-Meiera dla 14 losowo wybranych pojazdów modelu X (niebieska linia) oraz 14 pojazdów modelu Y (pomarańczowa linia). Prawdopodobieństwo bezawaryjnej pracy, mierzone do pierwszego uszkodzenia, zostało na powyższym wykresie odniesione do przebiegu kilometrowego pojazdów. Zestawiając na jednym wykresie funkcje niezawodności wyznaczone dla różnych modeli pojazdów, można w prosty sposób porównywać, dla którego modelu pojazdów wolniej następuje spadek wartości prawdopodobieństwa bezawaryjnej pracy. Jest to jeden z elementów stworzonego modelu eksperckiego, który może zostać wykorzystany, np. jako jedno z kryteriów [115] branych pod uwagę, w trakcie podejmowania decyzji o wyborze najlepszego modelu pojazdów w kontekście przyszłego zakupu.

Porównując wartości funkcji niezawodności dla obu tych modeli pojazdów można zauważyć, że przy takiej samej liczbie badanych pojazdów, niezawodność wyraźnie szybciej spada w przypadku samochodów modelu Y, stąd kryterium niezawodności, badanej do pierwszego uszkodzenia, zdecydowanie lepiej realizują środki transportu modelu X.

Na rysunku 8.16 przedstawiono graf programu KNIME reprezentujący proces wyznaczania funkcji niezawodności dla badanych pojazdów. Podobnie jak w przypadku funkcji intensywności uszkodzeń, zbudowana aplikacja w automatyczny sposób oblicza wartości funkcji niezawodności oraz generuje odpowiednie wykresy dla wszystkich modeli badanych pojazdów.



Rys. 8.16 Graf programu KNIME reprezentujący proces wyznaczania funkcji niezawodności dla badanych pojazdów

8.4 Ocena wpływu stylu jazdy kierowców na czas przebywania pojazdu w naprawie

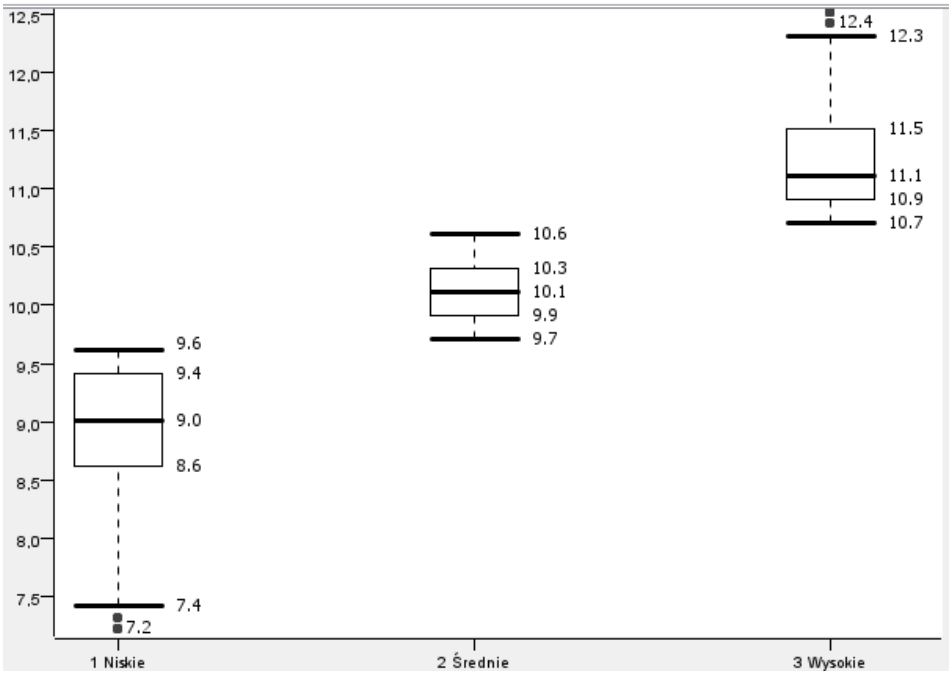
W pracy doktorskiej, na podstawie analizy stanu zagadnienia, założono, że jednym z istotnych czynników mających wpływ na czas przebywania pojazdu w naprawie, jest styl jazdy kierowców prowadzących dany pojazd. Zatem, aby ocenić czy faktycznie istnieje taka zależność przeprowadzono procedurę analizy posiadanych danych, która została opisana poniżej.

Styl jazdy kierowców został oceniony na podstawie średniego zużycia paliwa na 100 km jakie osiągali kierowcy jeżdżąc pojazdami danego modelu. W tabeli „Użytkowanie" zbudowanej bazy danych, zgromadzone zostały informacje o tym, jaki dystans przejechał określony kierowca w ciągu jednego dnia danym pojazdem oraz jaką ilość paliwa zużył na przejechanie tego dystansu. Na podstawie tych danych obliczono średnie spalanie paliwa w dm^3 na 100 km, korzystając ze wzoru:

$$\mathrm{FC} = \frac{\mathrm{C} \cdot 100}{\mathrm{l}} \quad \left[\frac{dm^3}{100\ \mathrm{km}}\right] \tag{8.3}$$

W przypadku wszystkich, badanych pojazdów modelu X, zarejestrowano ponad 34000 dziennych przebiegów, dla których obliczono średnie spalanie paliwa w dm^3/100 km. Obliczone na podstawie wzoru (8.3) wartości średniego spalania zaokrąglono do jednego miejsca po przecinku.

Następnie wszystkie, obliczone w opisany wyżej sposób wartości średniego spalania paliwa, przypisane do poszczególnych dziennych przebiegów pojazdów danego modelu, podzielono, uwzględniając opinie kierownictwa PP, na trzy równe pod względem liczebności grupy, które nazwano dalej klasami spalania: „niskie", „średnie" i „wysokie". Zakres wartości spalania paliwa dla każdej z klas spalania przedstawiono na rysunku 8.17 w postaci wykresu typu ramka-wąsy.



Rys. 8.17 Zakres wartości spalania paliwa w dm^3/100 km w każdej z trzech klas spalania dla pojazdów modelu X

Na powyższym wykresie pojedyncze punkty, znajdujące się poza wąsami, oznaczają wybrane wartości odstające i ekstremalne spalania paliwa. Wartości ekstremalne spalania paliwa powstają np. wtedy, gdy kierowca przejechał danym pojazdem, w ciągu dnia, niewielką liczbę kilometrów (np. 4 km) i wpisał do karty pracy przybliżoną ilość zużytego paliwa (np. 1 dm^3). Jednak w całym zbiorze danych liczba takich przypadków jest znikoma. Dolne i górne wąsy wykresu oznaczają odpowiednio wartości minimalne i maksymalne z zakresu wartości nieodstających. Ramki wykresu oznaczają pierwszy i trzeci kwartyl, a środkowa linia reprezentuje medianę.

Szczegółowe wartości wybranych parametrów statystycznych opisujących spalanie paliwa, wyrażone w dm^3/100 km, dla każdej z trzech klas przedstawiono w tabeli 8.3.

Tab. 8.3 Wybrane wartości statystyczne spalania paliwa dla każdej z trzech klas spalania, dla pojazdów modelu X wyrażone w dm^3/100 km

	Niskie	**Średnie**	**Wysokie**
Minimum	4.0	9.7	10.7
Dolny wąs	7.4	9.7	10.7
Dolny kwartyl	8.6	9.9	10.9
Średnia	8.9	10.1	11.5
Mediana	9.0	10.1	11.1
Górny kwartyl	9.4	10.3	11.5
Górny wąs	9.6	10.6	12.3
Maximum	9.6	10.6	29.9

Źródło: opracowanie własne.

W opisany powyżej sposób do każdego dziennego przebiegu samochodu została przypisana klasa spalania paliwa z jaką ten przebieg został wykonany. Czynność tą przeprowadzono dla wszystkich badanych pojazdów danego modelu.

Kolejnym krokiem było zsumowanie, dla każdego pojazdu osobno, liczby kilometrów jaką przejechał dany pojazd łącznie, ze średnim spalaniem paliwa właściwym dla każdej z trzech opisanych klas spalania. Przy czym przebiegi te zliczano tylko do czasu ostatniej naprawy danego pojazdu. Sumaryczne liczby przejechanych kilometrów jakie poszczególne pojazdy modelu X, przebyły ze średnim spalaniem właściwym dla każdej z trzech klas spalania przedstawiono w załączniku 4.

Następnie obliczono dla wszystkich badanych pojazdów danego modelu, jakie udziały stanowią przebiegi wykonane ze spalaniem właściwym dla poszczególnych klas spalania, w stosunku do przebiegu całkowitego danego pojazdu. Do wyznaczenia tych udziałów wykorzystano wzór:

$$\theta_x = \frac{L_{sx}}{L_c} \tag{8.4}$$

W dalszej części pracy, „x" z podanego wzoru zastąpiono odpowiednio oznaczeniem „n" dla klasy spalania niskiego, „śr" dla klasy spalania średniego i „w" dla klasy spalania wysokiego. Obliczone wartości tych udziałów dla badanych pojazdów modelu X przedstawiono w załączniku 5.

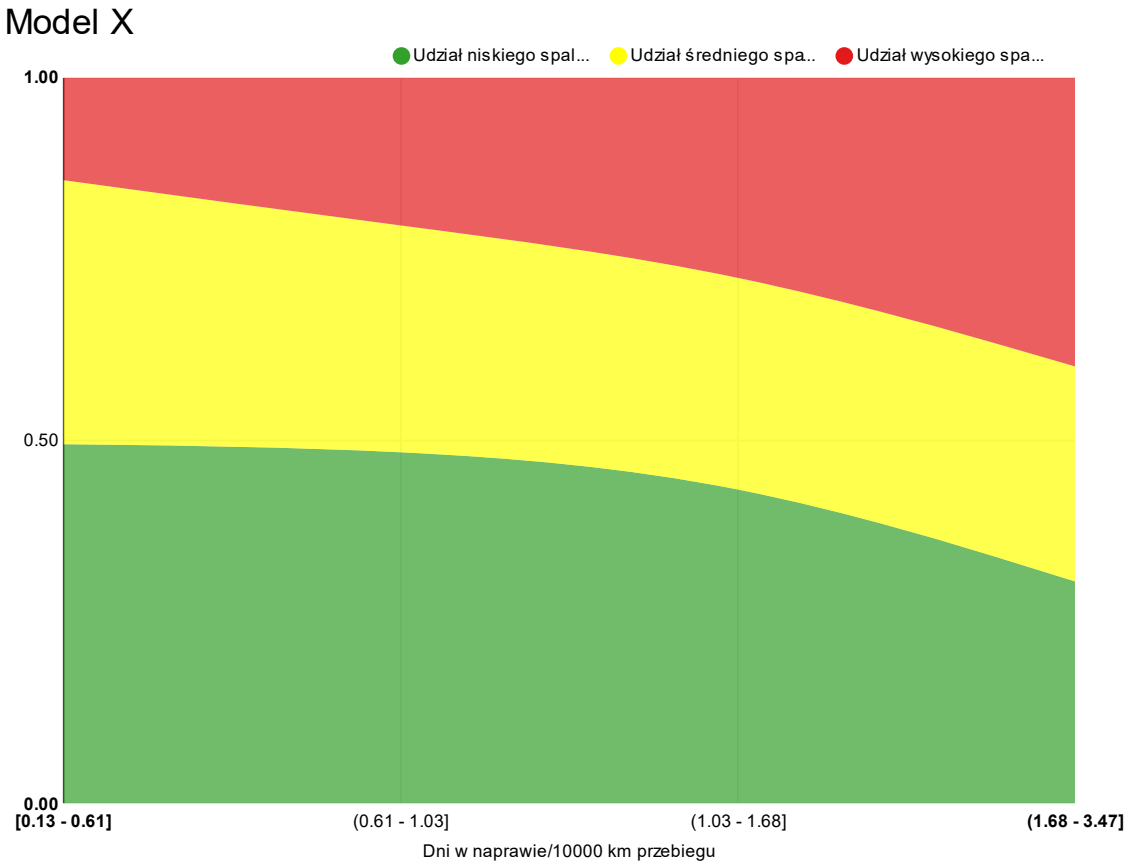
W kolejnym kroku obliczono, ile średnio dni roboczych, przebywał każdy z badanych pojazdów w naprawie, w przeliczeniu na 10 tys. przejechanych kilometrów. Do tego celu wykorzystano zależność:

$$D_{NP} = \frac{\sum d_n \cdot 10000}{L_c} \left[\frac{\text{dni}}{10000\ \text{km}}\right] \tag{8.5}$$

Obliczone wartości liczby dni w naprawie na 10 tys. km przebiegu dla badanych pojazdów modelu X przedstawiono w załączniku 5. W przypadku pojazdów modelu X, wartości parametru D_{NP} zawierały się w przedziale od 0.127 do 3.466 dnia na 10 tys. przejechanych kilometrów. Wartości te podzielono na cztery przedziały tak, aby w każdym z przedziałów znalazła się zbliżona liczba badanych pojazdów.

Następnie dla wszystkich zakwalifikowanych do danego przedziału pojazdów, obliczono wartość średnią udziałów przebiegów wykonanych ze spalaniem właściwym dla każdej z trzech klas spalania.

Średnie udziały przebiegów wykonanych ze spalaniem paliwa właściwym dla poszczególnych klas spalania, w każdym z czterech przedziałów czasu przebywania pojazdów w naprawie na 10 tys. przejechanych kilometrów, zobrazowano za pomocą wykresu obszarowego na rysunku 8.18.



Rys. 8.18 Udziały przebiegów pojazdów wykonanych ze spalaniem paliwa właściwym dla każdej z trzech klas spalania, w stosunku do czasu przebywania pojazdu w naprawie, dla pojazdów modelu X

Analizując powyższy wykres można zauważyć, że istnieje wyraźna zależność, pomiędzy udziałami przebiegów wykonanych z wysokim i niskim spalaniem paliwa, a czasem przebywania pojazdów w naprawie.

Siłę zależności pomiędzy udziałami przebiegów wykonanych ze spalaniem właściwym dla poszczególnych klas spalania, a czasem przebywania pojazdu w naprawie przeliczonym na 10 tys. przejechanych kilometrów, oceniono za pomocą współczynnika korelacji liniowej Pearsona. Poziom istotności statystycznej przyjęty w analizie korelacji wynosi p=0.05. Uzyskane wartości parametrów analizy korelacji dla badanych pojazdów modelu X przedstawiono w tabeli 8.4.

