

Na prawach rękopisu
do użytku służbowego

INSTYTUT KONSTRUKCJI I EKSPLOATACJI MASZYN
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Report Serii PREPRINTY Nr 071(671)/80

P r a c a d o k t o r s k a

SYMULACYJNE BADANIA NIEZAWODNOŚCI
NA PRZYKŁADZIE
AUTOBUSU MIEJSKIEGO JELCZ PR110U

Marek Młyńczak

Promotor: doc. dr inż. Jerzy Marcinkowski

Słowa kluczowe:
autobus,
niezawodność,
badanie symulacyjne

Wrocław 1980

SPIS RZECZY

Spis ważniejszych oznaczeń	3
1. Wstęp	4
2. Stan zagadnienia w literaturze	5
3. Cel, teza i program pracy	16
3.1. Cel pracy	16
3.2. Teza pracy	17
3.3. Program pracy	17
4. Model systemu eksploatacji autobusu	17
4.1. System eksploatacji urządzenia	17
4.2. Proces eksploatacji urządzenia	20
4.3. Charakterystyki ocenowe systemu eksploatacji	22
5. Analiza niezawodnościowa obiektu badań	25
5.1. Przestrzeń stanów niezawodnościowych obiektu badań	25
5.2. Struktura niezawodnościowa obiektu badań	27
5.3. Charakterystyki ocenowe niezawodności obiektu	27
5.4. Ocena słabych ogniw pojazdu	29
6. Badania eksperymentalne	30
6.1. Organizacja badań eksploatacyjnych	30
6.2. Charakterystyka obiektu badań	32
6.3. Metoda badań eksploatacyjnych	36
6.4. Realizacja badań eksploatacyjnych	38
6.5. System zbierania informacji	38
7. Opracowanie wyników badań eksploatacyjnych	39
7.1. Wyniki analizy procesu użytkowania	40
7.2. Wyniki analizy procesu obsługiwanania	60
7.3. Wyniki analizy procesu uszkodzalności pojazdu	60
8. Symulacyjna metoda badania niezawodności pojazdu	73
8.1. Geneza metody symulacyjnej	73
8.2. Opis modelu symulacyjnego procesu eksploatacji autobusu	73
8.3. Opis bloków funkcjonalnych modelu	75
8.4. Realizacja badań symulacyjnych	86
8.5. Wyniki badań symulacyjnych	88
9. Podsumowanie i wnioski	93
Literatura	96
Załączniki	101

SPIS WAŻNIEJSZ OZNACZEŃ

- C_1 - zmienna losowa czasu jazdy w szczyt porannym
- C_2 - zmienna losowa czasu jazdy w szczyt popołudniowym
- C_3 - zmienna losowa czasu jazdy całonocnej
- C_4 - zmienna losowa czasu oczekiwania na jazdę (nocnego)
- C_5 - zmienna losowa czasu oczekiwania na jazdę między szczytami
- C_6 - zmienna losowa średniej dziennej prędkości jazdy
- C_7 - zmienna losowa średniego dziennego zużycia paliwa
- C_8 - zmienna losowa średniego dziennego zużycia oleju silnikowego
- C_9 - zmienna losowa przebiegu do I uszkodzenia elementów
- C_{10} - zmienna losowa przebiegu między uszkodzeniami elementów
- C_{11} - zmienna losowa czasu oczekiwania na naprawę elementu
- C_{12} - zmienna losowa czasu naprawy elementu
- d - wskaźnik kolejnego dnia eksploatacji $d = 1, \dots, D$
- d_k - liczba realizacji zmiennej losowej X o wartości k
- K - liczba przedziałów klasowych
- L_i - przebieg pojazdów w i -tym dniu pracy
- $L(t_B)$ - przebieg pojazdu w chwili t_B - zakończenia badań
- L_{1k} - przebieg do I uszkodzenia k -tego elementu
- L_{Ujk} - przebieg między uszkodzeniem j -tym a $j-1$, k -tego elementu
- n_f - liczba uszkodzeń f -tego elementu
- n_j - liczba realizacji zmiennej losowej w j -tym przedziale klasowym
- N - liczba uszkodzeń, liczba realizacji zmiennych losowych
- $p(x_k)$ - prawdopodobieństwo przyjęcia przez zmienną losową x wartości k
- t_B - okres badań
- T_B - sumaryczny czas badań M -obiektów
- T_{id} - czas trwania i -tego stanu eksploatacji $i = 3, 4$ w dniu eksploatacji $d = 1, \dots, D$
- T_{ij} - czas trwania i -tego stanu eksploatacji $i = 1, 2$, przy wystąpieniu j -tego uszkodzenia pojazdu
- T_{OCZ} - czas oczekiwania na obsługiwanie
- T_{NB} - czas trwania obsługiwanego (naprawy bieżącej)
- m_x - wartość średnia zmiennej losowej X
- σ_x^2 - wariancja zmiennej losowej X
- σ_x - odchylenie standardowe zmiennej losowej X
- $\tilde{m}_x$ - mediana rozkładu prawdopodobieństwa $F(\tilde{m}_x) = 0,5$
- V_x - współczynnik zmienności wariancji zmiennej losowej X
- X_k - zmienna losowa X o wartości k

- $X_{\max}, X_{\min}$ - największa i najmniejsza w próbie wartość realizacji zmiennej losowej X
 λ_{α} - wartość krytyczna statystyki λ -Kolmogorowa na poziomie istotności α
 λ - statystyka λ -Kolmogorowa, intensywność uszkodzeń
 θ, δ - parametry rozkładu Weibulla
 $\Gamma(\cdot)$ - funkcja gamma

WSTĘP

Wobec szybkiego przyrostu ilości eksploatowanych urządzeń technicznych konieczne staje się przewidywanie zachowań systemu eksploatacji, współdziałającego z otoczeniem, oraz umożliwienie w sferze projektowania nowych urządzeń, sterowania ich parametrami niezawodnościowymi dla zapewnienia wysokich efektywności rozpatrywanych systemów.

W trakcie badań eksploatacyjnych autobusów miejskich, prowadzonych w Instytucie Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej w ramach Problemu Węzłowego 05.14., wyłonił się problem ustalenia optymalnych parametrów procesu eksploatacji i zbadania wpływu modernizacji obiektu badań na jego wskaźniki niezawodnościowe.

Rozwiązanie takiego zagadnienia możliwe jest przy wykorzystaniu cyfrowego modelu symulacyjnego procesu eksploatacji i operującego losowymi parametrami wyznaczonymi w oparciu o badania rzeczywistego procesu eksploatacji urządzenia.

Dostępna literatura nie dostarcza jednak dostatecznej ilości informacji dotyczących probabilistycznego opisu procesu eksploatacji autobusów miejskich i parametrów niezawodnościowych ich elementów konstrukcyjnych.

Wynika stąd konieczność poprzedzenia budowy modelu symulacyjnego badaniami eksploatacyjnymi i zebraniem w ich toku niezbędnych danych o procesie eksploatacji zachodzącym w naturalnych warunkach ruchu miejskiego.

Druga część pracy zawiera próbę stworzenia cyfrowego modelu symulacyjnego opartego na wcześniejszych badaniach eksploatacyjnych i pozwalającego na obserwację obiektu badań i systemu eksploatacji przy różnych parametrach charakteryzujących proces użytkowania i niezawodność zarówno jakościowych jak i ilościowych.

2. STAN ZAGADNIENIA W LITERATURZE

Jednym ze środków poznawczych dla istniejących urządzeń technicznych są badania eksploatacyjne.

Ich podstawowa cecha t.j. obserwacja i rejestracja zachowań obiektu w trakcie jego pracy sprawia, że posiadają one potencjalnie największą wiarygodność.

W pracy [35] przeprowadzono wielokryterialny podział metod badawczych obejmujący intensywność badań, ich plan oraz sposób realizacji, warunki pracy obiektu i czas trwania badań (tabela 1).

Tabela 1

Podział badań eksploatacyjnych

Grupa	Kryterium podziału	Metody badań
I	Intensywność badań	1. Badania nieintensyfikowane 2. Badania zintensyfikowane
II	Plan badań	1. Badania w zadanym przed. czasie 2. Badania do zadanej liczby uszkodzeń
III	Sposób realizacji	1. Badania ciągłe 2. Badania cykliczne 3. Badania warstwowe
IV	Warunki pracy	1. Badania kontrolowane w nominalnych warunkach eksploatacji 2. Badania obserwowane w naturalnych warunkach eksploatacji
V	Czas badań	1. Badania normalne 2. Badania przyspieszone

W pracy [28] podano zwięzłą definicję badań eksploatacyjnych samochodów oraz przeprowadzono podział różnych metod badawczych. Dokonano systematycznego opisu eksploatacyjnych badań metodą próby ciągłej i warstwowej.

Metoda badań wg próby ciągłej zakłada obserwację wybranej próbki

pojazdów w przedziale czasu (t_0, t_B) przy zmniejszającym się potencjale eksploatacyjnym pojazdów od wartości $Z_j(t_0)$ do $Z_j(t_B)$; gdzie j - numer badanego pojazdu. Badania takie wymagają więc prowadzenia obserwacji pojazdów w dość długim czasie odpowiadającym założonemu zużyciu potencjału eksploatacyjnego ΔZ_B .