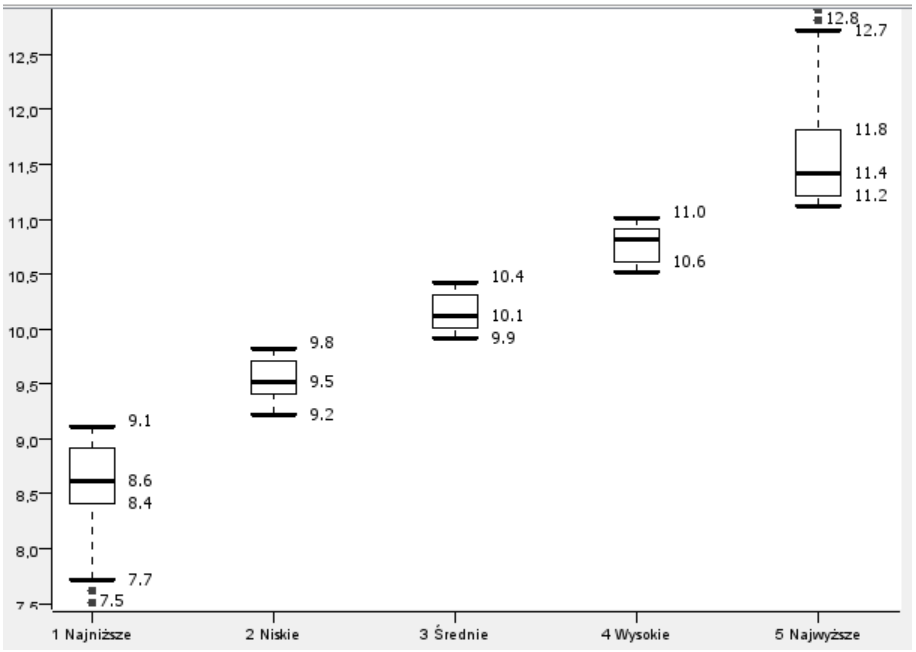
Tab. 8.4 Otrzymane wartości parametrów analizy korelacji pomiędzy udziałami przebiegów pojazdów wykonanych ze spalaniem właściwym dla każdej z trzech klas spalania, a czasem przebywania pojazdu w naprawie dla pojazdów modelu X

Udziały przebiegów wykonanych w danej klasie spalania	Wartość korelacji	Wartość p	Liczba stopni swobody
Udział przebiegów w klasie niskiego spalania	-0.29	0.05	41
Udział przebiegów w klasie średniego spalania	-0.12	0.45	41
Udział przebiegów w klasie wysokiego spalania	0.41	0.01	41

Źródło: opracowanie własne.

Z otrzymanych wartości współczynnika korelacji oraz wartości p wynika, że istnieje statystycznie istotna korelacja pomiędzy udziałem przebiegów pojazdów wykonanych z wysokim i niskim spalaniem paliwa, a czasem przebywania pojazdu w naprawie, natomiast udział przebiegów wykonanych ze średnim spalaniem paliwa nie ma na ten czas statystycznie istotnego wpływu. Można również zauważyć, że udział przebiegów wykonanych z wysokim spalaniem paliwa, ma większy wpływ na czas przebywania pojazdu w naprawie niż udział przebiegów wykonanych z niskim spalaniem paliwa.

W celu dokładniejszego zbadania, które wartości spalania paliwa mają największy wpływ na czas przebywania pojazdu w naprawie, zdecydowano się powtórzyć opisaną powyżej procedurę, ale tym razem dzieląc wartości spalania paliwa, obliczone za pomocą wzoru (8.3), na pięć równych pod względem liczebności grup. Dlatego do wymienionych wcześniej trzech klas spalania, dołączono jeszcze dwie klasy: „najniższe” i „najwyższe”.



Rys. 8.19 Zakres wartości spalania paliwa w $dm^3/100$ km w każdej z pięciu klas spalania dla pojazdów modelu X

Na rysunku 8.19 przedstawiono zakres wartości spalania paliwa dla każdej z pięciu klas spalania. Szczegółowe wartości wybranych parametrów statystycznych opisujących spalanie paliwa dla każdej z pięciu klas przedstawiono w tabeli 8.5.

Tab. 8.5 Wybrane wartości statystyczne spalania paliwa dla każdej z pięciu klas spalania, dla pojazdów modelu X wyrażone w dm^3/100 km

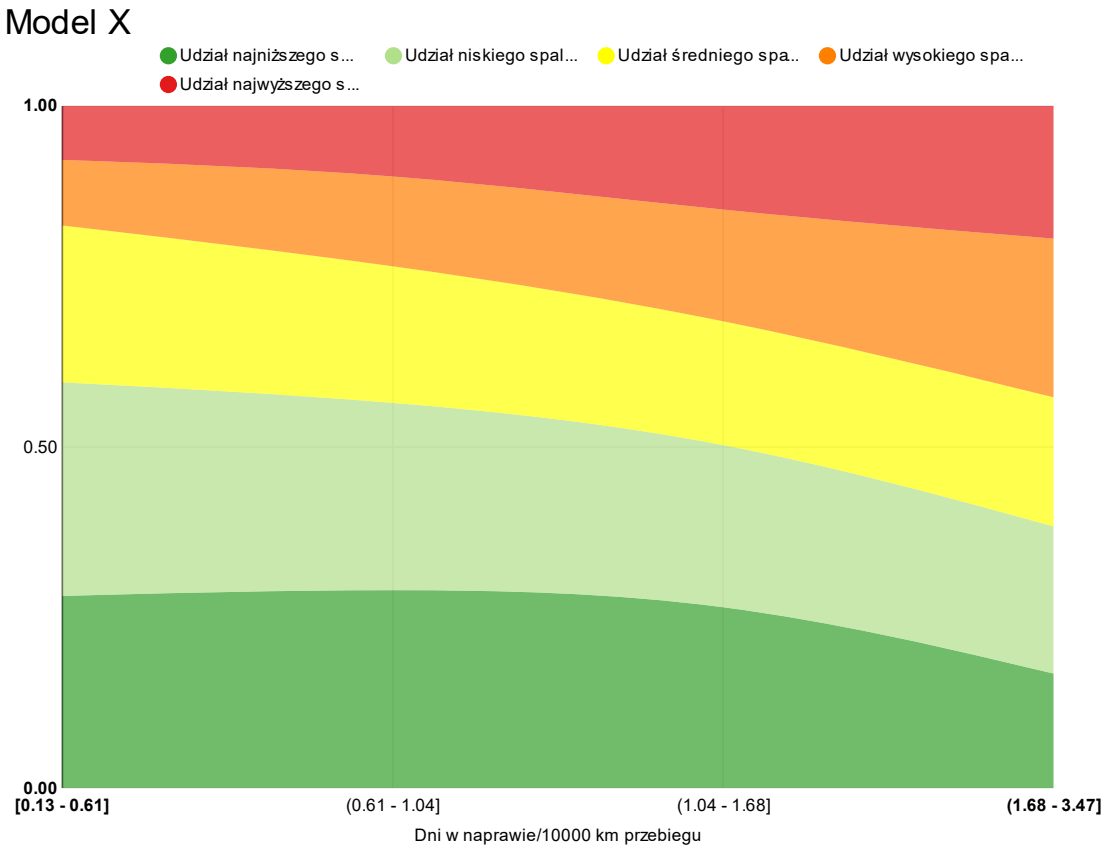
	Najniższe	Niskie	Średnie	Wysokie	Najwyższe
Minimum	4.0	9.2	9.9	10.5	11.1
Dolny wąs	7.7	9.2	9.9	10.5	11.1
Dolny kwartyl	8.4	9.4	10.0	10.6	11.2
Średnia	8.5	9.5	10.1	10.8	12.0
Mediana	8.6	9.5	10.1	10.8	11.4
Górny kwartyl	8.9	9.7	10.3	10.9	11.8
Górny wąs	9.1	9.8	10.4	11.0	12.7
Maximum	9.1	9.8	10.4	11.0	29.9

Źródło: opracowanie własne.

Następnie, podobnie jak wcześniej obliczono, dla każdego pojazdu osobno, liczbę kilometrów jaką przejechał dany pojazd łącznie, ze spalaniem właściwym dla każdej z pięciu opisanych klas spalania paliwa. Otrzymane wartości przebiegów jakie przebyły poszczególne pojazdy modelu X, ze spalaniem paliwa zaklasyfikowanym do każdej z pięciu klasach spalania, przedstawiono w załączniku 6.

Udziały przebiegów przypisanych do poszczególnych klas spalania paliwa, w stosunku do przebiegu całkowitego danego pojazdu, obliczono ponownie na podstawie wzoru (8.4) przy czym „x" z tego wzoru, zastąpiono dalej dodatkowo oznaczeniem „nn" dla spalania najniższego i „nw" dla spalania najwyższego. Obliczone wartości tych udziałów dla pojazdów modelu X przedstawiono w załączniku 7.

Wartości średniej ilości dni roboczych, jaką przebywa dany pojazd w naprawie, w przeliczeniu na 10 tys. przejechanych kilometrów są takie same jak w poprzednim przypadku (załącznik 5), dlatego też pozostawiono taki sam podział tych wartości na cztery przedziały. Natomiast od nowa obliczono dla wszystkich pojazdów zakwalifikowanych do danego przedziału, wartość średnią udziałów przebiegów przypisanych do poszczególnych klas spalania paliwa. Udziały przebiegów wykonanych ze spalaniem właściwym dla pięciu klas spalania, w stosunku do czasu przebywania pojazdu w naprawie przedstawiono na rysunku 8.20.



Rys. 8.20 Udziały przebiegów wykonanych ze spalaniem paliwa właściwym dla każdej z pięciu klas spalania, w stosunku do czasu przebywania pojazdu w naprawie, dla pojazdów modelu X

Siłę zależności pomiędzy udziałami przebiegów przypisanych do każdej z pięciu klas spalania, a czasem przebywania pojazdu w naprawie na 10 tys. przejechanych kilometrów, oceniono ponownie za pomocą współczynnika korelacji liniowej Pearsona. Uzyskane wartości parametrów analizy korelacji dla pojazdów modelu X przedstawiono w tabeli 8.6.

Tab. 8.6 Otrzymane wartości parametrów analizy korelacji pomiędzy udziałami przebiegów pojazdów wykonanych ze spalaniem właściwym dla każdej z pięciu klas spalania, a czasem przebywania pojazdu w naprawie dla pojazdów modelu X

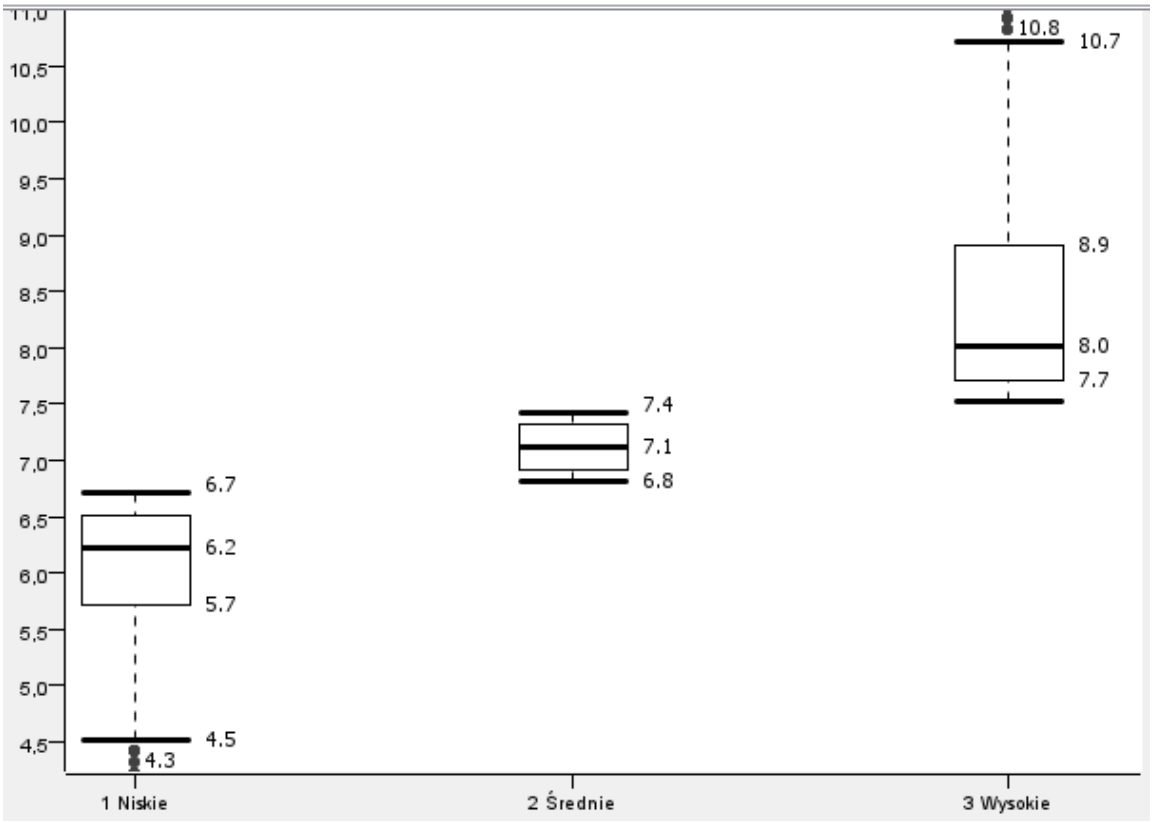
Udziały przebiegów wykonanych w danej klasie spalania	**Wartość korelacji**	**Wartość p**	**Liczba stopni swobody**
Udział przebiegów w klasie najniższego spalania	-0.18	0.237	41
Udział przebiegów w klasie niskiego spalania	-0.27	0.077	41
Udział przebiegów w klasie średniego spalania	-0.12	0.456	41
Udział przebiegów w klasie wysokiego spalania	0.35	0.023	41
Udział przebiegów w klasie najwyższego spalania	0.44	0.003	41

Źródło: opracowanie własne.

Z otrzymanych wartości współczynnika korelacji i wartości p, wynika, że statystycznie istotna korelacja, pomiędzy udziałami przebiegów pojazdów, przypisanymi do poszczególnych klas spalania, a czasem przebywania pojazdu w naprawie, występuje dla przebiegów wykonanych z wysokim i najwyższym spalaniem. Przy czym zależność udziału przebiegów wykonanych z najwyższym spalaniem na czas przebywania pojazdu w naprawie jest najsilniejsza.

Można stąd wyciągnąć wniosek, że skrócenie czasu przebywania pojazdu w naprawie może być zrealizowane poprzez obniżenie udziału przebiegów wykonanych z wysoką wartością spalania paliwa. Aby to zrealizować należy wytypować grono kierowców osiągających najwyższe wartości spalania paliwa na pojazdach i zorganizować dla nich szkolenie z zakresu ekonomicznej jazdy.

Aby sprawdzić, czy podobne zależności wpływu stylu jazdy kierowców na czas przebywania pojazdu w naprawie, występują również w przypadku innych modeli pojazdów, analogiczną procedurę oceny, wykonano też dla pojazdów modelu Y, których liczebność była druga w kolejności i wynosiła 14 samochodów.



Rys. 8.21 Zakres wartości spalania paliwa w dm^3/100 km w każdej z trzech klas spalania dla pojazdów modelu Y

Zakres wartości średniego spalania paliwa przez pojazdy modelu Y, dla każdej z trzech klas spalania przedstawiono na rysunku 8.21. Szczegółowe wartości wybranych parametrów statystycznych opisujących spalanie pojazdów modelu Y, dla każdej z trzech klas przedstawiono w tabeli 8.7.

Tab. 8.7 Wybrane wartości statystyczne spalania paliwa dla każdej z trzech klas spalania, dla pojazdów modelu Y wyrażone w dm^3/100 km

	Niskie	**Średnie**	**Wysokie**
Minimum	4.0	6.8	7.5
Dolny wąs	4.5	6.8	7.5
Dolny kwartyl	5.7	6.9	7.7
Średnia	6.1	7.1	8.9
Mediana	6.2	7.1	8.0
Górny kwartyl	6.5	7.3	8.9
Górny wąs	6.7	7.4	10.7
Maximum	6.7	7.4	28.1

Źródło: opracowanie własne.

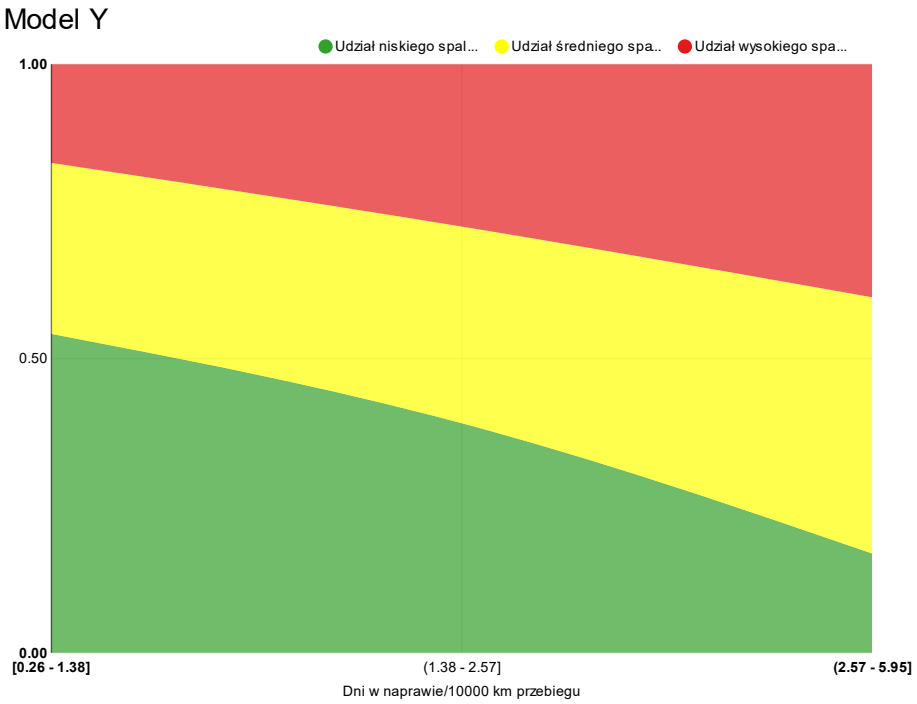
Sumaryczną liczbę kilometrów jaką przejechał dany pojazd modelu Y, z wartością spalania paliwa właściwą dla każdej z trzech klas spalania podano w załączniku 8.

Udziały przebiegów samochodów, wykonanych z wartością spalania paliwa przypisaną do każdej z trzech klasach spalania, w stosunku do przebiegu całkowitego danego pojazdu, obliczone na podstawie wzoru (8.4), podano w załączniku 9.

Liczbę dni roboczych, jaką przebywa dany pojazd modelu Y w naprawie, w przeliczeniu na 10 tys. przejechanych kilometrów, obliczoną na podstawie wzoru (8.5), podano również w załączniku 9. Ponieważ badanych pojazdów modelu Y było tylko 14, to obliczone wartości średniej liczby dni w naprawie na 10 tys. km przebiegu pojazdu, podzielono na trzy przedziały tak, aby w każdym z przedziałów znalazła się zbliżona liczba samochodów.

Następnie dla wszystkich środków transportu zakwalifikowanych do danego przedziału, obliczono wartość średnią udziałów przebiegów wykonanych ze spalaniem paliwa właściwym dla każdej z trzech klas spalania.

Średnie udziały przebiegów wykonanych ze spalaniem właściwym dla poszczególnych klas spalania, w stosunku do czasu przebywania pojazdu w naprawie przedstawiono na rysunku 8.22.



Rys. 8.22 Udziały przebiegów wykonanych ze spalaniem paliwa właściwym dla każdej z trzech klas spalania, w stosunku do czasu przebywania pojazdu w naprawie, dla pojazdów modelu Y

Analizując powyższy wykres można zauważyć, że podobnie jak w przypadku samochodów modelu X, istnieje wyraźna zależność pomiędzy udziałami przebiegów wykonanych z wysokim i niskim spalaniem paliwa, a czasem przebywania pojazdów w naprawie.

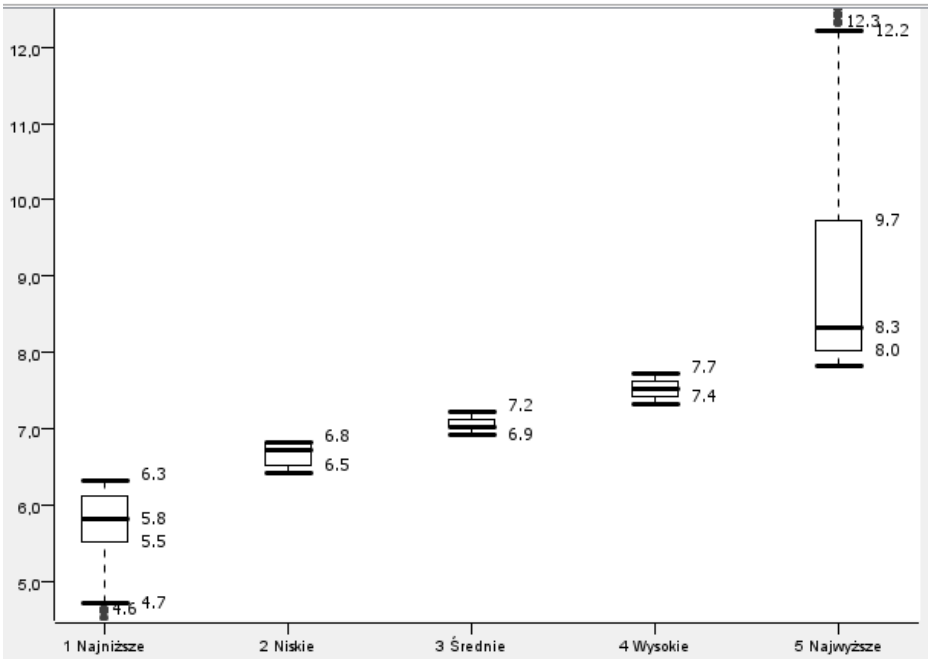
Siłę zależności pomiędzy udziałami przebiegów wykonanych ze spalaniem właściwym dla każdej z trzech klas spalania, a czasem przebywania pojazdu w naprawie na 10 tys. przejechanych kilometrów, oceniono za pomocą współczynnika korelacji liniowej Pearsona. Poziom istotności przyjęto taki sam jak w przypadku analizy wykonanej dla pojazdów modelu X (p=0.05). Uzyskane wartości parametrów analizy korelacji dla pojazdów modelu Y przedstawiono w tabeli 8.8.

Tab. 8.8 Otrzymane wartości parametrów analizy korelacji pomiędzy udziałami przebiegów pojazdów wykonanych ze spalaniem właściwym dla każdej z trzech klas spalania, a czasem przebywania pojazdu w naprawie dla pojazdów modelu Y

Udziały przebiegów wykonanych w danej klasie spalania	**Wartość korelacji**	**Wartość p**	**Liczba stopni swobody**
Udział przebiegów w klasie niskiego spalania	-0.60	0.02	12
Udział przebiegów w klasie średniego spalania	0.47	0.09	12
Udział przebiegów w klasie wysokiego spalania	0.63	0.02	12

Źródło: opracowanie własne.

Z otrzymanych wartości współczynnika korelacji oraz wartości p wynika, że podobnie jak w przypadku pojazdów modelu X, istnieje statystycznie istotna korelacja pomiędzy udziałami przebiegów pojazdów wykonanych z wysokim i niskim spalania, a czasem przebywania pojazdu w naprawie, natomiast udział przebiegów wykonanych ze średnim spalaniem nie ma na ten czas statystycznie istotnego wpływu. W porównaniu do pojazdów modelu X, wartość korelacji pomiędzy udziałem przebiegów wykonanych z wysokim i niskim spalaniem paliwa, a czasem przebywania pojazdu w naprawie jest wyższa.



Rys. 8.23 Zakres wartości spalania paliwa w dm^3/100 km w każdej z pięciu klas spalania dla pojazdów modelu Y

Na rysunku 8.23 przedstawiono zakres wartości spalania paliwa przez samochody modelu Y, w przypadku podziału na pięć klas spalania. Szczegółowe wartości wybranych parametrów statystycznych opisujących spalanie paliwa dla każdej z pięciu klas spalania przedstawiono w tabeli 8.9.

Tab. 8.9 Wybrane wartości statystyczne spalania paliwa dla każdej z pięciu klas spalania, dla pojazdów modelu Y wyrażone w dm^3/100 km

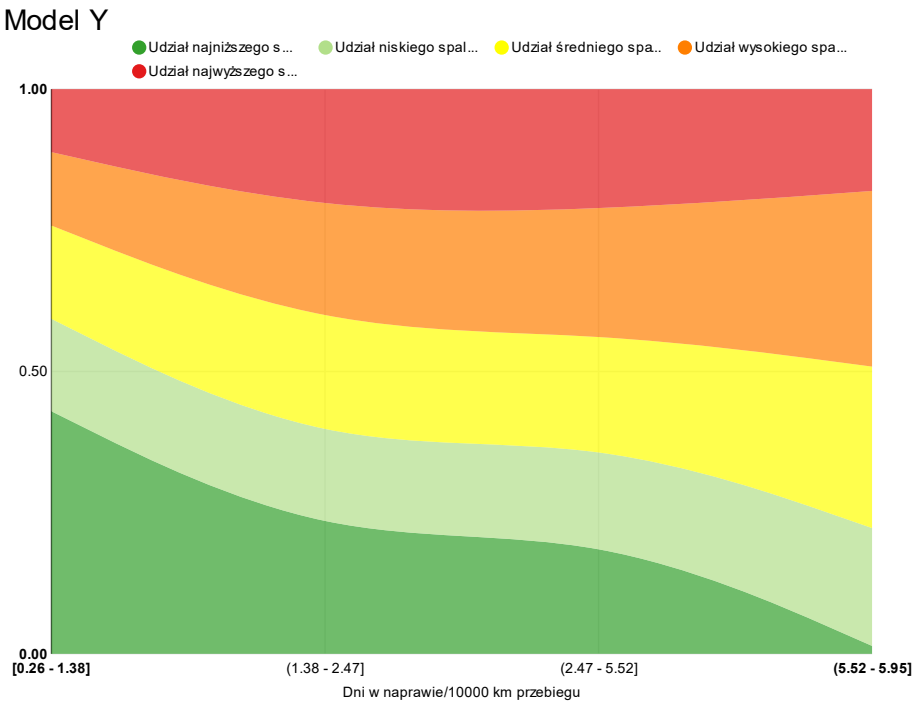
	Najniższe	**Niskie**	**Średnie**	**Wysokie**	**Najwyższe**
Minimum	4.0	6.4	6.9	7.3	7.8
Dolny wąs	4.7	6.4	6.9	7.3	7.8
Dolny kwartyl	5.5	6.5	7.0	7.4	8.0
Średnia	5.7	6.6	7.0	7.5	9.7
Mediana	5.8	6.7	7.0	7.5	8.3
Górny kwartyl	6.1	6.8	7.1	7.6	9.7
Górny wąs	6.3	6.8	7.2	7.7	12.2
Maximum	6.3	6.8	7.2	7.7	28.1

Źródło: opracowanie własne.

Sumaryczną liczbę kilometrów jaką przejechał dany pojazd modelu Y, ze spalaniem właściwym dla każdej z pięciu klas spalania podano w załączniku 10.

Udziały przebiegów przypisanych do każdej z pięciu klas spalania paliwa, w stosunku do przebiegu całkowitego danego pojazdu, obliczone na podstawie wzoru (8.4), podano w załączniku 11.

Wartości średniej liczby dni roboczych, jaką przebywa dany pojazd modelu Y w naprawie, w przeliczeniu na 10 tys. przejechanych kilometrów, są takie same jak w poprzednim przypadku (załącznik 9). Wartości te podzielono na cztery przedziały tak, aby w każdym z przedziałów znalazła się zbliżona liczba pojazdów. W kolejnym kroku dla wszystkich pojazdów modelu Y, zakwalifikowanych do danego przedziału, obliczono wartość średnią udziałów przebiegów przypisanych do każdej z pięciu klas spalania paliwa. Średnią wartość udziałów przebiegów wykonanych ze spalaniem właściwym dla każdej z pięciu klas spalania, w stosunku do czasu przebywania pojazdu w naprawie przedstawiono na rysunku 8.24.



Rys. 8.24 Udziały przebiegów wykonanych ze spalaniem paliwa właściwym dla każdej z pięciu klas spalania w stosunku do czasu przebywania pojazdu w naprawie, dla pojazdów modelu Y

Siłę zależności pomiędzy udziałami przebiegów przypisanych do każdej z pięciu klas spalania paliwa, a czasem przebywania samochodu w naprawie na 10 tys. przejechanych kilometrów, oceniono ponownie za pomocą współczynnika korelacji liniowej Pearsona. Uzyskane wartości parametrów analizy korelacji dla pojazdów modelu Y przedstawiono w tabeli 8.10.

Tab. 8.10 Otrzymane wartości parametrów analizy korelacji pomiędzy udziałami przebiegów pojazdów wykonanych ze spalaniem właściwym dla każdej z pięciu klas spalania, a czasem przebywania pojazdu w naprawie dla pojazdów modelu Y

Udziały przebiegów wykonanych w danej klasie spalania	Wartość korelacji	Wartość p	Liczba stopni swobody
Udział przebiegów w klasie najniższego spalania	-0.55	0.04	12
Udział przebiegów w klasie niskiego spalania	0.23	0.42	12
Udział przebiegów w klasie średniego spalania	0.49	0.07	12
Udział przebiegów w klasie wysokiego spalania	0.60	0.02	12
Udział przebiegów w klasie najwyższego spalania	0.52	0.05	12

Źródło: opracowanie własne.

Z otrzymanych wartości współczynnika korelacji i wartości p, wynika, że statystycznie istotna korelacja, pomiędzy udziałami przebiegów samochodów, przypisanymi do poszczególnych klas spalania paliwa, a czasem przebywania pojazdu w naprawie, występuje dla przebiegów wykonanych z najniższym, wysokim i najwyższym spalaniem.

Podsumowując, z otrzymanych wyników opisanej powyżej analizy wynika, że w przypadku podziału spalania paliwa na trzy klasy, dla obu badanych modeli pojazdów, zachodzi wyraźna korelacja pomiędzy udziałami przebiegów pojazdów, wykonanych z wysokim oraz niskim spalaniem paliwa, a czasem przebywania pojazdów w naprawie, przy czym w przypadku wysokiego spalania paliwa korelacja ta jest silniejsza.

W przypadku podziału spalania paliwa na pięć klas, istotna korelacja pomiędzy udziałami przebiegów pojazdów, przypisanych do poszczególnych klas spalania paliwa, a czasem przebywania pojazdów w naprawie, dla obu badanych modeli pojazdów, zachodzi tylko w przypadku klas wysokiego i najwyższego spalania paliwa, a w przypadku samochodów modelu Y również dla klasy najniższego spalania.

W związku z tym wydaje się, że podział spalania paliwa na trzy klasy jest odpowiedni oraz, że największy wpływ na czas przebywania pojazdu w naprawie mają przebiegi wykonane z wysokim spalaniem tj. właściwym dla agresywnego stylu jazdy.