Można co prawda skrócić wymagany czas badań $T_B = t_B - t_0$ poprzez intensyfikację wymuszeń starzeniowych, ale pojawienie się wówczas problemów związanych z wyznaczeniem funkcji odwzorowania $\varphi(\cdot)$ warunków intensyfikowanych na warunki rzeczywistej eksploatacji, praktycznie eliminuje tą drogą postępowania.

$$q(T_G, \varepsilon) = \varphi[q(T_B, \varepsilon_B)]$$

$q(T_G, \varepsilon)$ - prawdopodobieństwo uszkodzenia w eksploatacji normalnej w czasie T_G

$q(T_B, \varepsilon_B)$ - prawdopodobieństwo uszkodzenia w eksploatacji intensyfikowanej w czasie T_B

ε - zbiór parametrów eksploatacyjnych

Autorzy [28], podkreślają także "znikomą" przydatność przyspieszonych badań eksploatacyjnych, ograniczoną na razie do jednego parametru opisującego niezawodność $X(t, \varepsilon)$

Metodą badawczą nie wymagającą określenia wspomnianej funkcji odwzorowania $\varphi(\cdot)$ i znacznie skracającą czas badań jest metoda próby warstwowej opierająca się na założeniu:

$$Q_{i+1}(Z_{i+1} + Z) = Q_{i+1}(Z_{i+1}, Z_{i+1} + Z) Q(Z_{i+1})$$

$Q_i(Z)$ - prawdopodobieństwo uszkodzenia pojazdu z i -tej warstwy do chwili zużycia potencjału Z

Z powyższego stwierdzenia wynika, że w badaniach należy obserwować N obiektów w każdej z K warstw, w ciągu czasu T_B wymaganego do zużycia potencjału $\frac{Z_G}{K}$. Daje to K -krotne skrócenie czasu badań w stosunku do badań prowadzonych metodą próby ciągłej, ale dzieje się to kosztem k -krotnego powiększenia zbioru obserwowanych obiektów, przy zachowaniu dokładności wyników.

Dodatkowym ograniczeniem jest konieczność dysponowania dużą liczbą obiektów o potencjałach eksploatacyjnych pozwalających na pokrycie całego badanego obszaru zużycia potencjału. Ta wada metody prób warstwowych ujawnia się szczególnie przy badaniu obiektów nowoprodukowanych

lub tworzących małojednorodnie pod względem konstrukcyjnym oraz pod względem warunków eksploatacji populacje. W literaturze odnaleźć można wiele opisów przeprowadzonych badań eksploatacyjnych, których wspólną cechą są przedstawione metody próby ciągłej i warstwowej [15, 20, 34, 37, 47, 49, 71].

Niestety podawane wyniki badań są trudno porównywalne ze względu na brak jednolitej formalizacji opisów metod i różnych celów stawianych w opisywanych badaniach.

Kompleksowe badania niezawodności pojazdów, zawierające analizę procesu eksploatacji, procesu uszkodzeń na poziomach złożoności obiektu, jego układów i elementów oraz weryfikujące system obsługiwanie przedstawiono w pracach [15, 47, 49].

Badania niezawodnościowe o podobnie szerokim zakresie przeprowadzono również dla maszyn włókienniczych [7], motorowerów [37], obrabiarek sterowanych numerycznie [71], maszyn rolniczych [11], narzędzi zmechanizowanych [55], statków powietrznych [38] i silników wysokoprężnych [13].

Cechą charakterystyczną badań eksploatacyjnych jest obserwacja obiektu w trakcie jego naturalnej pracy. Praktycznie więc, brak jest możliwości ingerencji ze strony badacza, w sferę zachowań obiektu. Stąd też badania takie prowadzą zwykle do matematycznego opisu procesu eksploatacji poprzez wyznaczenie parametrów procesu lub rozkładów prawdopodobieństwa badanych cech rzeczywistości. Niemniej jednak w problematyce eksploatacyjnej konieczne jest poznanie odpowiedzi systemu eksploatacji na wprowadzone do niego zmiany, co przy złożonych rzeczywistych systemach jest trudne do rozwiązania w sposób analityczny. Natomiast działania metodą planowanego eksperymentu [54] polegające na kolejnych obserwacjach systemu ze zmieniającymi parametrami procesu eksploatacji byłoby zbyt czasochłonne i zbyt kosztowne, nie dając prawdopodobnie dużej poprawy efektywności działania systemu.

Również w zagadnieniach odnowy urządzeń, analityczne rozwiązywanie problemów natrafia na wiele problemów związanych głównie ze złożoną postacią rozkładów prawdopodobieństwa badanych zmiennych.

Zwykle, strumienie zgłoszeń do systemu odnowy przybliża się strumieniem Poissona, a rozkład czasów poprawnej pracy między uszkodzeniami rozkładami: wykładniczym lub Erlanga [12, 22, 28, 30, 45, 59, 68].

W wielu przypadkach zachodzą wspomniane zależności, gdyż rozkłady uszkodzeń o charakterze katastroficznym są rozkładami wykładniczymi [3, 20, 50, 57], a przy wykorzystaniu twierdzenia Palma - Chinczyne

[59] można wykazać, że suma intensywności uszkodzeń n -pojedynczych i stacjonarnych procesów jest stała oraz, że superpozycja $i = 1, 2, \dots, n$ procesów $N_i(t)$ zdąży przy $n \rightarrow \infty$ do procesu Poissona z parametrem λ . Dla tych niezbyt złożonych procesów określenie oczekiwanej liczby odnów w przedziale czasu $[0, t]$ jest zagadnieniem łatwym [59], np. dla prostego strumienia odnowy i wykładniczego rozkładu czasu pracy z parametrem λ : $H(t) = E[N(t)] = \lambda t$.

Niestety dla procesów ze skróconym czasem odnowy funkcja odnowy jest trudna do wyznaczenia jeśli rozkłady czasów pracy i naprawy są inne niż wykładnicze [4, 22, 46]. Konieczne jest wówczas obliczenie całki złożonej:

$$H(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^t F_n(t - \tau) dG_n(\tau)$$

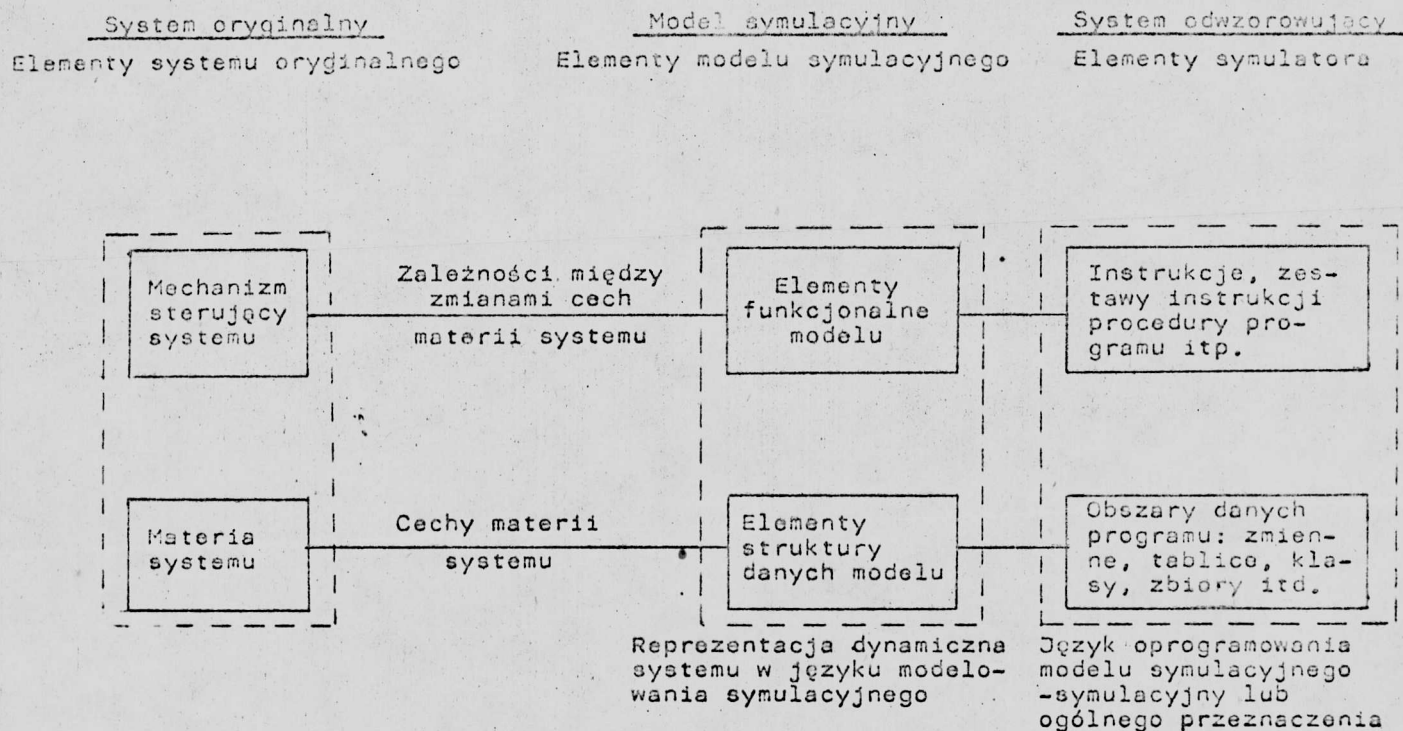
gdzie: $F_n(t)$ jest rozkładem czasu pracy

$G_n(t)$ jest rozkładem czasu naprawy

Obecny stan elektronicznej techniki obliczeniowej pozwala na nowe oryginalne rozwiązywanie podobnych problemów za pomocą symulacji cyfrowej. Pozwala ona na odtwarzanie, w postaci ciągów obliczeń na BMC, rzeczywistych procesów uszkodzeń i napraw obiektów technicznych przy zadanych parametrach tych procesów. Wyniki obliczeń z maszyny cyfrowej są następnie opracowywane statystycznie stając się podstawą rozwiązania postawionych zagadnień. [21]

Model symulacyjny jest końcowym etapem działania zmierzającego do wyselekcjonowania i zapisu cech rzeczywistego systemu oraz wyznaczenia zależności chronologicznych między nimi. Definicja modelu symulacyjnego może być sformułowana następująco [43]. Model symulacyjny badanego procesu to "opis istotnych cech materii odwzorowywanego systemu oraz algorytmów ich zmienności w czasie". Dynamiczny opis zachowania się modelu symulacyjnego w języku symulacyjnym, dający możliwości rozwiązywania problemów nazywany jest symulatorem [21, 43].