8.5 Badania symulacyjne

Na podstawie opisanej (w poprzednim podrozdziale) oceny wpływu stylu jazdy kierowców na czas przebywania pojazdu w naprawie, wykazano, że im większy jest udział przebiegów pojazdów wykonanych z agresywnym stylem jazdy, tym dłuższy jest czas przebywania tych środków transportu w naprawie. W związku z tym, wykonana została symulacja mająca na celu określenie, o ile można by potencjalnie skrócić czas wyłączenia pojazdu z użytkowania, wynikający z przebywania pojazdu w naprawie, poprzez zmniejszenie udziałów przebiegów samochodów wykonanych z agresywnym stylem jazdy. Symulacja została przeprowadzona na podstawie danych, w których styl jazdy kierowców został podzielony na trzy klasy, a wyniki tej symulacji przedstawiono dla pojazdów modelu X i Y.

W pierwszym kroku, w celu obliczenia całkowitego czasu przebywania w naprawie wszystkich badanych pojazdów danego modelu, wykorzystano zależność:

$$\mathrm{d_n} = \frac{\overline{\mathrm{D_{NP}}} \cdot \overline{\mathrm{L}} \cdot \mathrm{N(0)}}{10000}\ [\mathrm{dni}] \tag{8.6}$$

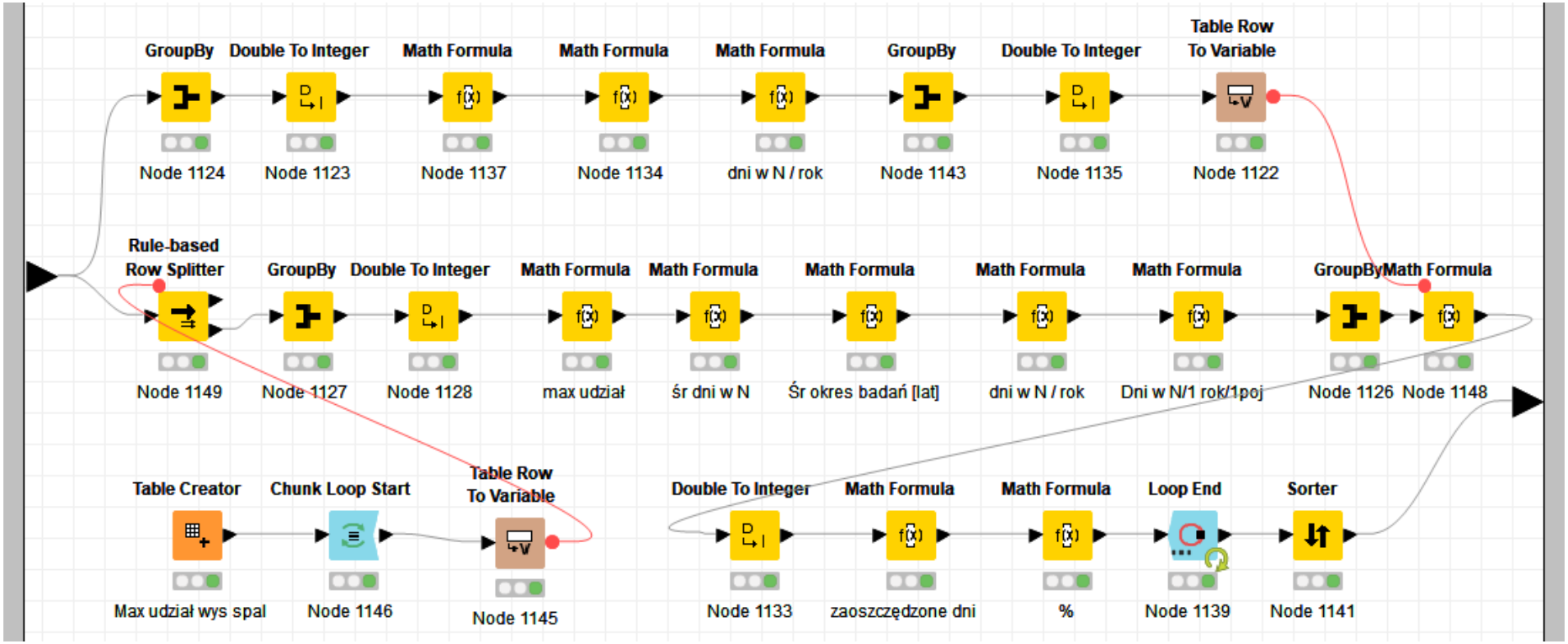
Ponieważ różne pojazdy w badanym okresie były eksploatowane przez różną liczbę dni, wyniki dalszych obliczeń zostały przeliczone na 1 rok eksploatacji, przyjmując że w ciągu roku jest 250 dni roboczych w czasie których pojazdy są użytkowane. Stąd średni okres eksploatacji wyrażony w latach wyznaczono z zależności:

$$\overline{\mathrm{O}} = \frac{\overline{\mathrm{d_u}}}{250}\ [\mathrm{lat}] \tag{8.7}$$

Następnie obliczono średnią liczbę dni przebywania w naprawie w ciągu roku w przeliczeniu na 1 pojazd:

$$\overline{\mathrm{d_{n/1rok}}} = \frac{\mathrm{d_n}}{\overline{\mathrm{O}} \cdot \mathrm{N(0)}}\ \left[\frac{\mathrm{dni}}{\mathrm{rok}}\right] \tag{8.8}$$

Na rysunku 8.25 przedstawiono stworzony graf programu KNIME reprezentujący proces przeprowadzania opisanej symulacji.



Rys. 8.25 Graf programu KNIME reprezentujący proces przeprowadzania symulacji wyznaczania czasu przebywania pojazdów w naprawie

Aby określić jak zmienia się średni czas przebywania pojazdów w naprawie w ciągu roku, w zależności od wielkości udziału przebiegów pojazdów wykonanych z wysokim spalaniem, opisaną wyżej procedurę powtarzano odfiltrowując kolejno ze zbioru wszystkich badanych samochodów, pojazdy dla których udział przebiegów wykonanych z wysokim spalaniem przekraczał określoną wartość θ_w. Następnie, aby oszacować całkowitą liczbę dni w naprawie, w przeliczeniu na aktualną liczbę pojazdów danego modelu (tj. 43 samochody modelu X i 14 samochodów modelu Y), obliczoną wartość $\overline{d_{n/1rok}}$ przemnażano przez początkową liczbę badanych pojazdów. Wyniki obliczeń dla pojazdów modelu X przedstawiono w tabeli 8.11, zaś dla pojazdów modelu Y w tabeli 8.12.

W wymienionych wyżej tabelach podano również potencjalną liczbę zaoszczędzonych dni wyłączenia pojazdów z użytkowania w skali jednego roku, w przeliczeniu na aktualną liczbę pojazdów danego modelu, w przypadku, gdyby przebiegi pojazdów wykonanych z agresywnym stylem jazdy ograniczono do poziomu określonego parametrem θ_w. Określono też jaki udział procentowy stanowi liczba potencjalnie zaoszczędzonych dni w stosunku do bieżącego stanu, w którym przebiegi pojazdów wykonywane z agresywnym stylem jazdy nie były ograniczane.

Analizując wyniki przeprowadzonych – w oparciu o opracowany ekspercki model – symulacji dla pojazdów modelu X, można zauważyć, że gdyby przebiegi pojazdów wykonywane z agresywnym stylem jazdy ograniczyć dla wszystkich pojazdów do poziomu maksymalnie 10% przebiegu całkowitego, to w skali 43 eksploatowanych w przedsiębiorstwie samochodów, czas wyłączenia pojazdów z użytkowania wynikający z przebywania tych pojazdów w naprawie, mógłby się potencjalnie skrócić o nawet 63 dni (27%) w skali roku, co stanowi wymierną korzyść dla przedsiębiorstwa. Niemniej jednak, już nawet stosunkowo niewielkie zmniejszenie udziałów przebiegów wykonanych z agresywnym stylem jazdy, w skali całej floty pojazdów, ma wpływ na skrócenie czasu przebywania samochodów w naprawie o znaczącą liczbę dni.

W przypadku środków transportu modelu Y również obserwujemy wyraźny spadek liczby dni wyłączenia pojazdów z użytkowania wraz ze zmniejszaniem udziałów przebiegów pojazdów wykonywanych z agresywnym stylem jazdy, z tym że należy mieć na uwadze to, że badanych samochodów modelu Y było znacznie mniej, stąd też wyniki obliczeń są statystycznie mniej wiarygodne, szczególnie dla najniższych, przyjętych poziomów θ_w.

Tab. 8.11 Wyniki symulacji dla pojazdów modelu X

Liczba badanych pojazdów	**Max wartość θ_w**	**$\overline{d_{n/1rok}}$**	**Całkowita liczba dni w naprawie w ciągu roku w przeliczeniu na 43 pojazdy**	**Liczba potencjalnie zaoszczędzonych dni**	**Różnica wyrażona w punktach procentowych**
43	0.94	5.42	233	-	-
41	0.84	5.13	221	12	-5
40	0.68	5.03	216	17	-7
37	0.45	4.79	206	27	-12
17	0.15	4.56	196	37	-16
13	0.12	4.37	188	45	-19
10	0.10	3.95	170	63	-27

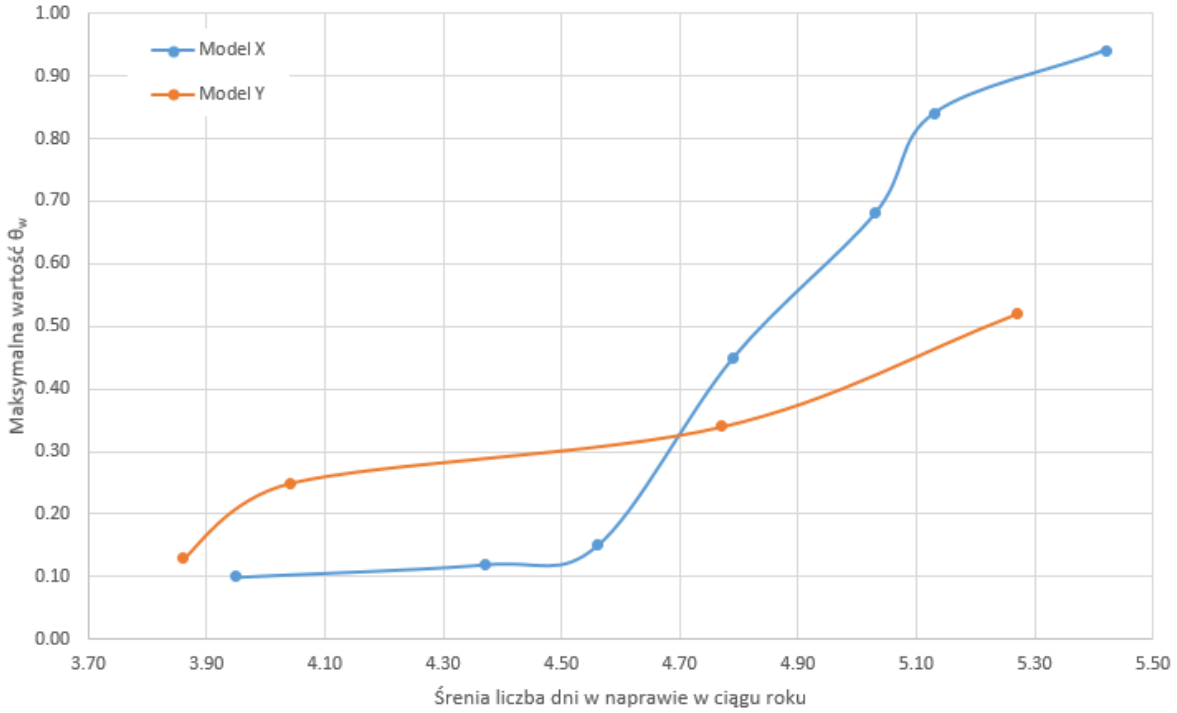
Źródło: opracowanie własne

Tab. 8.12 Wyniki symulacji dla pojazdów modelu Y

Liczba badanych pojazdów	**Max wartość θ_w**	**$\overline{d_{n/1rok}}$**	**Całkowita liczba dni w naprawie w ciągu roku w przeliczeniu na 14 pojazdów**	**Liczba potencjalnie zaoszczędzonych dni**	**Różnica wyrażona w punktach procentowych**
14	0.52	5.27	74	-	-
9	0.34	4.77	67	7	-9
5	0.25	4.04	57	17	-23
3	0.13	3.86	54	20	-27

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 8.26 zobrazowano w postaci wykresu wyniki symulacji dla pojazdów modeli X i Y. Na wykresie tym, przedstawiono wartości obliczonej średniej liczby dni w naprawie, w ciągu roku, w przeliczeniu na jeden pojazd, w stosunku do maksymalnej, dopuszczalnej wartości udziału przebiegów pojazdów wykonanych przez kierowców z wysokim spalaniem paliwa.



Rys. 8.26 Wyniki symulacji dla pojazdów modeli X i Y

Jak można zauważyć na powyższym wykresie, w przypadku samochodów obu badanych modeli, im większy jest udział przebiegów pojazdów wykonanych przez kierowców z agresywnym stylem jazdy (z którym związane jest wysokie spalanie paliwa), tym dłuższy jest czas przebywania pojazdu w naprawie. W związku z tym zasadne jest podnoszenie kompetencji kierowców w zakresie ekonomicznej jazdy, w celu skrócenia czasu wyłączenia pojazdów z użytkowania.

Podsumowanie

Stworzona w programie KNIME aplikacja, reprezentująca przedmiotowy, ekspercki model procesu eksploatacji środków transportu, realizuje postawione w pracy zadania. Po pierwsze, aplikacja wykonuje wszystkie procesy przygotowania zebranych danych do analizy oraz umożliwia integrację danych eksploatacyjnych pochodzących z niezależnych, dziedzinowych systemów informatycznych przedsiębiorstwa. Po drugie, w aplikacji realizowane są wszystkie procesy przetwarzania danych, które prowadzą do wyznaczenia dwóch grup charakterystyk i wskaźników eksploatacyjnych, które można wykorzystać w celu skrócenia czasu wyłączenia pojazdu z użytkowania.

Pierwszą grupę stanowią charakterystyki i wskaźniki niezawodnościowe środków transportu. Charakterystyki te wyznaczane są w oparciu o opisane w przytaczanej literaturze, podstawowe modele niezawodnościowe pojazdu samochodowego i mogą zostać wykorzystane przy planowaniu czynności obsługowych tak, aby czynności te były przeprowadzane w efektywniejszy sposób. Mogą też służyć do porównania poszczególnych modeli pojazdów, wykonujących takie same zadania przewozowe, pod kątem ich niezawodności np. w celu wybrania modelu pojazdu, który pod względem niezawodności byłby najlepszy w kontekście przyszłego zakupu.

Parametr strumienia uszkodzeń opisuje częstotliwość występowania awarii obiektu na jednostkę resursu. Może zostać wykorzystany do porównawczej oceny niezawodnościowej pojazdów różnych marek, jak też, w połączeniu z wyznaczoną średnią pracochłonnością naprawy, może zostać wykorzystany przy planowaniu harmonogramów obsług dla floty pojazdów. Wyznaczenie wskaźników niezawodnościowych jakimi są przebieg pojazdu do pierwszego uszkodzenia L_0 oraz średnia wartości przebiegu między uszkodzeniami $L_{śr}$, uzasadnione jest tym, że wartość L_0 stanowi jedno z kryteriów oceny jakości nowego pojazdu, natomiast $L_{śr}$ jest jednym z kryteriów oceny jakości wykonanych napraw, jak też pośrednio jakości użytych części zamiennych.