Jak więc wynika z tych definicji, niezależnie od technik symulacyjnych, różnych języków programowania i wykorzystywanych maszyn liczących, zasadniczym działaniem w badaniach symulacyjnych jest identyfikacja rzeczywistego systemu będącego obiektem badań i sprowadzenie go poprzez odpowiednie przekształcenia do postaci najbardziej użytecznej dla celów badawczych. Schemat takiego postępowania zawierający związki między systemem oryginalnym, modelem symulacyjnym i symulatorem przedstawiono na rysunku 1 [43]:



Rys. 1. Wzajemne relacje zachodzące pomiędzy systemem oryginalnym, modelem symulacyjnym i systemem odwzorowującym.

Opracowania badawcze z zakresu symulacji cyfrowej, zwanej również modelowaniem statystycznym [42], zawierają najczęściej krótkie opisy modeli symulacyjnych [9, 38, 42] oraz uproszczone algorytmy działania symulatorów [38, 42, 61, 67].

W pracy [38] przedstawiono metody badań symulacyjnych zastosowanych do: 1^o - oceny charakterystyk probabilistycznych funkcji zmiennej losowej i 2^o - szacowania wskaźników niezawodności obiektów pracujących w wielostanowym procesie eksploatacji. W punkcie 2^o zawarto schematyczny opis metody badań symulacyjnych obiektu pracującego w trójstanowym procesie eksploatacji. Wyróżniono stany: pracy, oczekiwania na naprawę i naprawy. Celem badań było wyznaczenie funkcji gotowości technicznej dla badanego obiektu, przy zadanych rozkładach prawdopodobieństwa jako zmiennych wejściowych, którymi były czasy trwania poszczególnych stanów eksploatacyjnych.

Nieco szerszy zakres badań niezawodności obejmujący etap identyfikacji rzeczywistego systemu oraz etap badań symulacyjnych wykorzystujących wyniki pierwszego etapu przedstawiono w [55]. Przyjęto szeregową strukturę badanych narzędzi zmechanizowanych i określono rozkłady prawdopodobieństwa poprawnej pracy dla trzech grup elementów

konstrukcyjnych narzędzi. Ograniczono się tu jednak do przybliżenia rzeczywistości procesem odnowy bez uwzględnienia czasu odnowy. Parametrami wyjściowymi z modelu symulacyjnego były wartości oczekiwane $E[T]$ czasu między odnowami, funkcja niezawodności $R(t)$ oraz funkcja intensywności uszkodzeń narzędzia $\lambda(0, t)$.

Ocenę procesu odnowy z natychmiastową odnową przeprowadzono również w pracy [42]. Podane schematy postępowania i algorytm metody pozwalają na ilościową charakterystykę procesu z dowolnymi rozkładami prawdopodobieństwa czasu między uszkodzeniami. Wyniki modelowania sprowadzono do: intensywności strumienia uszkodzeń prawdopodobieństwa poprawnej pracy systemu, średniej liczby odnów w kolejnych przedziałach badań oraz do wartości czasu, po którym proces odnowy staje się ustalony w sensie stochastycznym.

Koncepcję modelu symulacyjnego procesu eksploatacji jednej linii żeglugowej zawiera praca [1]. Jest ona przykładem wykorzystania wyników badań symulacyjnych, w postaci wielkości charakteryzujących pracę i zdolność przewozową oraz wskaźników wykorzystania i naprawialności obiektu badań, do projektowania systemu eksploatacji floty morskiej.

Linie żeglugowe były też przedmiotem badań [9], w których na podstawie modelowania statystycznego określono koszty eksploatacji, wpływy i zyski z eksploatowanych linii, wielkość przewozów oraz stopień wykorzystania zdolności przewozowej, jako funkcje liniowe czterech wybranych czynników (czas między remontami, koszt, czas trwania i miejsce wykonania remontu).

[Również w [61] efektem symulacji systemu eksploatacji obrabiarek były wielkości wskaźnikowe: ilość postojów, współczynnik gotowości, średni czas pracy i postoju systemu. W procesie eksploatacji wyróżniono 6 stanów eksploatacji obrabiarki.]

Metody badań symulacyjnych stosowane są szeroko w transporcie kolejowym [52, 67]. Technika symulacyjna pozwala tu na rozwiązywanie problemów organizacji stacji rozrządowych na etapie projektowania i eksploatacji [52]. Szczegółowo opisano model technologii pracy stacji rozrządowej oraz język symulacyjny SYM 69.

Na uznanie zasługuje wnikliwa analiza teorii masowej obsługi pod kątem możliwości stosowania do niej metod symulacyjnych. Podobne zagadnienie modelowania stacji rozrządowej zasygnalizowano w pracy [67], uzupełniając je ponadto oceną dokładności wyników uzyskiwanych z symulacji cyfrowej.

Ciekawym opracowaniem jest [39] dotyczącym modelu kampanii zniwnej. Dokonano symulacji zbioru i transportu ziarna dla 9 wariantów tego procesu, badając wpływ losowych wartości czynników techniczno-organizacyjnych na długość czasu trwania zniw. Badania symulacyjne są więc tu narzędziem planowania systemu eksploatacji minimalizującym funkcję celu w postaci czasu trwania kampanii.

Model symulacyjny badanego procesu eksploatacji wymaga znajomości obiektu eksploatacji, zależności funkcjonalnych i ich zmienności w czasie dla oryginału [66].

Dostępna literatura na temat zagadnień eksploatacji autobusów miejskich jest raczej skąpa, a opracowania [15, 16] nie zawierają wszystkich niezbędnych informacji mogących być podstawą badań symulacyjnych takiego obiektu. Stąd też wynika potrzeba przeprowadzenia analizy systemu eksploatacji i bardziej wnikliwej analizy niezawodnościowej autobusu.

Dogłębne rozpoznanie obiektu pracującego w rzeczywistym systemie eksploatacji umożliwia badania eksploatacyjne oraz wielostronne opracowanie wyników tych badań [15, 29, 34, 56]. Główne etapy takich badań to [28]:

- 1° Wstępny program badań eksploatacyjnych
- 2° Wybór metody badań
- 3° Organizacja systemu badań eksploatacyjnych
- 4° Losowanie obiektów
- 5° Opracowanie systemu zbierania i przetwarzania informacji
- 6° Realizacja badań
- 7° Opracowanie wyników badań

Przedstawione powyżej trzy pierwsze etapy są zależne od stawianego celu, wielkości zespołu badawczego, jego inwencji i zasobów finansowych, a także ma na nie wpływ rodzaj obiektu badań [7, 11, 28, 37, 47, 55].

Wyznaczenie próbki badawczej związane jest między innymi z wyborem planu badań, określeniem liczności próbki i losowym wyborem obiektów z populacji generalnej.

Wyboru planu badań dokonuje się na podstawie wstępnych informacji o eksploatacyjnej sytuacji badawczej [28] dotyczących:

- obiektu badań (stopień złożoności, charakter pracy, system odnowy obiektu)

- właściwości eksploatacyjno-niezawodnościowych obiektu
- celu badań

Biorąc pod uwagę cztery czynniki:

- N - ilość badanych obiektów
- sposób odnowy obiektu (B - bez wymiany; obiekty nieodnawialne, W - odnowa przez wymianę uszkodzonego elementu na nowy)
- r - liczba uszkodzeń
- T - czas badań

Utworzyć można 6 różnych planów badań [22] :

NBT; NBr; NB (r, T)

NWT; NWr; NW (r, T)

Wprowadzając dodatkowo dwie informacje o sposobie odnowy [15] , mianowicie:

R - zmiana nastawy (strojenie)

U - uzupełnienie cieczy eksploatacyjnych

oraz dopuszczając czas prowadzenia badań do chwili uszkodzenia wszystkich elementów $r = N$, można otrzymać co najmniej 16 kombinacji planów badań. W podanych planach, czas T powinien być rozumiany szerzej niż tylko jako upływający czas kalendarzowy, gdyż badania niezawodnościowe w zależności od rodzaju obiektu prowadzi się np. do zadanej liczby cykli pracy, czy też dla pojazdów, do określonego przebiegu mierzonego liczbą przebytych kilometrów [15, 28, 49] .

Liczność przyjętej do badań próbki ograniczona jest z jednej strony żadaną dokładnością pomiaru, z drugiej natomiast jego ekonomią, zmieniającą się odwrotnie proporcjonalnie do liczby uwzględnionych obiektów. Intuicyjne zalecenia odnośnie optymalnych licznosci próbek dla różnych rodzajów obiektów podano w [64] , z której wynika, że dla większości urządzeń technicznych wystarczają próbki 3 do 15-elementowe, dla pojazdów mechanicznych ponad 40-elementowe, natomiast urządzenia okrętowe i lotnicze, ze względu na swą specyfikę powinny być badane wszystkie. Podobne wartości podają autorzy [55] , którzy za optymalne przyjmują próbki 5 + 10 elementowe. Natomiast w pracy [27] zaleca się nieco większe próbki liczące 10 + 20 elementów.