Czynności obsługowe, profilaktyczno-zapobiegawcze, przeważnie wykonywane są według ustalonego harmonogramu, po określonym przebiegu pojazdu. Ich zakres wykonywania i częstotliwość powinny podlegać systematycznym korektom na podstawie aktualnych wyników analiz stanu technicznego środków transportu. Do planowania harmonogramu tych czynności obsługowych można wykorzystać m.in. wyznaczony średni przebieg pojazdu do k-tej naprawy.

Dzięki temu, że stworzona aplikacja, stanowiąca przedmiotowy, ekspercki model procesu eksploatacji środków transportu, w zautomatyzowany sposób przetwarza wprowadzane dane eksploatacyjne oraz generuje charakterystyki i wskaźniki eksploatacyjne środków transportu, to dodając do aplikacji nowe dane, z kolejnych okresów eksploatacji pojazdów, można w wygodny sposób zaktualizować charakterystyki i wskaźniki eksploatacyjne samochodów i na ich podstawie wprowadzać wspomniane wyżej korekty do harmonogramu obsług pojazdów

Do drugiej grupy wskaźników i charakterystyk eksploatacyjnych należą te, które powstały w wyniku przeprowadzenia, opisanego w pracy, autorskiego sposobu oceny wpływu stylu jazdy kierowców na czas przebywania pojazdu w naprawie.

Z otrzymanych wyników tej oceny można wyciągnąć wniosek, że im większy jest udział przebiegów kilometrowych pojazdów wykonanych przez kierowcę z agresywnym stylem jazdy, tym dłuższy jest czas przebywania pojazdu w naprawie, w przeliczeniu na 10 tys. kilometrów przebiegu pojazdu. W związku z tym można stwierdzić, że uzasadnione jest podnoszenie kompetencji kierowców, w zakresie prowadzenia pojazdów, w celu skrócenia czasu wyłączenia pojazdów z użytkowania.

Aby oszacować o ile można by potencjalnie skrócić czas wyłączenia pojazdu z użytkowania, wynikający z przebywania pojazdu w naprawie, poprzez zmniejszenie udziałów przebiegów samochodów wykonanych przez kierowców z agresywnym stylem jazdy, w oparciu o opracowany ekspercki model procesu eksploatacji środków transportu, została wykonana symulacja na podstawie której wykazano, że w przypadku wszystkich 43 badanych pojazdów modelu X, czas ten można by skrócić o nawet 63 dni (27%) w skali roku, jeśli udziały przebiegów wykonanych przez kierowców z agresywnym stylem jazdy, zostałyby ograniczone do poziomu maksymalnie 10% przebiegu całkowitego, tych pojazdów. Niemniej jednak, nawet stosunkowo niewielkie zmniejszenie udziałów przebiegów wykonanych z agresywnym stylem jazdy, w skali całej floty pojazdów, ma istotny wpływ na skrócenie czasu wyłączenia pojazdu z użytkowania i stanowi wymierną korzyść dla przedsiębiorstwa.

W przyszłości stworzona aplikacja, stanowiąca przedmiotowy ekspercki model procesu eksploatacji środków transportu, może zostać rozbudowana o nowe funkcjonalności, jak również, możliwe jest zwiększenie dokładności aktualnie wyznaczonych przez aplikację charakterystyk poprzez uzupełnienie danych eksploatacyjnych z kolejnych okresów eksploatacji badanych pojazdów.

Bibliografia

[1] L. Będkowski i T. Bąbrowski, Podstawy eksploatacji. Część II. Podstawy niezawodności eksploatacyjnej, Warszawa: WAT, 2006.

[2] J. Pszczółkowski, Podstawy eksploatacji urządzeń, Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna, 2020.

[3] K. Abramek i M. Uzdowski, Pojazdy samochodowe. Podstawy obsługiwania i napraw., Warszawa: WKiŁ, 2009.

[4] S. Legutko, Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń, Warszawa: Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, 2011.

[5] M. Hebda, Eksploatacja samochodów, Radom: Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB, 2005.

[6] D. Laskowski, P. Łubkowski, E. Pawlak i P. Stańczyk, „Antropo-technical systems reliability," *W monografii: Safety and Reliability: Methodology and Applications-Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL,* pp. 399-407, 2014.

[7] M. Bednarek, T. Dąbrowski i L. Będkowski, „Bezpieczeństwo użytkowe systemu antropotechniczego w ujęciu potencjałowym," *Problemy eksploatacji,* nr 1, pp. 21-29, 2010.

[8] A. Niewczas, Ł. Mórawski, J. Rymarz, E. Dębicka i P. Hołyszko, „Operational risk assessment model for city buses," *Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability,* tom 25, nr 1, 2023.

[9] M. Młyńczak, Metodyka badań eksploatacyjnych obiektów mechanicznych, Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2012.

[10] Z. Matuszak, M. Jaśkiewicz, D. Więckowski i J. Stokłosa, „Remarks to the Reliability Assessment and to Human Actions – Especially Car Driver," w *MATEC Web of Conferences,* 2017.

[11] M. Bednarek i T. Dąbrowski, „Selected tools increasing human reliability in the antropotechnical system," *Journal of KONBiN,* tom 50, nr 2, pp. 243-264, 2020.

[12] T. Dąbrowski i M. Bednarek, „Diagnozowanie statystyczne pary antropotechnicznej,” *Przegląd Elektrotechniczny,* nr 8, pp. 100-105, 2022.

[13] S. Niziński i R. Michalski, Utrzymanie pojazdów i maszyn, Radom: Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB, 2007.

[14] G. Piccinini, J. Engström, J. Bärgman i X. Wang, „Factors contributing to commercial vehicle rear-end conflicts in China:,” *Journal of Safety Research,* nr 62, pp. 143-153, 2017.

[15] B. Palat, G. Saint Pierre i P. Delhomme, „Evaluating individual risk proneness with vehicle dynamics and self-report data – toward the efficient detection of At-risk drivers,” *Accident Analysis and Prevention,* nr 123, pp. 140-149, 2019.

[16] M. Guerrieri, R. Mauro, G. Parla i T. Tollazzi, „Analysis of Kinematic Parameters and Driver Behavior at Turbo Roundabouts,” *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems,* tom 144, nr 6, 2018.

[17] D. Goedicke, C. Zolkov, N. Friedman, T. Wise, A. Parush i W. Ju, „Strangers in a Strange Land: New Experimental System for Understanding Driving Culture Using VR,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology,* tom 71, nr 4, pp. 3399-3413, 2022.

[18] S. Skerlic, E. Sokolovskij i V. Erculj, „Maintenance of heavy trucks: an international study on truck drivers,” *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability ,* tom 22, nr 3, pp. 493-500, 2020.

[19] G. Perricone, M. Alemani, J. Wahlström i U. Olofsson, „A proposed driving cycle for brake emissions investigation for test stand,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering,* tom 234, nr 1, pp. 122-135, 2020.

[20] Y. Liu, H. Chen, S. Wu, J. Gao, Y. Li, Z. An, B. Mao, R. Tu i T. Li, „Impact of vehicle type, tyre feature and driving behaviour on tyre wear under real-world driving conditions,” *Science of the Total Environment,* nr 842, 2022.

[21] I. Mikulic, I. Boskovic i G. Zovak, „Effects of Driving Style and Vehicle Maintenance on Vehicle Roadworthiness,” *Promet – Traffic&Transportation,* tom 32, nr 5, pp. 667-677, 2020.

[22] L. Eboli, G. Mazzulla i G. Pungillo, „How drivers' characteristics can affect driving style," *Transportation Research Procedia,* nr 27, pp. 945-952, 2017.

[23] F. Yan, M. Liu, C. Ding, Y. Wang i L. Yan, „Driving Style Recognition Based on Electroencephalography Data From a Simulated Driving Experiment," *Frontiers in Psychology,* tom 10, 2019.

[24] L. Yang, R. Ma, H. Zhang, W. Guan i S. Jiang, „Driving behavior recognition using EEG data from a simulated car-following experiment," *Accident Analysis and Prevention,* nr 116, pp. 30-40, 2018.

[25] M. Houtenbos, J. Winter, A. Hale, P. Wieringa i M. Hagenzieker, „Concurrent audio-visual feedback for supporting drivers at intersections: A study using two linked driving simulators," *Applied Ergonomics,* nr 60, pp. 30-42, 2017.

[26] A. Puchalski i I. Komorska, „Driving style analysis and driver classification using OBD data of a hybrid electric vehicle," *Transport Problems,* tom 15, nr 4, pp. 83-94, 2020.

[27] C. Deng, C. Wu, N. Lyu i H. Zhen, „Driving style recognition method using braking characteristics based on hidden Markov model," *PLoS ONE,* tom 12, nr 8, 2017.

[28] D. Chu, Z. Deng, Y. He, C. Wu, C. Sun i Z. Lu, „Curve speed model for driver assistance based on driving style classification," *IET Intelligent Transport Systems,* tom 11, nr 8, pp. 501-510, 2017.

[29] G. Li, S. Li, B. Cheng i P. Green, „Estimation of driving style in naturalistic highway traffic using maneuver transition probabilities," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies,* tom 74, pp. 113-125, 2017.

[30] H. Hooft van Huysduynen, J. Terken i B. Eggen, „The relation between self-reported driving style and driving behaviour. A simulator study," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour,* tom 55, pp. 245-255, 2018.

[31] S. Duffuaa i A. Raouf, Planning and Control of Maintenance Systems. Modeling and Analysis, Springer International Publishing, 2015.

[32] T. Goliasz i P. Józef, „Istota strategii eksploatacji wg kryteriów niezawodności," *Autobusy,* pp. 161-167, 6 2019.

[33] M. Kołodziejski i Z. Matuszak, „Reliability Centred Maintenance (RCM) – Basics of Implementation and General Characteristics," *Journal of Machine Construction and Maintenance. Problemy Eksploatacji.*, tom 4, nr 107, pp. 99-105, 2017.

[34] O. Adenuga, O. Diemuodeke i A. Kuye, „Development of Maintenance Management Strategy Based on Reliability Centered Maintenance for Marginal Oilfield Production Facilities," *Engineering*, nr 15, pp. 143-162, 2023.

[35] F. Restel i Ł. Wolniewicz, „The maintenance scheduling issues of railway traffic control systems with respect to reliability," *Journal of KONBiN*, tom 47, nr 1, pp. 155-183, 2018.

[36] L. Knopik, „Metoda wyboru efektywnej strategii eksploatacji obiektów technicznych," *Rozprawy. Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy*, nr 145, 2010.

[37] S. Jbili, A. Chelbi, M. Radhoui i M. Kessentini, „Integrated strategy of Vehicle Routing and Maintenance," *Reliability Engineering and System Safety*, nr 170, pp. 202-214, 2018.

[38] B. Żółtowski, „Doskonalenie systemów eksploatacji maszyn," *Problemy Eksploatacji*, nr 2, pp. 7-20, 2012.

[39] B. Żółtowski, System informatyczny eksploatacji pojazdów mechanicznych, Piła: PWSZ, 2004.

[40] Z. Klonowski, Systemy informatyczne zarządzania przedsiębiorstwem. Modele rozwoju i właściwości funkcjonalne., Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2004.

[41] M. Pigłas, T. Radoń, M. Szymański, A. Krutkow i A. Przystawska, „Information system support for military aircraft operations SI SAMANTA as a tool to support logistic resource management," *Journal of KONBiN*, tom 50, nr 4, pp. 269-286, 2020.

[42] T. Szopa, Niezawodność i bezpieczeństwo, Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2016.

[43] M. Elgharbawy, Measurable Safety of Automated Driving Functions in Commercial Motor Vehicles. Technological and Methodical Approaches, Karlsruher: KIT Scientific Publishing, 2023.

[44] T. Most, R. Niemeier, M. Rasch i P. T. Ubben, „Application of structural reliability methods for the safety assessment of autonomous vehicles," w *ICASP14*, Dublin, 2023.

[45] M. Szkoda, G. Kaczor i M. Satora, „Methodology of building the strategy of maintenance of rail vehicles with the use of the RAMS analysis in the area of safety," *Journal of KONBiN,* tom 49, nr 2, pp. 219-231, 2019.

[46] M. Payette i G. Abdul-Nour, „Asset Management, Reliability and Prognostics Modeling Techniques," *Sustainability,* tom 15, nr 7493, 2023.

[47] K. Andrzejczak i J. Selech, „Investigating the trends of average costs of corrective maintenance of public transport vehicles," *Journal of KONBiN ,* nr 41, 2017.

[48] C. Stenström, P. Norrbin, A. Parida i U. Kumar, „Preventive and corrective maintenance–cost comparison and cost–benefit analysis," *Structure and Infrastructure Engineering,* tom 12, nr 5, pp. 603-617, 2016.

[49] P. Ignaciuk, J. Rymarz i A. Niewczas, „Effectivness of the failure rate on maintenance costs of the city buses," *Journal of KONBiN,* tom 3, nr 35, 2015.

[50] A. Świderski, A. Jóźwiak i R. Jachimowski, „Operational quality measures of vehicles applied for the transport services evaluation using artifical neural networks," *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability,* tom 20, nr 2, pp. 292-299, 2018.

[51] „Joint dynamic scheduling of missions and maintenance for a commercial heavy vehicle: value of on-line information," *IFAC PapersOnLine,* nr 51-24, pp. 837-842, 2018.

[52] A. Jodejko-Pietruczuk, T. Nowakowski i S. Werbińska-Wojciechowska, „Time between inspections optimization for technical object with time delay," *Journal of Polish Safety and Reliability Association, Summer Safety and Reliability Seminars,* tom 4, nr 1, pp. 109-120, 2013.

[53] L. Knopik, „Multi-state model of maintenance policy," *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability ,* tom 20, nr 1, pp. 125-130, 2018.

[54] M. Jacyna i I. Semenov, „Models of vehicle service system supply under information uncertainty," *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability,* tom 22, nr 4, pp. 694-704, 2020.

[55] A. Niewczas, J. Rymarz i E. Debnicka, „Stages of operating vehicles with respect to operational efficiency using city buses as an example," *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* , tom 21, nr 1, pp. 21-27, 2019.

[56] S. Młynarski, „Niezawodnościowe i symulacyjne metody zapewnienia efektywności przedsięwzięć produkcyjnych i transportowych," *Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia,* nr 89, pp. 103-118, 5 2017.

[57] T. Nowakowski, M. Młyńczak, S. Werbińska-Wojciechowska, I. Dziaduch i A. Tubis, „Life Cycle Costs of passenger transportation system : case study of Wroclaw city agglomeration," *Journal of Polish Safety and Reliability Association, Summer Safety and Reliability Seminars,* tom 5, nr 2, pp. 109-120, 2014.

[58] V. Legat, F. Mosna, Z. Ales i V. Jurca, „Preventive maintenance models – higher operational reliability," *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability,* tom 19, nr 1, pp. 134-141, 2017.

[59] N. Kontrec, S. Panic, M. Petrovic i H. Milosevic, „A stochastic model for estimation of repair rate for system operating under performance based logistics," *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability,* tom 20, nr 1, pp. 68-72, 2018.

[60] H. Al-Deek i E. Emam, „New Methodology for Estimating Reliability in Transportation Networks with Degraded Link Capacities," *Journal of Intelligent Transportation Systems,* tom 10, nr 3, pp. 117-129, 2006.

[61] O. Cats i E. Jenelius, „Beyond a complete failure: the impact of partial capacity degradation on public transport network vulnerability," *Transportmetrica B: Transport Dynamics,* tom 6, nr 2, pp. 77-96, 2018.

[62] T. Nowakowski, Niezawodność systemów logistycznych, Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2011.

[63] K. Antosz, J. Machado, M. Dariusz, D. Antonelli i F. Soares, „Systems Engineering: Availability and Reliability," *Applied Sciences,* nr 12, 2022.

[64] I. Jacyna-Gołda i K. Lewczuk, „The method of estimating dependability of supply chain elements on the base of technical and organizational redundancy of process," *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability,* tom 19, nr 3, 2017.

[65] T. Nowakowski, „Podatność na zagrożenia procesów logistycznych - problem oceny," *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Ekonomika i Organizacja Logistyki,* nr 2, pp. 69-76, 2017.

[66] P. Dziedziak, T. Szczepański, A. Niewczas i M. Ślęzak, „Car reliability analysis based on periodic technical tests," *Open Engineering,* nr 11, pp. 630-638, 2021.

[67] K. Przybysz, S. Dygnatowski i N. Grzesik, „An alalysis of reliability of military vehicles," *Journal of KONBiN,* tom 49, nr 3, pp. 527-546, 2019.

[68] A. Niewczas i G. Koszałka, Niezawodność silników spalinowych: wybrane zagadnienia, Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2003.

[69] I. Rybicka, P. Droździel i H. Komsta, „Assessment of the Braking System Damage in the Public Transport Vehicles of a Selected Transport Company," *Periodica Polytechnica Transportation Engineering,* tom 51, nr 2, pp. 172-179, 2023.

[70] S. Młynarski, R. Plich, M. Smolnik, J. Szybka i G. Wiązania, „A simulation model for regenerated objects with multiparameter evaluation of technical condition reliability estimation," *Journal of KONBiN,* tom 49, nr 2, 2019.

[71] J. Gallikova, D. Barta i J. Caban, „Maintenance system of semi-trailer and risk priority number," *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji,* tom 86, nr 4, 2019.

[72] D. Ulbrich, J. Selech, J. Kowalczyk, J. Jóźwiak, K. Durczak, L. Gil, D. Pieniak, M. Paczkowska i K. Przystupa, „Reliability Analysis for Unrepairable Automotive Components," *Materials,* tom 14, nr 22, 2021.

[73] S. Młynarski, R. Pilch, M. Smolnik i J. Szybka, „Methodology of network systems reliability assessment on the example of urban transport," *Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability,* tom 20, nr 2, pp. 278-283, 2018.

[74] R. Plich, „Reliability evaluation of networks with imperfect and Repairable links and nodes," *Eksploatacja i Niezawodność– Maintenance and Reliability,* tom 19, nr 1, pp. 19-25, 2017.

[75] O. Cats, G.-J. Koppenol i M. Warnier, „Robustness assessment of link capacity reduction for complex networks: Application for public transport systems," *Reliability Engineering and System Safety,* nr 167, pp. 544-553, 2017.

[76] A. Tubis, T. Nowakowski i S. Werbińska-Wojciechowska, „Supply Chain Vulnerability and Resilience : Case Study of Footwear Retail Distribution Network," *Logistics and Transport,* nr 1, pp. 15-24, 2017.

[77] J. Rymarz, Badania efektywności eksploatacyjnej autobusów komunikacji miejskiej, Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2021.

[78] M. Zieja, M. Ważny i S. Stępień, „Outline of a method for estimating the durability of components or device assemblies while maintaining the required reliability level," *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability,* tom 20, nr 2, pp. 260-266, 2018.

[79] S. Młynarski, R. Plich, M. Smolnik, J. Szybka i G. Wiązania, „A method for rapid evaluation of k-out-of-n systems reliability," *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability,* tom 21, nr 1, pp. 170-176, 2019.

[80] K. Andrzejczak, Rozprawy. Metody prognozowania w modelowaniu eksploatacji środków transportu, Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2013.

[81] R. F. Stapelberg, Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design, Springer, 2009.

[82] A. Iwasiewicz i Z. Paszek, Statystyka z elementami statystycznych metod monitorowania procesów, Kraków: Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie, 2004.

[83] R. Johnson, Miller & Freund`s Probability and Statistics for Engineers, Pearson, 2018.

[84] J. Lawless, Statistical Models and Methods for Lifetime Data, Hoboken: Wiley-Interscience, 2003.

[85] U. D. Kumar, Reliability, Maintenance and Logistic Support - A life Cycle Approach, Springer Science+Business Media, 2000.

[86] W. Meeker, L. Escobar i F. Pascual, Statistical methods for reliability data, Hoboken: John Wiley & Sons, 2022.

[87] C.-b. m. s. f. v. u. h. M. models, „Kamlu, Sushma; Laxmi, V," *Advances in Mechanical Engineering,* tom 11, nr 1, pp. 1-13, 2019.

[88] L. Ferreira i J. Silva, „Parameter estimation for Weibull distribution with right censored data using EM algorithm," *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and reliability,* tom 19, nr 2, 2017.

[89] R. Rumianowski, „Statystyczna analiza awarii pojazdów samochodowych," *Edukacja – Technika – Informatyka,* nr 1(15), pp. 13-17, 2016.

[90] J. Selech i K. Andrzejczak, „An aggregate criterion for selecting a distribution for times to failure of components of rail vehicles," *Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability,* tom 22, nr 1, pp. 102-111, 2020.

[91] S. Młynarski, R. Pilch, M. Smolnik, J. Szybka, G. Wiązania i J. Lewandowski, „Simulation-based forecasting of the reliability of systems consisting of elements described by a number of failure probability distributions," *Journal of KONBiN,* tom 50, nr 2, 2020.

[92] K. Andrzejczak, M. Młyńczak i J. Selech, „Poisson-distributed failures in the predicting of the cost of corrective maintenance," *Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability,* tom 20, nr 4, pp. 602-609, 2018.

[93] K. Andrzejczak, „Stochastic modeling of the repairable system," *Journal of KONBiN* , tom 3, nr 35, 2015.

[94] S. Młynarski, Problemy prognozowania niezawodności pojazdów eksploatowanych w transporcie drogowym, Kraków: Wydawnictwo PK, 2018.

[95] Ł. Mórawski, Prognozowanie ryzyka niezdatności pojazdów samochodowych. Praca doktorska., Warszawa: Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, 2022.

[96] A. Niewczas, Wybrane zagadnienia transportu samochodowego, Warszawa: Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne, 2005.

[97] J. Migdalski, Poradnik Niezawodności. Podstawy matematyczne., Warszawa: Wydawnictwa Przemysłu Maszynowego "WEMA", 1982.

[98] T. Dziubak, T. Wysocki i S. Dziubak, „Selection of vehicles for fleet of transport company on the basis of observation of their operational reliability," *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability,* tom 23, nr 1, pp. 184-194, 2021.

[99] P. Lindstedt, T. Sudakowski i R. Grądzki, Eksploatacyjna niezawodnodność maszyny i jej teoretyczne podstawy, Warszawa: Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, 2016.

[100] M. Smolnik, G. Wiązania i J. Szybka, „Koncepcja oceny systemu eksploatacji środków transportu komunikacji miejskiej," *Autobusy. Przewoźnicy i systemy transportowe,* nr 7-8, pp. 43-47, 2014.

[101] T. Goliasz i J. Pszczółkowski, „Badanie charakterystyk eksploatacyjnych uszkodzeń pojazdów kołowych," *Autobusy. Eksploatacja i testy,* nr 1-2, pp. 203-210, 2019.

[102] K. Cios, W. Pedrycz, R. Swiniarski i Ł. Kurgan, Data Mining: A Knowlege Discowery Approach, Springer, 2011.

[103] M. Szeliga, Praktyczne uczenie maszynowe, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 2019.

[104] P. Domingos, „A few useful things to know about machine learning," *Communications of the ACM,* tom 55, nr 10, pp. 78-87, October 2012.

[105] H. Wickham, „Tidy Data," *Journal of Statistical Software,* tom 59, nr 10, pp. 1-23, 2014.

[106] O. Sanko, I. Medvediev i T. Kolesnikova, „Study on the relationship between vehicle maintenance and fuel consumption," *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport,* tom 113, pp. 163-172, 2021.

[107] W. Lewicki, Podstawy ekonomiki transportu i logistyki, Katowice: Wydawnictwo Naukowe Sophia, 2018.

[108] J. Caban, P. Droździel, L. Krzywonos, I. Rybicka, B. Šarkan i J. Vrábel, „Statistical Analyses of Selected Maintenance Parameters of Vehicles of Road Transport Companies," *Advances in Science and Technology Research Journal,* tom 13, nr 1, pp. 1-13, 2019.

[109] P. Droździel, D. Siłuch i J. Nikoniuk, „Organizacja centrum logistycznego na przykładzie Węzła Ekspedycyjno-Rozdzielczego Poczty Polskiej w Lublinie," *Logistyka,* pp. 1434-1440, 3 2014.

[110] [Online]. Available: www.knime.com.

[111] T. Xieski, *Rozprawa doktorska: Wydobywanie wiedzy z danych złożonych,* Katowice: Uniwersytet Slaski, 2014.

[112] I. Gijbels, „Censored data,” *WIREs Computational Statistics,* tom 2, nr 2, pp. 178-188, March/April 2010.

[113] E. Cramer, „Ordered and censored lifetime data in reliability: An illustrative review,” *WIREs Computational Statistics,* tom 15, nr 2, 2023.

[114] D. Hosmer i S. Lemeshow, Applied Survival Analysis. Regression Modeling of Time to Event Data, A Wiley-Interscience Publication, 1999.

[115] M. Jacyna, Wspomaganie decyzji w praktyce inżynierskiej, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2022.

Streszczenie

W rozprawie doktorskiej przedstawiony został ekspercki model procesu eksploatacji środków transportu zorientowany na minimalizację czasu wyłączenia pojazdu z użytkowania. Model został zbudowany w oparciu o analizy rzeczywistych danych, gromadzonych na przestrzeni trzech kolejnych lat, dotyczących sposobu użytkowania i obsługiwania pojazdów wchodzących w skład taboru Poczty Polskiej S.A. w Lublinie.

Dane eksploatacyjne które posłużyły do stworzenia nowego, eksperckiego modelu eksploatacji środków transportu, zgromadzone były w różnych, niezależnych od siebie, systemach informatycznych PP i w swoim pierwotnym założeniu nie były przeznaczone do tworzenia modeli eksploatacyjnych pojazdów, dlatego w tym celu należało je odpowiednio przygotować.

Przedmiotowy model eksploatacji pojazdów stworzony zbudowany został w postaci aplikacji wykonanej w programie KNIME, w której realizowane są wszystkie procesy przetwarzania zebranych danych, prowadzące do wyznaczenia charakterystyk i wskaźników niezawodnościowych pojazdów oraz wskaźników, które pozwalają ocenić wpływ stylu jazdy kierowców na czas przebywania pojazdu w naprawie.

Charakterystyki i wskaźniki niezawodnościowe wyznaczane zostały w oparciu o opisane w przytaczanej literaturze, podstawowe modele niezawodnościowe pojazdu samochodowego i mogą zostać wykorzystane przy planowania czynności obsługowych tak, aby czynności te były przeprowadzane w efektywniejszy sposób, jak też mogą służyć do porównania poszczególnych modeli pojazdów, wykonujących takie same zadania przewozowe, pod kątem ich niezawodności np. w celu wybrania modelu pojazdu, który pod względem niezawodności byłby najlepszy w kontekście przyszłego zakupu.

Przeprowadzona ocena wpływu stylu jazdy kierowców na czas przebywania pojazdu w naprawie wykazała, że im wyższy jest udział przebiegów wykonanych z agresywnym stylem jazdy, tym dłuższy jest czas przebywania pojazdów w naprawie. W związku z tym można stwierdzić, że uzasadnione jest podnoszenie kompetencji kierowców w zakresie prowadzenia pojazdów, w celu skrócenia czasu wyłączenia pojazdów z użytkowania.

Abstract

The doctoral dissertation presents an expert model of the vehicles exploitation process focused on minimizing the downtime of the vehicles. The model was built based on analyses of real data collected over three consecutive years regarding the operation and maintenance of vehicles within the fleet of Polish Post company in Lublin.

The exploitation data used to create this new expert model were gathered from various independent information systems within PP and were not originally intended for constructing vehicle exploitation models. Therefore, they needed to be appropriately prepared for this purpose.

The vehicle exploitation model in question was created in the form of an application made in the KNIME program. This application executes all the processes for processing the collected data, leading to the determination of vehicle reliability characteristics and indicators. It also includes indicators that allow an assessment of the impact of driver driving style on the time a vehicle spends in repair.

Reliability characteristics and indicators were determined based on basic reliability models of motor vehicles described in the literature. These can be utilized for planning maintenance activities more efficiently and for comparing different vehicle models performing the same transport tasks, particularly in terms of reliability, e.g., to select the most reliable model for future purchases.

The assessment of the impact of driver driving style on the time a vehicle spends in repair revealed that the higher the percentage of aggressive driving styles, the longer the downtime of vehicles in repair. Therefore, it can be concluded that it is justified to enhance driver competencies in vehicle operation to reduce the downtime of vehicles in use.