Praktyczne oszacowanie licznosci próbki na podstawie obliczeń dają metody oparte na nierówności Czebyszewa [31] lub przedziałach ufności [23, 25]. W pracy [49] zamieszczono wykres ułatwiający wyznaczenie wielkości zbioru obserwacji w funkcji współczynnika zmienności wariancji, dla trzech typów rozkładów prawdopodobieństwa zmiennej losowej (normalnego, logarytmnormalnego, Weibulla) i w funkcji względnego błędu dla

wartości średniej z próbki $\varepsilon = 0,10; 0,15; 0,20; 0,25$. Natomiast przy nieznanym typie rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej licznosc próbki podano przy zastosowaniu nierówności Czebyszewa.

Procedurą minimalizującą wielkość próbki jest sekwencyjny wybór elementów do badań [25] polegający na wyznaczaniu badanego parametru na podstawie coraz to większej ilości realizacji, aż do uzyskania wymaganej dokładności. Przykładowy algorytm takiego postępowania pokazane w pracy [49]. Losowy wybór obiektów do badań dokonywany jest w celu uzyskania wysokiej reprezentatywności próbki w stosunku do populacji generalnej. Schemat losowania wg tablic liczb przypadkowych zawarty jest w Polskiej Normie [54] oraz w pracach [28, 70].

W problematyce uzyskiwania informacji o eksploatacji urządzeń główny nacisk położony jest na zaprojektowanie odpowiedniego nośnika o dużej pojemności informatycznej i jednocześnie prostej i przejrzystej budowie, zapewniającej dużą wiarygodność informacji, po wpisaniu jej przez osoby nawet o niższych kwalifikacjach zawodowych. Wzory nośników informacji dla różnych obiektów przedstawiono w następujących pozycjach: [26, 28, 63] - karta obrzeżnie perforowana stosowana w badaniach niezawodności pojazdów mechanicznych i maszyn rolniczych [28] - komplet 3 nośników dla badań pojazdów (Karta Użytkowania Samochodu, Karta Obsługi Samochodu, Karta Uszkodzeń) [38] - Karta niesprawności statku powietrznego, [37] - Karta pracy pojazdu, karta niezawodności i napraw, [11] - Karta przebiegu eksploatacji uszkodzeń i napraw kombajnu zbożowego i prasy zbierającej Z-215 "JAGA", [55] - Karta uszkodzeń elektronarzędzi, [15] Karta informacyjna, karta pracy i karta uszkodzeń i napraw autobusu, [18] - karta identyfikacyjna, karta użytkowania, karta obsługi dla samochodów ciężarowych i autobusów, [71] - taśma centralografu Ericssona zastosowana do rejestracji procesu eksploatacji i uszkodzeń jednocześnie dla 10 obrabiarek sterowanych numerycznie.

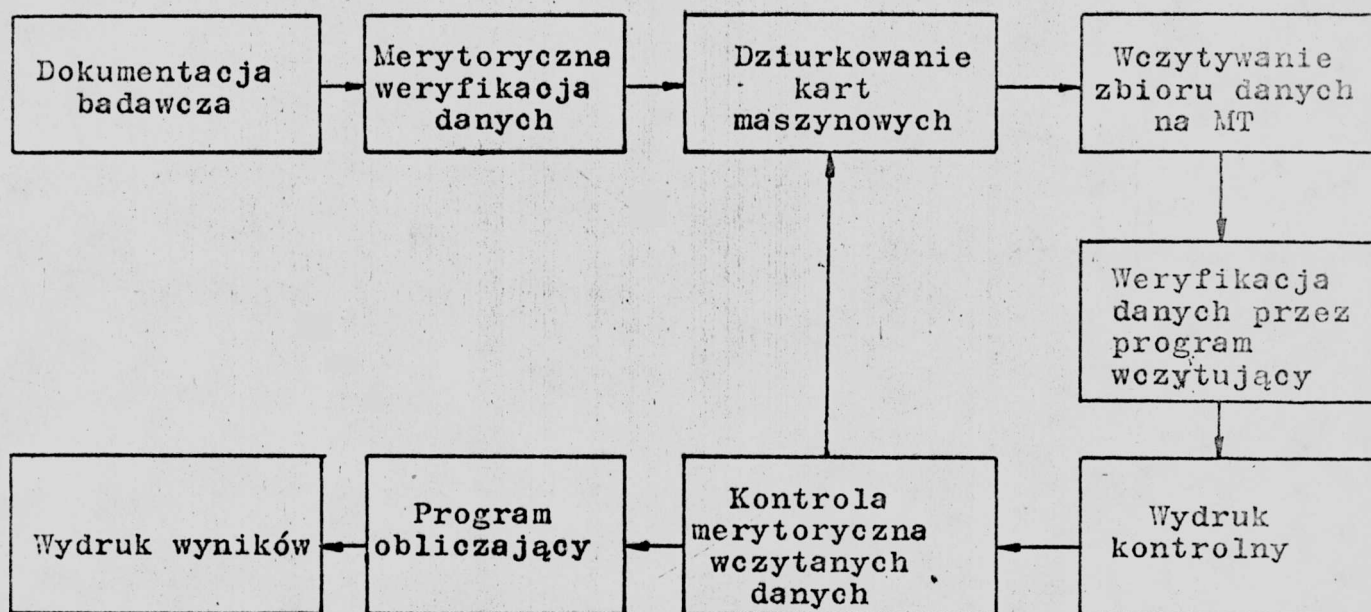
Informacje uzyskiwane z większości wyżej podanych dokumentacji można pogrupować na [26] :

- informacje adresowe identyfikujące badany obiekt (nazwa, typ, numery data produkcji itp.)
- informacje o uszkodzeniach obiektu (nazwy i kody elementów, chwile wystąpienia, postać fizyczna i przyczyna uszkodzenia)
- informacje dotyczące naprawy (miejsce i czas odnowy, czas oczekiwania na odnowę, sposób naprawy)

- informacje dodatkowe (skutki uszkodzeń, koszty napraw, przestoju, opis warunków środowiskowych i eksploatacji)
- informacje o użytkowaniu obiektu (intensywność użytkowania, zużycie materiałów eksploatacyjnych, czas pracy, wydajność itp.)

Przy badaniach obejmujących dużą liczbę obiektów lub trwających dłuższy okres czasu, a więc dostarczających bardzo liczny zbiór informacji do przetworzenia, konieczne jest zastosowanie elektronicznej obróbki danych na EMC.

Przykładowe schematy przetwarzania danych z badań eksploatacyjnych przedstawiono na rysunku 2 [63, 64], a w pracy [19] podano algorytmy programów dokonujących przetwarzania danych.



Rys. 2. Schemat przetwarzania danych z badań eksploatacyjnych przy wykorzystaniu EMC

Programy obliczające są zwykle bardzo rozbudowane i zawierają wiele podprogramów, których zadaniem jest sortowanie, wyszukiwanie i wyznaczanie parametrów żądanych zdarzeń [19]. Elektroniczne przetwarzanie danych jest również obciążone pewnymi wadami jak konieczność weryfikacji dokumentacji, pracochłonne przenoszenie informacji na nośniki maszynowe, możliwości przekłamań w maszynie itp., jednakże przy dużych zbiorach informacji sięgających np. w badaniach [15] 50 000 kart maszynowych rocznie, tylko elektroniczne przetwarzanie danych pozwala na uzyskanie dokładnej i wnikliwej analizy niezawodnościowej.

Na etapie realizacji badań, działalność jednostki badawczej skupiona jest głównie na zainicjowaniu i uruchomieniu badań, prowadzeniu kontroli nad rzetelnością i poprawnością zbieranych informacji, weryfikacji merytorycznej spływającej dokumentacji i uruchomieniu systemu przetwarzania danych. Sposoby realizacji badań w zależności od typu obiektu przedstawiono w pracach [11, 12, 15, 37].

Opracowanie wyników badań powinna poprzedzać analiza i wybór kryteriów oceny niezawodności obiektu badań.

Metody ich doboru oraz przyjmowane wskaźniki niezawodnościowe dla różnych obiektów podają: za radzieckimi autorami I.B. Šorem i R.V. Kugelem [63], [28, 37, 38, 47].

W badaniach eksploatacyjnych pojazdów wykorzystuje się najczęściej trzy grupy charakterystyk [28] dotyczących:

- poprawności działania (prawdopodobieństwo poprawnej pracy, średni przebieg między uszkodzeniami, średni przebieg do naprawy głównej lub kasacji, średni przebieg między uszkodzeniami w r-tej klasie złożoności obiektu)
- trwałości (średni przebieg do k-tego uszkodzenia; $k = 1, 2, \dots$, średni przebieg do I uszkodzenia po wymianie, średni przebieg do naprawy głównej lub kasacji, przebieg γ - procentowy)
- naprawialności (średnia jednostkowa pracochłonność obsługi technicznych, średnia pracochłonność na 1000 km przebiegu, średnia pracochłonność NB, średni czas odnowy, średni koszt odnowy, średni koszt obsługi technicznych, wskaźnik postoju samochodu w naprawie ze względu na k-ty zespół lub element, wskaźnik uszkadzalności obiektu ze względu na k-ty zespół lub element)

Wskaźnikami uzupełniającym są wskaźniki: gotowości technicznej, wykorzystania i postoju. Oprócz wyżej wymienionych stosowane są grupy wskaźników charakteryzujących stopień wykorzystania pojazdu, jego efektywność [2], sprawność i wykorzystanie bazy produkcyjnej oraz warunki pracy [53].

Jednym z etapów wnioskowania z badań niezawodnościowych jest wybór niektórych elementów struktury funkcjonalno-niezawodnościowej uznanych na podstawie zbioru kryteriów za najgorsze. Elementy te, przez analogię do ogniw łańcucha, nazywane są słabymi ogniwami obiektu.

Obecnie brak jest wystarczająco obiektywnej i uniwersalnej metody oceny słabych ogniw, uwzględniającej sferę niezawodności, bezpieczeństwa, ekonomiczną, podatności naprawczej itp. Wyboru słabych ogniw

dokonywane według oceny jedno- [27] bądź wielokryterialnej [14, 28, 40, 60].

Autor pracy [27] dwukrotnie podejmuje temat słabego ogniwa definiując go dla prostego, jednorodnego materiałowo obiektu jako element ulegający uszkodzeniu "przy mniejszych wartościach energii zakumulowanej, aniżeli wynosi norma", a następnie jako kryterium wyboru proponuje minimalną trwałość elementu. Lepszą wydaje się być ocena wielokryterialna pozwalająca na wybór słabego ogniwa przy uwzględnieniu kilku sfer, na które oddziałują uszkodzane elementy.

W pracy [40] słabym ogniwem nazywa się część składową układu jeżeli zachodzi dla niej co najmniej jeden z warunków;

- w skład układu wchodzi duża liczba jednakowych części
- część jest dostępna tylko z jednego źródła produkcji
- brak jest potwierdzenia wysokiej niezawodności części.

Dla konkretnego obiektu jakim jest samochód ciężarowy zaproponowano wielokryterialną, punktową metodę typowania słabych ogniw [28]. Opiera się ona na zastosowaniu klasyfikatora przypisującego uszkodzonym elementom odpowiednie wagi punktowe. Uwzględniono tu: pracochłonność naprawy, przyczynę wywołującą uszkodzenie, podatność naprawczą i intensywność uszkodzeń elementów. Słabe ogniwa podporządkowane są według intensywności uszkodzeń i sumarycznej ilości punktów wagowych. Zastrzeżenia budzić może sposób gradacji poszczególnych kryteriów i podstawa ich zrównania przez zastosowanie jednostkowego skoku dla każdej wartości klasyfikatora, kolejno coraz to wyższego stopnia.

3. CEL, TEZA I PROGRAM PRACY.

3.1. Cel pracy

3.1.1. Opracowanie kompleksowej metody, opartej na wstępnych badaniach eksploatacyjnych i symulacji cyfrowej badanego procesu, dotyczącej podejmowania decyzji odnośnie bieżącej eksploatacji.

3.1.2. Opracowanie modelu symulacyjnego procesu eksploatacji autobusu miejskiego

3.1.3. Przeprowadzenie badań eksploatacyjnych autobusu miejskiego

3.1.4. Zgromadzenie informacji i opracowanie wyników badań eksploatacyjnych dla potrzeb modelowania statystycznego.

3.1.5. Uruchomienie symulatora dla procesu eksploatacji

3.1.6. Przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych mających na celu

zbadanie zachowania się systemu pod wpływem celowo wprowadzonych zmian niektórych jego parametrów.

3.1.7. Sformułowanie wniosków i zaleceń praktycznych poprawiających efektywność eksploatacji autobusów miejskich.

3.2. Teza pracy

Symulacyjne modelowanie procesu eksploatacji pojazdów pozwala na planowanie charakterystyk tego procesu w funkcji parametrów niezawodnościowych obiektu eksploatacji.

3.3. Program pracy

- 3.3.1. Studia aktualnego stanu analizowanej problematyki
- 3.3.2. Organizacja badań eksploatacyjnych
- 3.3.3. Identyfikacja parametrów procesu eksploatacji
- 3.3.4. Budowa modelu symulacyjnego procesu eksploatacji
- 3.3.5. Opracowanie wyników badań eksploatacyjnych
- 3.3.6. Realizacja badań modelowych (symulacyjnych)
- 3.3.7. Wnioskowanie

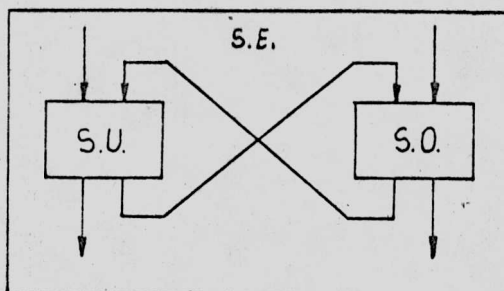
4. MODEL SYSTEMU EKSPLOATACJI AUTOBUSU

4.1. System eksploatacji urządzenia

Realizacja procesów eksploatacyjnych obiektu badań odbywa się w systemie eksploatacji określonym jako [30] zbiór stanowiący sumę zbiorów układów działania $U(P)$ oraz relacji F porządkującej te zbiory. Warunkiem nałożonym na obiekt eksploatacji P jest jego przynależność do zbioru przedmiotów lub pośredników działania w elementarnym układzie $U(P)$:

$$SE(P) = \langle U(P), F \rangle$$

Funkcjonowanie systemu eksploatacji przedstawiono na rysunku 3, przy czym widać, że wyróżniono tu dwa podsystemy: użytkownika i obsługi.



Rys. 3. System eksploatacji urządzenia.

4.1.1. System użytkowania obiektu 30, 45

System użytkowania może być w pełni określony poprzez podanie czwórki uporządkowanej definiującej go:

$$SU = \langle U^u, Z^u, A^u, R^u \rangle$$

Dla podanego opisu systemu użytkowania przeprowadzono identyfikację elementów "czwórki" w rzeczywistym systemie eksploatacji.

Podstawowa funkcja autobusu miejskiego realizującego przewozy pasażerskie na terenach aglomeracji miejskich determinuje zbiory jego użytkowników:

$$U^u = \left\{ \bigcup_i U_i^u \right\} \quad i = 1, 2$$

U_1^u - kierowcy autobusów

U_2^u - zbiór sumaryczny: kierowca i pasażerowie

Zbiór użytkowników wynikający z założonych zadań autobusu jest sumą zbiorów Z_i^u :

$$Z^u = \left\{ \bigcup_i Z_i^u \right\} \quad i = 1, 2, \dots, 5$$

Z_1^u - przechowywanie (postój) pojazdu sprawnego

Z_2^u - jazdy manewrowe (dojazd do tras jazdy, zjazd do zajezdni, manewrowanie na terenie zajezdni)

Z_3^u - jazdy kursowe całodziennie

Z_4^u - jazdy kursowe w okresie szczytu porannego

Z_5^u - jazdy kursowe w okresie szczytu popołudniowego

Bazę użytkową autobusu stanowi zbiór stanowisk użytku, wśród których wyróżniono:

$$A^u = \left\{ \bigcup_i A_i^u \right\} \quad i = 1, 2, \dots, 5$$

A_1^u - miejsca postoju pojazdu sprawnego

A_2^u - trasy dojazdowe do tras jazd kursowych

A_3^u - trasy jazd kursowych w szczycie porannym

A_4^u - trasy jazd kursowych w szczycie popołudniowym

A_5^u - trasy jazd kursowych całodziennych

Relację R^u , czyli rozkład użytkowników i rodzajów użytku w bazie użytkowej przedstawia tabela 2.

Tabela 2

Rozkład użytkowników i rodzajów użytków w bazie użytkowej

$\begin{smallmatrix} A \\ U \end{smallmatrix}$	A_2	A_3	A_4	A_5
U_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
U_2	$\emptyset$	Z_3	Z_4	Z_5

4.1.2. System obsługiwanego obiektu [30]

Analogicznie do systemu użytkowania, system obsługiwanego definiuje czwórka uporządkowana:

$$SO = \langle U^o, Z^o, A^o, R^o \rangle$$

W systemie obsługiwanego zidentyfikowano następujące zbiory:

$$U^o = U_1^o$$

U_1^o - zbiór obsługowników wyznaczony przez pracowników technicznych systemu obsługiwanego (mechanicy samochodowi.)

$$Z^o = \left\{ \bigcup_i Z_i^o \right\} \quad i = 1, 2, \dots, 7$$

Z_1^o - obsługa techniczna OT zakres I

Z_2^o - " " " I i II

Z_3^o - " " " I i III

Z_4^o - " " " I, II, III, IV

Z_5^o - " " " I, II, III, IV, V

Z_6^o - obsługa codzienna (OC)

Z_7^o - naprawa bieżąca (NB)

Bazę obsługową stanowią stanowiska obsługi, na których dokonuje się czynności obsługowych pojazdów:

$$A^o = \left\{ \bigcup_i A_i^o \right\} \quad i = 1, 2, 3$$

A_1^o - stanowiska postoju niesprawnych pojazdów

A_2^o - stanowiska obsługowe (OT, OC) wraz z oprzyrządowaniem

A_3^0 - stanowiska napraw bieżących autobusów wraz z narzędziami i przyrządami specjalnymi do napraw

4.2. Proces eksploatacji urządzenia

Proces eksploatacji urządzenia technicznego definiuje się jako [44] pewną funkcję ε przyporządkowującą zbiorowi chwil czasowych T zbiór liczbowy S , będący z kolei jednoznaczny odwzorowaniem zbioru stanów eksploatacyjnych E .

$$\varepsilon: T \rightarrow S$$

Opisu procesu eksploatacji dokonuje się podając następujący zbiór jego charakterystyk:

$s(t)$ - realizacja procesu eksploatacji (funkcja ukazująca przebieg zmian stanów eksploatacyjnych w czasie)

$G\langle W, L \rangle$ - graf eksploatacyjny procesu;

gdzie W - zbiór wierzchołków grafu

L - zbiór łuków odwzorowujących relacje między elementami zbioru W .