Wykaz rysunków

Rys. 2.1 Schemat antropotechnicznego systemu działania (DPU) 10
Rys. 2.2 Schemat wykorzystania wiedzy i danych w procesie zarządzania [9] 15
Rys. 4.1 Zobrazowanie metodyki CRISP-DM [103] 24
Rys. 8.1 Interfejs programu KNIME 39
Rys. 8.2 Schemat funkcjonowania eksperckiego modelu procesu eksploatacji środków transportu 40
Rys. 8.3 Graf programu KNIME reprezentujący proces importowania wartości przebiegów pojazdów z tabeli "Użytkowanie" do tabeli „Obsługiwanie” 44
Rys. 8.4 Graf programu KNIME reprezentujący część procesu przygotowania do analizy danych dotyczących obsługiwania pojazdów 47
Rys. 8.5 Zarejestrowane przebiegi pojazdów I kategorii 49
Rys. 8.6 Przebiegi wybranych pojazdów modelu X 50
Rys. 8.7 Przebiegi wybranych pojazdów modelu Y 51
Rys. 8.8 Wykres strumienia uszkodzeń dla pojazdów modelu A 52
Rys. 8.9 Liczba badanych pojazdów modelu A w poszczególnych przedziałach przebiegu 53
Rys. 8.10 Schemat połączeń węzłów w aplikacji zbudowanej w programie KNIME jaki został wykorzystany do wyznaczenia średniego przebiegu pomiędzy uszkodzeniami pojazdów 55
Rys. 8.11 Wykres funkcji intensywności uszkodzeń dla pojazdów modelu X 56
Rys. 8.12 Wykres liczby badanych pojazdów modelu X w kolejnych przedziałach przebiegu 56
Rys. 8.13 Graf programu KNIME reprezentujący proces wyznaczania funkcji intensywności uszkodzeń dla badanych pojazdów 58
Rys. 8.14 Wykres funkcji niezawodności dla pojazdów modelu X 59
Rys. 8.15 Wykres funkcji niezawodności wyznaczonej estymatorem Kaplana-Meiera dla pojazdów modeli X i Y 60
Rys. 8.16 Graf programu KNIME reprezentujący proces wyznaczania funkcji niezawodności dla badanych pojazdów 61
Rys. 8.17 Zakres wartości spalania paliwa w dm^3/100 km w każdej z trzech klas spalania dla pojazdów modelu X 63

Rys. 8.18 Udziały przebiegów pojazdów wykonanych ze spalaniem paliwa właściwym dla każdej z trzech klas spalania, w stosunku do czasu przebywania pojazdu w naprawie, dla pojazdów modelu X 65
Rys. 8.19 Zakres wartości spalania paliwa w dm^3/100 km w każdej z pięciu klas spalania dla pojazdów modelu X 66
Rys. 8.20 Udziały przebiegów wykonanych ze spalaniem paliwa właściwym dla każdej z pięciu klas spalania, w stosunku do czasu przebywania pojazdu w naprawie, dla pojazdów modelu X 68
Rys. 8.21 Zakres wartości spalania paliwa w dm^3/100 km w każdej z trzech klas spalania dla pojazdów modelu Y 69
Rys. 8.22 Udziały przebiegów wykonanych ze spalaniem paliwa właściwym dla każdej z trzech klas spalania, w stosunku do czasu przebywania pojazdu w naprawie, dla pojazdów modelu Y 71
Rys. 8.23 Zakres wartości spalania paliwa w dm^3/100 km w każdej z pięciu klas spalania dla pojazdów modelu Y 72
Rys. 8.24 Udziały przebiegów wykonanych ze spalaniem paliwa właściwym dla każdej z pięciu klas spalania w stosunku do czasu przebywania pojazdu w naprawie, dla pojazdów modelu Y 73
Rys. 8.25 Graf programu KNIME reprezentujący proces przeprowadzania symulacji wyznaczania czasu przebywania pojazdów w naprawie 76
Rys. 8.26 Wyniki symulacji dla pojazdów modeli X i Y 79

Wykaz tabel

Tab. 7.1 Liczba pojazdów poszczególnych marek, należących do I kategorii 35
Tab. 7.2 Liczba pojazdów poszczególnych marek, należących do II kategorii..... 36
Tab. 7.3 Liczba pojazdów poszczególnych marek, należących do III kategorii 36
Tab. 7.4 Liczba pojazdów poszczególnych marek, należących do IV kategorii 37
Tab. 7.5 Liczba pojazdów poszczególnych marek, należących do V kategorii 37
Tab. 8.1 Średnia pracochłonność naprawy dla poszczególnych modeli pojazdów 53
Tab. 8.2 Średni przebieg do k-tej naprawy dla pojazdów modelu X..... 54
Tab. 8.3 Wybrane wartości statystyczne spalania paliwa dla każdej z trzech klas spalania, dla pojazdów modelu X wyrażone w dm^3/100 km..... 63
Tab. 8.4 Otrzymane wartości parametrów analizy korelacji pomiędzy udziałami przebiegów pojazdów wykonanych ze spalaniem właściwym dla każdej z trzech klas spalania, a czasem przebywania pojazdu w naprawie dla pojazdów modelu X 66
Tab. 8.5 Wybrane wartości statystyczne spalania paliwa dla każdej z pięciu klas spalania, dla pojazdów modelu X wyrażone w dm^3/100 km..... 67
Tab. 8.6 Otrzymane wartości parametrów analizy korelacji pomiędzy udziałami przebiegów pojazdów wykonanych ze spalaniem właściwym dla każdej z pięciu klas spalania, a czasem przebywania pojazdu w naprawie dla pojazdów modelu X 68
Tab. 8.7 Wybrane wartości statystyczne spalania paliwa dla każdej z trzech klas spalania, dla pojazdów modelu Y wyrażone w dm^3/100 km..... 70
Tab. 8.8 Otrzymane wartości parametrów analizy korelacji pomiędzy udziałami przebiegów pojazdów wykonanych ze spalaniem właściwym dla każdej z trzech klas spalania, a czasem przebywania pojazdu w naprawie dla pojazdów modelu Y 71
Tab. 8.9 Wybrane wartości statystyczne spalania paliwa dla każdej z pięciu klas spalania, dla pojazdów modelu Y wyrażone w dm^3/100 km..... 72
Tab. 8.10 Otrzymane wartości parametrów analizy korelacji pomiędzy udziałami przebiegów pojazdów wykonanych ze spalaniem właściwym dla każdej z pięciu klas spalania, a czasem przebywania pojazdu w naprawie dla pojazdów modelu Y 74
Tab. 8.11 Wyniki symulacji dla pojazdów modelu X 78
Tab. 8.12 Wyniki symulacji dla pojazdów modelu Y 78

Załączniki

Zał. 1 Przykład miesięcznego zestawienia pracy pojazdu

F-6 [redacted] Citroen [redacted] rejestracyjny [redacted] kategoria 1D

Przebiegi: ca³kowity: 230.330 po naprawie ca³kowitej: po wymianie silnika:

Dzień	Stan	Numer karty Kiero-	Najemca	Stan kon. licznika	Czas pracy	Kilometry	Paliwo stan pocz¹t.	Paliwo stan konc.	Pobranie	Zwrot	Zu¿ycie norma	Zu¿ycie rzeczyw.	Oszczê-dnoœæ	Przepa³	Olej
01	S														
02	P	12			1,92	22	63								
		10		CZ ROBER											
		12		218.466	9,42	259		39	0	0	24,2	24,0	0,2	0,0	0,0
03	S														
04	S														
05	P	12			11,25	313	39								
		10		CZ ROBER											
		12		218.796	0,75	17		73	62	0	28,4	27,9	0,5	0,0	0,0
06	S														
07	P	12		218.996	10,75	200	73	56	0	0	17,2	17,0	0,2	0,0	0,0
		CZ		JACEK											
08	P	12		219.201	10,75	205	56	74	36	0	18,2	18,0	0,2	0,0	0,0
		CZ		JACEK											
09	P	12		219.402	10,75	201	74	56	0	0	17,9	18,0	0,0	0,1	0,0
		CZ		JACEK											
10	S														
11	S														
12	P	12		219.482	6,67	80	56	49	0	0	7,2	7,0	0,2	0,0	0,0
		10		ALBERT I											
13	P	12		219.531	1,67	49	49	44	0	0	4,4	5,0	0,0	0,6	0,0
		CZ		UKASZ											
		12		219.613	6,67	82	44	37	0	0	7,4	7,0	0,4	0,0	0,0
		10		ALBERT I											
14	P	12		219.692	6,67	79	37	30	0	0	7,1	7,0	0,1	0,0	0,0
		10		ALBERT I											
15	P	12		219.850	6,08	158	30	85	80	0	13,8	25,0	0,0	11,2	0,0
		CZ		ANDRZEJ											
		12		219.932	6,67	82	85	78	0	0	7,4	7,0	0,4	0,0	0,0
		10		ALBERT I											
16	P	12		220.015	6,67	83	78	71	0	0	7,5	7,0	0,5	0,0	0,0
		10		ALBERT I											
17	S														
18	S														
19	P	12		220.242	10,75	227	71	52	0	0	20,4	19,0	1,4	0,0	0,0
		10		ALBERT I											
20	P	12		220.471	10,42	229	52	32	0	0	20,6	20,0	0,6	0,0	0,0
		10		ALBERT I											
21	P	12			9,75	198	32								
		10		ALBERT I											
		12		220.695	1,00	15		80	68	0	19,3	20,0	0,0	0,7	0,0
22	P	12		220.923	10,75	228	80	60	0	0	20,5	20,0	0,5	0,0	0,0
		10		ALBERT I											
23	P	12		221.149	10,75	226	60	40	0	0	19,4	20,0	0,0	0,6	0,0
		10		ALBERT I											
24	S														
25	S														
26	N														
27	N														
28	P	12		221.471	11,33	322	40	66	55	0	29,0	29,0	0,0	0,0	7,0
		10		ALBERT I											
29	P	12		221.775	11,58	304	66	39	0	0	27,4	27,0	0,4	0,0	0,0
		10		ALBERT I											
30	P	12		222.079	11,58	303	39	70	58	0	33,5	27,1	6,4	0,0	0,0
		10		ALBERT I											
31	S	12		222.115	1,33	36	70	66	0	0	3,2	4,0	0,0	0,8	0,0
		CZ		UK PAWEŁ											
Razem					185,92	3.918	36	66	359	0	354,0	356,0	12,0	14,0	7,0

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
raportu DD.MM	WT	Komórka	Marka	A-0470, lub nr rejestracyjny	Kategoria	Aktualny przebieg	dzień	miesiąc	dzień	miesiąc	roboczych w naprawie	Rodzaj obsługi	Liczba rbh przepracowanych na zlecenie/zlecenia	Rodzaj występującej usterki/obsługi	Przyczyna naprawy powyżej 3 dni roboczych - bez napraw związanych ze szkodami komunikacyjnymi
15.01	WT Lublin	WT Lublin	Man	F-6	II	227 107	15	styczeń	20	styczeń	3	przegląd przebiegowy - pogw.	27,50	sprawdzenie / wymiana opon, uszkodzona opona przód, uszkodzone opony tył / zapas, zużyte okładziny hamulca Przegląd S -12	
15.01	WT Lublin	DT Kielce	Citroen	F-6	I	247953	15	styczeń	15	styczeń	1	naprawa bieżaca	1,00	Naprawa świateł mijania	
15.01	WT Lublin	DT Kielce	Citroen	F-6	I	173444	15	styczeń	15	styczeń	1	przegląd przebiegowy - pogw.	4,00	Naprawa świateł, wymiana oleju w silniku oraz filtrów	
15.01	WT Lublin	DT Kielce	Peugeot	F-6	I	136787	15	styczeń	15	styczeń	1	naprawa bieżaca	1,00	Naprawa świateł	
15.01	WT Lublin	DT Kielce	Citroen	F-7	I	168 348	15	styczeń	15	styczeń	1	naprawa bieżaca	1,00	Naprawa koła tylnego	
15.01	WT Lublin	DT Radom	VW	F-6	Bankowóz	275 995	15	styczeń	15	styczeń	1	naprawa bieżaca	6,00	Naprawa koła. Naprawa układu ładowania.	
15.01	WT Lublin	DT Radom	Citroen	F-6	I	188 281	15	styczeń	15	styczeń	1	naprawa bieżaca	2,00	Naprawa świateł mijania. Naprawa układu paliwowego-silnik gaśnie w czasie jazdy.	
16.01	WT Lublin	WT Lublin	VW	F-6	I	622 677	16	styczeń	20	styczeń	2	naprawa bieżaca	23,50	stuki zawieszenia, sprawdzenie zamków drzwi	
16.01	WT Lublin	DT Radom	Renault	F-7	I	294 194	16	styczeń	16	styczeń	1	naprawa bieżaca	5,30	Wymiana zamka drzwi tylnych. Sprawdzenie amortyzatorów tylnych.	
16.01	WT Lublin	DT Radom	Iveco	F-6	II	695 526	16	styczeń	20	styczeń	3	naprawa bieżaca	23,00	Naprawa drzwi tylnych skrzyni ładunkowej. Naprawa skrzynki akumulatorów.	
16.01	WT Lublin	DT Radom	Peugeot	F-6	I	64 824	16	styczeń	16	styczeń	1	naprawa bieżaca	3,00	Sprawdzenie hamulcy,ustawienie świateł, naprawa koła.	
16.01	WT Lublin	DT Kielce	VW	F-7	I	480 442	16	styczeń	26	styczeń	7	naprawa bieżaca	37,50	Przygotowanie pojazdu do rejestracji, wymiana łożyska piasty, naprawa przedniego zawieszenia	Naprawa złożona – brak części
16.01	WT Lublin	DT Kielce	Citroen	F-6	I	241 000	16	styczeń	16	styczeń	1	przegląd przebiegowy - pogw.	5,00	Wymiana oleju w silniku i filtrów, naprawa świateł	
16.01	WT Lublin	DT Kielce	Iveco	F-7	III	826 328	16	styczeń	16	styczeń	1	naprawa bieżaca	5,00	Naprawa instalacji elektrycznej, brak kierunkowskazów,postojowych	

Zał. 2 Przykład raportu opisującego wykonane obsługi pojazdów

Zał. 3 Przykład wykazu użytych części i materiałów

	A	B	C	D	E	F
1	1	Citroen	13-5040-22	ODMRAŻACZ DO ZAMKÓW	1	H-7
2	1	Citroen	13-5040-22	ODMRAŻACZ DO SZYB	1	H-7
3	1	Citroen	06-5040-22	SKROBAK DO SZYB	1	H-7
4	1	Citroen	02-4010-22	OLEJ SILNIKOWY 5W30	1	H-7
5	1	Citroen	13-5040-22	DIESEL DFA-39 DODATEK DO ON	2	H-7
6	1	Citroen	02-4010-22	TOTAL QUARTZ ECS 5W/30	1	H-8
7	1	Ford	02-4010-22	OLEJ SILNIKOWY 10W40	7	H-6
8	1	Ford	02-4010-22	OLEJ SILNIKOWY 10W40	1	H-7
9	1	Volkswagen	12-5040-11	PŁYN PETRYGO 1L	1	H-5
10	1	Volkswagen	02-4010-22	OLEJ SILNIKOWY 10W40	7	H-6
11	1	Volkswagen	02-4010-22	OLEJ SILNIKOWY 10W40	7	H-6
12	1	Volkswagen	02-4010-22	OLEJ TRANSMISSION BV 75W/80 TOTAL	3	H-7
13	1A	Citroen	02-4010-22	OLEJ SILNIKOWY 10W40	1	H-3
14	1C	Peugeot	13-5040-22	ODMRAŻACZ DO ZAMKÓW	1	H-6
15	1C	Peugeot	13-5040-22	ODMRAŻACZ DO ZAMKÓW	1	H-6
16	1C	Peugeot	13-5040-22	ODMRAŻACZ DO SZYB	1	H-6
17	1C	Peugeot	13-5040-22	ODMRAŻACZ DO SZYB	1	H-6
18	1C	Peugeot	06-5040-22	SKROBAK DO SZYB	1	H-6
19	1C	Peugeot	06-5040-22	SKROBAK DO SZYB	1	H-6
20	1C	Peugeot	02-4010-22	OLEJ SILNIKOWY 5W30	1	H-6
21	1C	Peugeot	02-4010-22	OLEJ SILNIKOWY 5W30	1	H-6
22	1C	Peugeot	13-5040-22	DIESEL DFA-39 DODATEK DO ON	2	H-6
23	1C	Peugeot	13-5040-22	DIESEL DFA-39 DODATEK DO ON	2	H-6
24	1C	Peugeot	13-5040-22	ODMRAŻACZ DO ZAMKÓW	1	H-6
25	1C	Peugeot	13-5040-22	ODMRAŻACZ DO ZAMKÓW	1	H-6
26	1C	Peugeot	13-5040-22	ODMRAŻACZ DO SZYB	1	H-6
27	1C	Peugeot	13-5040-22	ODMRAŻACZ DO SZYB	1	H-6
28	1C	Peugeot	06-5040-22	SKROBAK DO SZYB	1	H-6
29	1C	Peugeot	06-5040-22	SKROBAK DO SZYB	1	H-6
30	1C	Peugeot	02-4010-22	OLEJ SILNIKOWY 5W30	1	H-6
31	1C	Peugeot	02-4010-22	OLEJ SILNIKOWY 5W30	1	H-6
32	1C	Peugeot	13-5040-22	DIESEL DFA-39 DODATEK DO ON	2	H-6
33	1C	Peugeot	13-5040-22	DIESEL DFA-39 DODATEK DO ON	2	H-6
34	1D	Citroen	02-4010-22	TOTAL QUARTZ ECS 5W/30	7	H-6
35	1D	Citroen	13-5040-22	ODMRAŻACZ DO ZAMKÓW	1	H-6
36	1D	Citroen	13-5040-22	ODMRAŻACZ DO SZYB	1	H-6
37	1D	Citroen	06-5040-22	SKROBAK DO SZYB	1	H-6
38	1D	Citroen	02-4010-22	OLEJ SILNIKOWY 5W30	1	H-6
39	1D	Citroen	12-5040-22	KONCENTRAT RADIATOR / G12 / A 1	1	H-6
40	1D	Citroen	13-5040-22	DIESEL DFA-39 DODATEK DO ON	1	H-6
41	1D	Citroen	13-5040-22	ODMRAŻACZ DO ZAMKÓW	1	H-6
42	1D	Citroen	13-5040-22	ODMRAŻACZ DO SZYB	1	H-6
43	1D	Citroen	06-5040-22	SKROBAK DO SZYB	1	H-6
44	1D	Citroen	02-4010-22	OLEJ SILNIKOWY 5W30	1	H-6
45	1D	Citroen	13-5040-22	DIESEL DFA-39 DODATEK DO ON	2	H-6
46	1D	Citroen	02-4010-22	TOTAL QUARTZ ECS 5W/30	7	H-6