$\Pi = [\pi_{ij}]$ - macierz prawdopodobieństw przejść między stanami eksploatacyjnymi

4.2.1. Realizacja procesu eksploatacji obiektu

Proces eksploatacji pojazdu jest procesem stochastycznym $\{\xi(t), t \in T\}$. Zmienne losowe $\xi(t)$ mogą przybierać w dowolnej chwili t losowe wartości ze zbioru zwanego przestrzenią fazową lub zbiorem stanów procesu $\{s_i, i \in C\}$

Dla badanego pojazdu wyróżniono cztery stany eksploatacyjne, którym przyporządkowano następujące liczby całkowite:

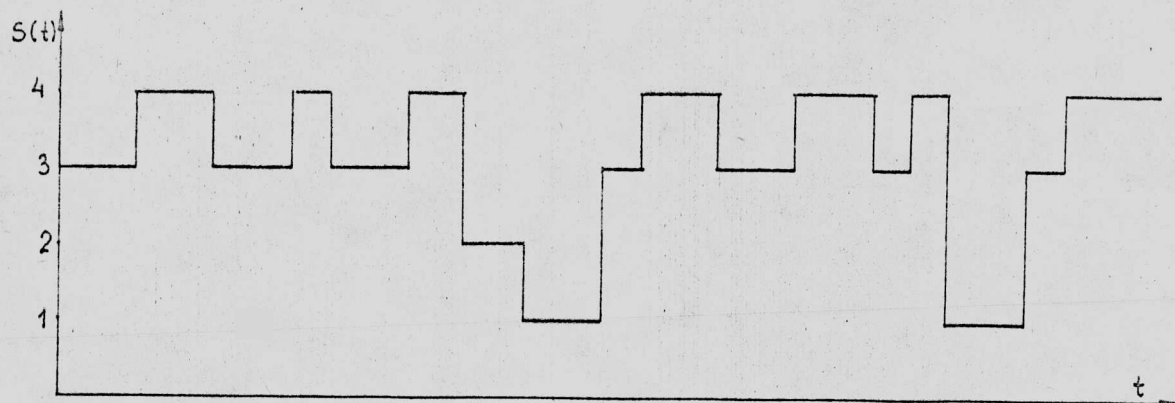
4 - stan jazdy autobusu (jazdy kursowe, dojazdy do tras i do zajezdni - czas przebywania zdolnego pojazdu poza zajezdnią)

3 - stan oczekiwania sprawnego pojazdu na jazdę na terenie zajezdni

2 - stan oczekiwania pojazdu na obsługiwanie

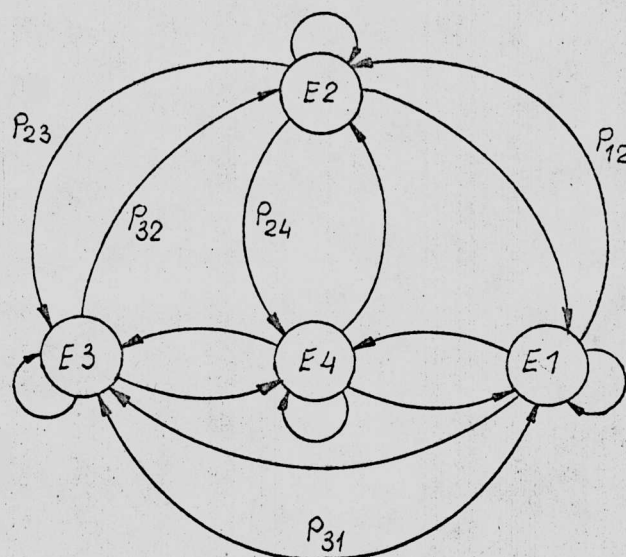
1 - stan obsługiwanego pojazdu (OC, OT, NB)

Jedną z wielu możliwych realizacji procesu przedstawiono na rys. 4



Rys. 4. Realizacja procesu eksploatacji

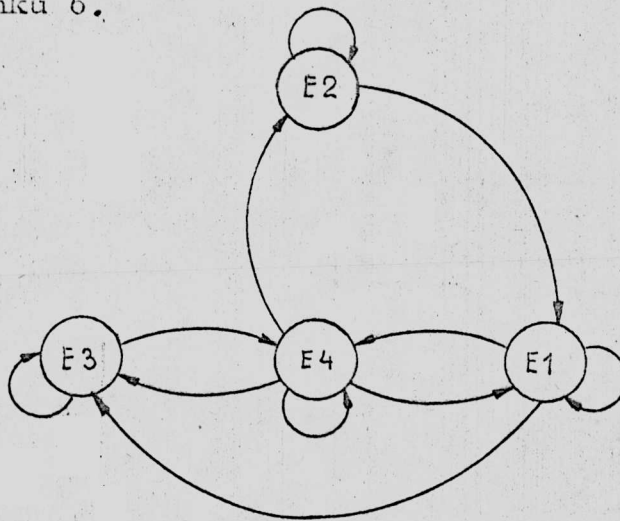
4.2.2. Graf procesu eksploatacji obrazuje możliwości zmiany stanów, nie porządkując jednak tych zmian w czasie (rysunek 5)



Rys. 5. Graf procesu eksploatacji

Bliższa analiza rzeczywistego procesu eksploatacji prowadzi do eliminacji niektórych możliwości przejścia (łuków grafu). Techniczno-organizacyjne cechy procesu eksploatacji autobusu wykluczają przejście w jednym kroku ze stanu oczekiwania na jazdę S_3 zarówno do stanu oczekiwania na obsługę S_2 , jak i do stanu obsługi S_1 . Praktycznie oznacza to nieuszkodzalność pojazdu podczas sprawnego postoju. Wykluczyć należy również bezpośrednie (w jednym kroku) przejście ze stanu obsługi S_1 do stanu oczekiwania na obsługę S_2 (jest to warunek dokonania obsługi pojazdu po jego wejściu do systemu obsługi), oraz ze stanu oczekiwania na obsługę S_2 do stanu jazdy S_4 oraz stanu oczekiwania na jazdę S_3 (pojazd oczekujący na obsługę nie może być w międzyczasie użytkowany, ani też traktowany jako sprawny podczas postoju)

Graf procesu eksploatacji z wprowadzonymi ograniczeniami przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Graf procesu eksploatacji autobusu z wyeliminowanymi technicznie niemożliwymi przejściami

4.2.3. Macierz prawdopodobieństw przejść między stanami ma postać przedstawioną poniżej, przy czym każde z prawdopodobieństw oznacza zmianę stanu odpowiadającego numerowi wiersza do stanu odpowiadającego numerowi kolumny.

$$\begin{vmatrix}
 P_{11}(t) & P_{12}(t) & P_{13}(t) & P_{14}(t) \\
 P_{21}(t) & P_{22}(t) & P_{23}(t) & P_{24}(t) \\
 P_{31}(t) & P_{32}(t) & P_{33}(t) & P_{34}(t) \\
 P_{41}(t) & P_{42}(t) & P_{43}(t) & P_{44}(t)
 \end{vmatrix}$$

$P_{ij}(t)$ - oznacza prawdopodobieństwo przejścia ze stanu i do stanu j w chwili t .

Analogicznie do opisu grafu eksploatacyjnego również ta macierz wymaga wyeliminowania niektórych przejść, co jest równoznaczne z zerową wartością odpowiednich prawdopodobieństw przejść:

$$P_{12}(t) = P_{24}(t) = P_{31}(t) = P_{32}(t) = P_{23}(t) = 0$$

Powyższa równość prowadzi do następującej postaci omawianej macierzy:

$$\begin{vmatrix}
 P_{11}(t) & 0 & P_{13}(t) & P_{14}(t) \\
 P_{21}(t) & P_{22}(t) & 0 & 0 \\
 0 & 0 & P_{33}(t) & P_{34}(t) \\
 P_{41}(t) & P_{42}(t) & P_{43}(t) & P_{44}(t)
 \end{vmatrix}$$

4.3. Charakterystyki ocenowe systemu eksploatacji

Uwzględniając specyfikę miejskich przewozów pasażerskich oraz

wyżej podany opis systemu eksploatacji, wielkości ocenowe tego systemu należałoby podzielić na:

- charakterystyki ocenowe systemu użytkowania
- charakterystyki ocenowe systemu obsługi

Drugim kryterium podziału tych charakterystyk może być ich postać matematyczna bezpośrednio decydująca o sposobach ich uzyskiwania w trakcie badań obiektowych.

Charakterystyki te mogą być wyznaczone w postaci:

- zależności funkcyjnych
- wartości parametrycznych

4.3.1. Charakterystyki ocenowe systemu użytkowania

Dla wyróżnionych w p. 4.2.1. stanów użytkowania adekwatne będą następujące charakterystyki ocenowe: [15, 28, 53] :

- Przebieg odległościowy L stanowiący przebieg pojazdu w badanym okresie i odpowiadający badanemu zużyciu potencjału eksploatacyjnego

- Wskaźnik intensywności eksploatacji

$$\alpha_e = \frac{L(t_B)}{t_B}$$

- Wskaźnik intensywności użytkowania

$$\alpha_u = \frac{L(t_B)}{\sum_d T_{4d} + \sum_d T_{3d}}$$

- Wskaźnik wykorzystania pojazdu określający udział czasu jazdy w czasie eksploatacji

$$K_w = \frac{\sum_d T_{4d}}{t_B}$$

- Wskaźnik gotowości technicznej pojazdu określający udział czasu zdadności pojazdu w całkowitym czasie badań.

$$K_g = \frac{\sum_d T_{3d} + \sum_d T_{4d}}{t_B}$$

Dla potrzeb modelowania symulacyjnego wprowadza się dodatkowo dystrybuanty rozkładów prawdopodobieństwa następujących zmiennych losowych:

- Czas jazdy w szczycie porannym $F_1(t) = P\{C_1 < t\}$
- Czas jazdy w szczycie popołudniowym $F_2(t) = P\{C_2 < t\}$
- Czas jazdy całodziennej $F_3(t) = P\{C_3 < t\}$
- Czas oczekiwania nocnego na jazdę $F_4(t) = P\{C_4 < t\}$

- Czas oczekiwania na jazdę między szczytami $F_5(t) = P\{C_5 < t\}$
- Średnia dzienna prędkość jazdy $\frac{\text{km}}{\text{min}}$ $F_6(V) = P\{C_6 < V\}$
- Średnie dzienne zużycie paliwa 1/100 m $F_7(ZP) = P\{C_7 < ZP\}$
- Średnie dzienne zużycie oleju silnikowego 1/1000 km $F_8(ZO) = P\{C_8 < ZO\}$

4.3.2. Charakterystyki ocenowe systemu obsługiwan

Wyróżnionym w p. 4.2.1. stanom obsługiwan przyporządkowano następujące charakterystyki ocenowe [30, 53]

- Wskaźnik postoju pojazdu w systemie obsługiwan określający udział czasu niezdatności pojazdu w czasie badań:

$$K_p = \frac{\sum_j T_{2j} + \sum_j T_{1j}}{t_B}$$

- Wskaźnik efektywnego postoju pojazdu w systemie obsługiwan określający udział czasu naprawy w czasie niesprawności pojazdu

$$K_{pe} = \frac{\sum_j T_{1j}}{\sum_j T_{1j} + \sum_j T_{2j}}$$

- Średni czas oczekiwania na obsługiwanie:

$$\bar{T}_2 = \frac{\sum_j T_{2j}}{J_0}$$

J_0 - liczba przypadków oczekiwania na obsługiwanie

- Średni czas obsługiwan

$$\bar{T}_1 = \frac{\sum_j T_{1j}}{J}$$

Dodatkowo wprowadzono rozkłady prawdopodobieństwa następujących zmiennych losowych dotyczących wybranych elementów pojazdu:

- Czas oczekiwania na obsługiwanie ze względu na dany element $F_{12}(t) = P\{C_{12} < t\}$
- Czas obsługiwan pojazdu ze względu na dany element $F_{13}(t) = P\{C_{13} < t\}$

5. ANALIZA NIEZAWODNOŚCIOWA OBIEKTU BADAŃ

Niezawodność urządzeń technicznych definiuje się w węższym sensie jako prawdopodobieństwo przeciwne do prawdopodobieństwa uszkodzenia w chwili t [22] :

$$R(t) = 1 - P(t)$$

W szerszym sensie, jednak mniej ścisłym, pod pojęciem niezawodności rozumie się [3, 30, 51]: prawdopodobieństwo wypełniania nałożonych na obiekt zadań, z zachowaniem określonych parametrów, w założonych tolerancjach, w ustalonym czasie t :

$$R(t) = P \left\{ X_{\tau} \subset A, \quad 0 < \tau \leq t \right\}$$

gdzie: X - jest zbiorem parametrów charakteryzujących zadania obiektu
 A - zbiór nałożonych zadań

Podstawą przeprowadzenia rozpoznania w zakresie niezawodności pojazdu jest znajomość struktury funkcjonalnej, budowy obiektu oraz procesu jego uszkodzalności.

W niniejszej pracy analiza niezawodnościowa obejmować będzie: system eksploatacji obiektu badań oraz sam obiekt na dwóch poziomach złożoności:

- poziom złożoności pojazdu
- poziom złożoności elementów wyszczególnionych w katalogu części zamiennej [41] .

Nazewnictwo elementów systemu eksploatacji oraz pojęć związanych z procesem uszkodzalności i odnowy przyjmuje się za pracę [18].

5.1. Przestrzeń stanów niezawodnościowych obiektu badań.

W wyniku przeprowadzonej analizy uszkodzeń rzeczywistego obiektu i jego struktury funkcjonalnej stwierdza się, że:

- pojazd ulega w trakcie eksploatacji losowym uszkodzeniom na skutek uszkodzenia któregoś z jego elementów. Ujawnienie uszkodzenia dowolnego elementu jest sygnałem skierowującym pojazd do systemu odnowy.
- następstwem uszkodzenia jest stan niezdatności uszkodzonego elementu i całego pojazdu.
- naprawa elementu powoduje jego powrót do stanu zdatności, podobnie jak i całego pojazdu.
- w chwili powrotu do stanu zdatności pojazd przekazywany jest do sys-

temu użytkowania, o ile nie wymaga przeprowadzenia obsługi technicznej OT.

- pojazd w stanie zdatności może przejść z systemu użytkowania do systemu obsługi tylko wówczas, gdy wymaga przeprowadzenia obsługi technicznej.

Wobec powyższych stwierdzeń, w stosunku do systemu eksploatacji i badanego pojazdu, wprowadza się następujące założenia:

- 1^o Pojazd i jego elementy posiadają dwa odwracalne stany niezawodnościowe
 - stan zdatności wyrażający się potencjalną zdolnością do wykonywania zadań nałożonych na obiekt i z parametrami eksploatacyjnymi zawartymi w dopuszczalnych granicach tolerancji
 - stan niezdatności wyrażający się brakiem wyżej opisanych zdolności
- 2^o Chwila zmiany któregośkolwiek ze stanów przez pojazd lub element jest jednoczesną chwilą zmiany stanu drugiego ze składników hierarchicznej struktury obiektu.
- 3^o Przejście ze stanu zdatności do stanu niezdatności nastąpić może tylko w wyniku uszkodzenia elementu, przejście powrotne następuje w chwili zakończenia odnowy obiektu.
- 4^o Czasy pozostawania obiektu w każdym ze stanów eksploatacyjnych i niezawodnościowych są zmiennymi losowymi opisywanymi dystrybucjami odpowiednich rozkładów prawdopodobieństwa.
- 5^o Stany zdatności i niezdatności nie mogą zachodzić jednocześnie w żadnej chwili i dla żadnego składnika struktury hierarchicznej.

Wprowadzone powyżej dwa stany niezawodności traktować można jako dwa rozłączne zbiory oznaczone następująco:

N1 - stan zdatności

N0 - stan niezdatności

Analogiczne potraktowanie stanów eksploatacyjnych prowadzi do wprowadzenia czterech rozłącznych zbiorów:

E4 - stan jazdy

E3 - stan oczekiwania na jazdę

E2 - stan oczekiwania na obsługę

E1 - stan obsługi

Pojazd w trakcie eksploatacji przebywa jednocześnie w obu przestrzeniach stanów: niezawodnościowych i eksploatacyjnych.

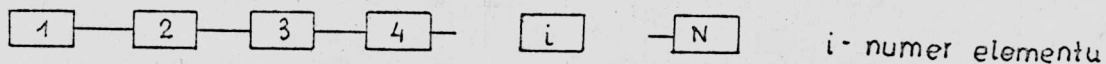
Z określeń obu tych przestrzeni wynika, że zbiór stanu zdatności N1

utworzony jest jako suma wszystkich stanów eksploatacyjnych $E1 \cup E2 \cup E3 \cup E4 = N1$, natomiast zbiór stanu niezdatności $N2$ utworzony jest jako suma stanów eksploatacyjnych przynależących do systemu obsługiwanego $E1 \cup E2 = N0$. Oznacza to, że pojazd w stanie zdadności może znajdować się w każdym ze stanów eksploatacyjnych, oczywiście w dowolnej chwili czasu tylko w jednym z nich ($Ei \cap Ej = \emptyset$; $i \neq j$; $i, j = 1, 2, 3, 4$) - wynika to z założenia rozłączności tych stanów. Podobny warunek dotyczy stanów niezawodnościowych $N1 \cap N0 = \emptyset$. Przebywanie pojazdu w stanie niezdatności wyklucza jednocześnie przebywanie w stanach eksploatacyjnych $E3$ i $E4$ ($N0 \cap Ei = \emptyset$; $i = 3, 4$).

5.2. Struktura niezawodnościowa obiektu badań

Autobus [18] traktować można bezpośrednio jako zbiór elementów, z pominięciem pośrednich składników struktury jakimi są układy pojazdu.

Praktyka uszkodzeń pojazdu oraz jego struktura funkcjonalna narzucają szeregowo połączenia elementów konstrukcyjnych jak na rysunku 7.



Rys.7. Szeregowo struktura niezawodnościowa obiektu badań

Przyjęta szeregowo struktura niezawodnościowa jest zgodna z wcześniejszymi założeniami w p. 5.1. oraz pociąga za sobą kolejne założenia dotyczące obiektu.

- 1° Uszkodzenie dowolnego elementu równoznaczne jest z uszkodzeniem pojazdu.
- 2° Chwila wykrycia uszkodzenia utożsamiana jest z chwilą jego powstania
- 3° Uszkodzenia elementów zachodzą niezależnie od siebie i nie wpływają na stan niezawodnościowy pozostałych elementów.
- 4° Chwile uszkodzeń i napraw elementów składają się na summaryczny proces odnowy pojazdu ze skończonym czasem odnowy różnym od zera.

5.3. Charakterystyki ocenowe niezawodności obiektu

Ocena niezawodności pojazdu uwzględniająca szeroko pojęty proces eksploatacji opiera się na charakterystykach [4] :

- poprawności działania
- trwałości
- naprawialności

Dla badanego obiektu o czterech stanach eksploatacji, dwóch stanach niezawodnościowych i szeregowo połączonych elementach przyjęto następujące wskaźniki dotyczące jego elementów:

- Średni przebieg do I uszkodzenia

$$\bar{L}_I = \frac{\sum_k L_{Ik}}{M}$$

- Średni przebieg między uszkodzeniami

$$\bar{L}_U = \frac{\sum_j L_{Uj}}{J - 1}$$

- Średni czas trwania naprawy bieżącej

$$\bar{T}_{NB} = \frac{\sum_j T_{1j}}{J}$$

- Średni czas oczekiwania na naprawę bieżącą

$$\bar{T}_{ocz} = \frac{\sum_j T_{2j}}{J_0}$$

- Wskaźnik uszkadzalności elementu f:

$$W_{uf} = \frac{n_f}{\sum_f n_f}$$

Wprowadzono również wielkości probabilistyczne charakteryzujące niezawodność elementów.