Zał. 4 Wartości przebiegów wykonanych przez pojazdy modelu X, ze średnim spalaniem właściwym dla każdej z trzech klas spalania paliwa

Nr pojazdu	L_c [km]	L_{sn} [km]	$L_{śśr}$ [km]	L_{sw} [km]
1	105050	67556	31042	6452
2	157824	80623	61250	15951
3	80421	31707	44483	4231
4	140938	68068	40816	32054
5	138569	106300	20719	11550
6	110455	54968	47458	8029
7	101398	61342	19315	20741
8	73012	15868	45931	11213
9	39624	34974	3368	1282
10	179198	49294	45469	84435
11	125323	64804	38207	22312
12	155967	120589	25331	10047
13	98404	65653	15628	17123
14	120338	44378	51690	24270
15	101830	29669	51426	20735
16	98353	19112	75786	3455
17	85900	12667	36527	36706
18	99163	6611	25035	67517
19	89921	69941	9738	10242
20	78157	7213	37254	33690
21	72123	6358	18512	47253
22	59735	11557	21423	26755
23	135405	80296	39797	15312
24	120445	27826	69908	22711
25	143375	39935	79162	24278
26	106915	67996	24396	14523
27	62591	26017	17652	18922
28	120920	21874	91291	7755
29	78283	39119	26283	12881
30	62557	17670	19940	24947
31	84381	24196	32352	27833
32	97581	71482	16638	9461
33	111365	54593	37695	19077
34	83561	67478	9489	6594
35	120024	67454	29530	23040
36	132700	74695	31431	26574
37	159931	70046	64425	25460
38	122705	2546	5355	114804
39	54647	2760	5715	46172
40	49168	10799	6214	32155
41	57575	36434	13608	7533
42	105050	67556	31042	6452
43	157824	80623	61250	15951

Źródło: opracowanie własne.

Zał. 5 Udziały przebiegów wykonanych ze spalaniem właściwym dla każdej z trzech klas spalania w stosunku do przebiegu całkowitego pojazdu oraz liczba dni w naprawie na 10 tys. km przebiegu dla pojazdów modelu X

Nr pojazdu	θ_n	$\theta_{śr}$	θ_w	D_{NP}
1	0.643	0.296	0.061	0.57
2	0.511	0.388	0.101	0.13
3	0.394	0.553	0.053	0.75
4	0.483	0.290	0.227	0.35
5	0.767	0.150	0.083	1.01
6	0.497	0.430	0.073	0.36
7	0.605	0.190	0.205	1.68
8	0.217	0.629	0.154	0.14
9	0.883	0.085	0.032	1.26
10	0.275	0.254	0.471	0.84
11	0.517	0.305	0.178	0.88
12	0.773	0.162	0.065	0.77
13	0.667	0.159	0.174	2.13
14	0.368	0.430	0.202	0.83
15	0.291	0.505	0.204	2.26
16	0.194	0.771	0.035	0.61
17	0.148	0.425	0.427	1.51
18	0.067	0.252	0.681	2.32
19	0.778	0.108	0.114	2.78
20	0.092	0.477	0.431	1.66
21	0.088	0.257	0.655	3.47
22	0.193	0.359	0.448	1.34
23	0.593	0.294	0.113	1.03
24	0.231	0.580	0.189	0.66
25	0.279	0.552	0.169	3.42
26	0.636	0.228	0.136	1.96
27	0.416	0.282	0.302	1.28
28	0.181	0.755	0.064	2.15
29	0.499	0.336	0.165	1.66
30	0.282	0.319	0.399	1.12
31	0.287	0.383	0.33	0.24
32	0.732	0.171	0.097	0.61
33	0.491	0.338	0.171	1.35
34	0.807	0.114	0.079	0.84
35	0.562	0.246	0.192	1.50
36	0.563	0.237	0.200	0.53
37	0.438	0.403	0.159	0.94
38	0.021	0.044	0.935	2.12
39	0.051	0.105	0.844	2.56
40	0.220	0.126	0.654	1.02
41	0.633	0.236	0.131	0.35
42	0.683	0.175	0.142	0.40
43	0.777	0.101	0.122	1.48

Źródło: opracowanie własne.

Zał. 6 Wartości przebiegów wykonanych przez pojazdy modelu X, ze średnim spalaniem właściwym dla każdej z pięciu klas spalania paliwa

Nr pojazdu	L_{snn} [km]	L_{sn} [km]	$L_{sśr}$ [km]	L_{sw} [km]	L_{snw} [km]
1	31679	46425	17648	5151	4147
2	12811	88278	35080	14253	7402
3	13098	31335	29402	3470	3116
4	42164	33837	27649	18675	18613
5	91792	19663	12243	8620	6251
6	12431	58442	29540	5137	4905
7	42925	23643	10409	11974	12447
8	3118	23979	29101	11060	5754
9	25159	10950	2072	1044	399
10	24255	33395	27196	66837	27515
11	38613	36688	22463	14590	12969
12	69473	65116	10143	6385	4850
13	46301	21097	11363	7546	12097
14	8405	45129	39820	11673	15311
15	5528	49088	23474	10877	12863
16	2967	34524	55094	4428	1340
17	5125	12910	22620	24249	20996
18	4617	5308	19100	36243	33895
19	41091	32570	5421	4526	6313
20	4040	6339	28257	20627	18894
21	4029	4986	11329	23013	28766
22	9202	8421	10928	15879	15305
23	56112	36154	24739	9960	8440
24	13024	31471	49705	11727	14518
25	18523	52328	43534	15969	13021
26	36169	40132	14230	9590	6794
27	14969	14508	11771	9613	11730
28	9394	24630	75030	6615	5251
29	27870	16905	17109	9483	6916
30	10089	11872	12033	11246	17317
31	15689	16810	21107	12254	18521
32	53288	22942	10229	6875	4247
33	10219	60540	15966	14694	9946
34	45042	23757	6426	4549	3787
35	22535	54479	17179	10547	15284
36	65935	18018	13849	20841	14057
37	37802	49209	42344	14827	15749
38	1452	1798	2819	69849	46787
39	2017	988	3091	31898	16653
40	7556	5088	3538	21383	11603
41	23235	17116	8456	5358	3410
42	29796	6363	5537	3877	4227
43	10038	749	1069	828	816

Źródło: opracowanie własne.

Zał. 7 Udziały przebiegów wykonanych ze spalaniem właściwym dla każdej z pięciu klas spalania w stosunku do przebiegu całkowitego pojazdu oraz liczba dni w naprawie na 10 tys. km przebiegu dla pojazdów modelu X

Nr pojazdu	θ_{nn}	θ_{n}	$\theta_{śr}$	θ_{w}	θ_{nw}	D_{NP}
1	0.302	0.442	0.168	0.049	0.039	0.57
2	0.081	0.559	0.222	0.091	0.047	0.13
3	0.163	0.39	0.365	0.043	0.039	0.75
4	0.299	0.24	0.196	0.133	0.132	0.35
5	0.663	0.142	0.088	0.062	0.045	1.01
6	0.113	0.529	0.267	0.047	0.044	0.36
7	0.423	0.233	0.103	0.118	0.123	1.68
8	0.043	0.328	0.399	0.151	0.079	0.14
9	0.635	0.277	0.052	0.026	0.01	1.26
10	0.135	0.186	0.152	0.373	0.154	0.84
11	0.308	0.293	0.179	0.117	0.103	1.04
12	0.445	0.418	0.065	0.041	0.031	0.77
13	0.471	0.214	0.115	0.077	0.123	2.13
14	0.070	0.375	0.331	0.097	0.127	0.83
15	0.054	0.482	0.231	0.107	0.126	2.26
16	0.030	0.351	0.560	0.045	0.014	0.61
17	0.060	0.151	0.263	0.282	0.244	1.51
18	0.046	0.054	0.193	0.365	0.342	2.32
19	0.457	0.362	0.060	0.051	0.07	2.78
20	0.051	0.081	0.362	0.264	0.242	1.66
21	0.056	0.069	0.157	0.319	0.399	3.47
22	0.154	0.141	0.183	0.266	0.256	1.34
23	0.414	0.267	0.183	0.074	0.062	1.03
24	0.108	0.261	0.413	0.097	0.121	0.66
25	0.129	0.365	0.304	0.111	0.091	3.42
26	0.338	0.375	0.133	0.090	0.064	1.96
27	0.239	0.232	0.188	0.154	0.187	1.28
28	0.078	0.204	0.620	0.055	0.043	2.15
29	0.356	0.216	0.219	0.121	0.088	1.66
30	0.161	0.190	0.192	0.180	0.277	1.12
31	0.186	0.199	0.251	0.145	0.219	0.24
32	0.546	0.235	0.105	0.07	0.044	0.61
33	0.092	0.544	0.143	0.132	0.089	1.35
34	0.539	0.284	0.077	0.055	0.045	0.84
35	0.188	0.454	0.143	0.088	0.127	1.50
36	0.497	0.136	0.104	0.157	0.106	0.53
37	0.236	0.308	0.265	0.093	0.098	0.94
38	0.012	0.015	0.023	0.569	0.381	2.12
39	0.036	0.018	0.057	0.584	0.305	2.56
40	0.154	0.103	0.072	0.435	0.236	1.02
41	0.404	0.297	0.147	0.093	0.059	0.35
42	0.598	0.128	0.111	0.078	0.085	0.40
43	0.744	0.055	0.079	0.061	0.061	1.48

Źródło: opracowanie własne.

Zał. 7 Wartości przebiegów wykonanych przez pojazdy modelu Y, ze średnim spalaniem właściwym dla każdej z trzech klas spalania paliwa

Nr pojazdu	L_c [km]	L_{sn} [km]	$L_{śśr}$ [km]	L_{sw} [km]
1	36121	6763	17554	11804
2	50487	41165	4521	4801
3	21946	5212	8356	8378
4	36575	7830	13978	14767
5	6726	667	3712	2347
6	70562	56375	6228	7959
7	8316	1804	3814	2698
8	40405	6389	20407	13609
9	36114	9653	14738	11723
10	32462	4866	12382	15214
11	41675	4399	15693	21583
12	37844	31628	4202	2014
13	37983	10074	21099	6810
14	33235	23174	5444	4617

Źródło: opracowanie własne.

Zał. 8 Udziały przebiegów wykonanych ze spalaniem właściwym dla każdej z trzech klas spalania w stosunku do przebiegu całkowitego pojazdu oraz liczba dni w naprawie na 10 tys. km przebiegu dla pojazdów modelu Y

Nr pojazdu	θ_n	$\theta_{śr}$	θ_w	D_{NP}
1	0.187	0.486	0.327	5.54
2	0.815	0.09	0.095	2.57
3	0.237	0.381	0.382	2.73
4	0.214	0.382	0.404	4.10
5	0.099	0.552	0.349	5.95
6	0.799	0.088	0.113	0.99
7	0.217	0.459	0.324	2.41
8	0.158	0.505	0.337	2.47
9	0.267	0.408	0.325	1.38
10	0.150	0.381	0.469	2.46
11	0.105	0.377	0.518	5.52
12	0.836	0.111	0.053	0.26
13	0.266	0.555	0.179	1.32
14	0.697	0.164	0.139	2.41

Źródło: opracowanie własne.

Zał. 9 Wartości przebiegów wykonanych przez pojazdy modelu Y, ze średnim spalaniem właściwym dla każdej z pięciu klas spalania paliwa

Nr pojazdu	L_{snn} [km]	L_{sn} [km]	$L_{sśr}$ [km]	L_{sw} [km]	L_{snw} [km]
1	747	8129	10432	9652	7161
2	38477	3159	2568	3485	2798
3	1446	5164	5049	6125	4162
4	1849	8613	7575	9515	9023
5	49	1294	1904	2388	1091
6	52616	4658	3845	3688	5755
7	520	1740	2161	1991	1904
8	952	7774	10066	12405	9208
9	2975	9028	7019	8468	8624
10	1131	5470	7244	8644	9973
11	1205	5195	9855	9968	15452
12	30275	2158	3113	912	1386
13	3408	10694	12537	7952	3392
14	21108	2639	4367	1190	3931

Źródło: opracowanie własne.

Zał. 10 Udziały przebiegów wykonanych ze spalaniem właściwym dla każdej z pięciu klas spalania w stosunku do przebiegu całkowitego pojazdu oraz liczba dni w naprawie na 10 tys. km przebiegu dla pojazdów modelu Y

Nr pojazdu	θ_{nn}	θ_{n}	$\theta_{śr}$	θ_{w}	θ_{nw}	D_{NP}
1	0.021	0.225	0.289	0.267	0.198	5.54
2	0.762	0.063	0.051	0.069	0.055	2.57
3	0.066	0.235	0.230	0.279	0.190	2.73
4	0.051	0.235	0.207	0.260	0.247	4.10
5	0.008	0.192	0.283	0.355	0.162	5.95
6	0.746	0.066	0.054	0.052	0.082	0.99
7	0.063	0.209	0.260	0.239	0.229	2.41
8	0.024	0.192	0.249	0.307	0.228	2.47
9	0.082	0.250	0.194	0.235	0.239	1.38
10	0.035	0.169	0.223	0.266	0.307	2.46
11	0.029	0.125	0.236	0.239	0.371	5.52
12	0.800	0.057	0.082	0.024	0.037	0.26
13	0.090	0.282	0.33	0.209	0.089	1.32
14	0.635	0.079	0.132	0.036	0.118	2.41

Źródło: opracowanie własne.

Zał. 11 Przykład użytego skryptu napisanego w języku Java

```
if (c_Przebieg==null) {
   c_Przebieg=c_Aktualnyprzebieg;
}  else {
   c_Przebieg=c_Przebieg;
}
out_Przebieg = c_Przebieg;
```