- Intensywność uszkodzeń w przebiegu

W ujęciu empirycznym jest ona stosunkiem liczby uszkodzeń w przedziale przebiegu $(L; L + \Delta L)$ do liczby zdalnych elementów na początku tego przedziału i długości tego przedziału ΔL .

$$\lambda(L) = \frac{n_f(L + \Delta L) - n_f(L)}{M(L) \Delta L}$$

- Rozkład prawdopodobieństwa przebiegu do I uszkodzenia

$$F(L_I) = P\{C_9 < L_I\}$$

- Rozkład prawdopodobieństwa przebiegu między uszkodzeniami

$$F(L_U) = P\{C_{10} < L_U\}$$

- Rozkład prawdopodobieństwa czasu oczekiwania na naprawę bieżącą

$$F(T_{ocz}) = P\{C_{11} < T_{ocz}\}$$

- Rozkład prawdopodobieństwa czasu trwania naprawy bieżącej

$$F(T_{NB}) = P\{C_{12} < T_{NB}\}$$

W pracy nie rozpatrywano szczegółowo innych następstw wywołanych uszkodzeniami w postaci strat ekonomicznych związanych z koniecznością oczekiwania pasażerów na inne środki lokomocji w przypadku awarii autobusu, strat związanych z utratą materiałów eksploatacyjnych itp. [14]. Wobec powyższego nie wprowadzono innych charakterystyk ocenowych uwzględniających podane skutki uszkodzeń.

5.4. Ocena słabych ogniw pojazdu

W celu wyznaczenia w szeregowej strukturze niezawodnościowej jego "słabych ogniw" posłużono się trzema parametrami klasyfikującymi. Bezpośredni wybór tych ogniw oparto na częstości wystąpienia uszkodzeń elementu, natomiast ich wagę, w odniesieniu do skutków uszkodzenia w systemie eksploatacji, oceniono przy wykorzystaniu wskaźnika istotności uszkodzeń. W badaniach założono, że jeżeli którykolwiek z elementów uszkodzi się we wszystkich M-badanych obiektach statystycznie przynajmniej jeden raz w okresie do naprawy głównej pojazdu, to zostanie uznany jako jedno ze słabych ogniw.

Zbiór tak wyznaczonych elementów zostanie wówczas uszeregowany wg wagi uszkodzenia na podstawie obliczonej dla niego wartości wskaźnika istotności uszkodzeń WI_f .

Graniczną liczbę uszkodzeń elementów, powyżej której uszkodzone elementy trafią do zbioru słabych ogniw obliczono wg poniższej zależności:

$$N_{ug} = \frac{M L_B}{L_{NG}} = \frac{39 \cdot 100\ 000}{350\ 000} = 11,14 \approx 11$$

Wszystkie elementy, których uszkodzenia zostaną zaobserwowane w okresie badań i przekroczą ilość 11, będą uważane za słabe ogniwa.

Szeregujący te elementy wskaźnik istotności uszkodzeń uwzględnia dwa parametry wpływające decydująco na efektywność funkcjonowania systemu eksploatacji, a mianowicie czas niezdatności i koszt naprawy wybranych elementów.

W tym celu proponuje się obliczenie dla uszkodzonych i wyselekcjonowanych jako słabe ogniwa elementów, następującego wyrażenia

$$WI_f = \frac{\bar{T}_{1,2f}}{\bar{T}_{1,2}} + \frac{\bar{K}_f}{\bar{K}}$$

Proponowany wskaźnik łączy w sobie udział średniego czasu niezdatności f -tego elementu w średnim czasie niezdatności statystycznego uszkodzenia i średniego kosztu naprawy f -tego elementu w średnim koszcie naprawy pojazdu.

Przekształcenie powyższego wzoru prowadzi do następującej postaci:

$$WI_f = \frac{N}{n_f} \left(\frac{\sum_u t_{1,2uf}}{\sum_u \sum_f t_{1,2uf}} + \frac{\sum_u k_{uf}}{\sum_u \sum_f k_{uf}} \right) \quad u - \text{numer kolejnego uszkodzenia}$$

z której widać, że za istotne uważane są uszkodzenia powodujące długi czas niesprawności i wysoki koszt naprawy, a szczególne znaczenie mają wówczas elementy uszkodzone mało razy, czyli mające czas niesprawności i koszt naprawy jednego uszkodzenia powyżej wartości przeciętnych.

Przedstawiona metoda wyboru słabych ogniw stanowi w niniejszej pracy jedynie sposób ograniczenia zbioru wszystkich uszkodzonych w trakcie badań elementów. Dla uogólnienia metody i przystosowania jej do badania słabych ogniw innych obiektów niezbędne byłoby włączenie czynnika oceniającego trwałość elementu w porównaniu z jego projektowo zakładaną trwałością w obiekcie, a także czynnika obejmującego wpływ uszkodzenia danego elementu na bezpieczeństwo ludzi przebywających w najbliższym otoczeniu.

Niemniej w zakresie tej pracy tak szeroka analiza zagadnienia nie jest konieczna, a pokazana metoda ograniczenia i uszeregowania zbioru uszkodzonych elementów jest w pełni wystarczająca dla dalszego modelowania statystycznego procesu eksploatacji autobusu.

6. BADANIA EKSPERYMENTALNE

6.1. Organizacja badań eksploatacyjnych

Badania eksploatacyjne autobusów miejskich zostały zorganizowane przez Zespół Badawczy Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej w latach 1976-1977 i rozpoczęte w lutym 1977 roku [15].

Przedmiotem badań są miejskie autobusy licencyjne Jelcz-Berliet PR 110 U pochodzące z faz produkcyjnych C i D, obserwowane w naturalnych nieintensyfikowanych warunkach eksploatacji.

Badania prowadzone są metodą próby ciągłej na próbce liczącej 110 pojazdów w 5 środowiskach eksploatacji. Wyniki badań będące podstawą eksperymentalną niniejszej pracy opracowano indywidualnie w oparciu o dokumentację badawczą pochodzącą ze środowiska eksploatacji o numerze kodowym 21 dysponującego próbką o liczności 39 autobusów.

Tabela 3

Zestawienie informacji identyfikujących obiekty badań

Nr kolejny	Nr rejestracy- cyjny	Nr podwozia	Nr boczny	Stan licz- nika w dniu rozpoczęcia badań	Data przekro- czenia przebie- gu 100000 km
1	2	3	4	5	6
01.21	13-02 WE	12.RB 0084	4000	6042 km	19.07.1978
02.21	13-04 WE	12.RB 0088	4001	2718 "	12.07.1978
03.21	13-05 WE	12.RB 0094	4002	6068 "	10.07.1978
04.21	13-08 WE	12.RB 0083	4003	5452 "	2.08.1978
05.21	13-09 WE	12.RB 0090	4004	5749 "	20.09.1978
06.21	13-28 WE	12.RB 0093	4005	5728 "	11.10.1978
07.21	13-34 WE	12.RB 0095	4006	5442 "	13.07.1978
08.21	13-36 WE	12.RB 0101	4007	6067 "	27.07.1978
09.21	13-28 WE	12.RB 0096	4008	4865 "	3.08.1978
10.21	13-40 WE	12.RB 0089	4009	5262 "	17.08.1978
11.21	13-42 WE	12.RB 0102	4010	5407 "	23.07.1978
12.21	13-46 WE	12.RB 0086	4011	5153 "	9.09.1978
13.21	13-49 WE	12.RB 0092	4012	5518 "	11.11.1978
14.21	13-50 WE	12.RB 0085	4013	5140 "	11.07.1978
15.21	13-51 WE	12.RB 0087	4014	5910 "	18.08.1978
16.21	13-52 WE	12.RB 0114	4015	4416 "	20.06.1978
17.21	13-53 WE	12.RB 0105	4016	3379 "	23.08.1978
18.21	13-54 WE	12.RB 0099	4017	4325 "	4.08.1978
19.21	13-58 WE	12.RB 0091	4018	2601 "	16.10.1978
20.21	13-60 WE	12.RB 0104	4019	5099 "	13.06.1978
21.21	13-63 WE	12.RB 0103	4020	4816 "	13.07.1978
22.21	13-70 WE	12.RB 0117	4021	4160 "	06.11.1978
23.21	13-71 WE	12.RB 0106	4022	3488 "	31.07.1978
24.21	13-73 WE	12.RB 0100	4023	4779 "	15.07.1978
25.21	13-76 WE	12.RB 0116	4024	4523 "	29.07.1978
26.21	13-77 WE	12.RB 0098	4025	4465 "	14.04.1979
27.21	13-78 WE	12.RB 0111	4026	3930 "	12.07.1978
28.21	13-80 WE	12.RB 0097	4027	4139 "	27.07.1978
29.21	13-82 WE	12.RB 0107	4028	3961 "	1.08.1978
30.21	13-83 WE	12.RB 0113	4029	2480 "	25.08.1978
31.21	13-88 WE	12.RB 0124	4030	3949 "	16.11.1978
32.21	13-89 WE	12.RB 0112	4031	3735 "	14.09.1978
33.21	13-92 WE	12.RB 0110	4032	2915 "	23.07.1978
34.21	13-93 WE	12.RB 0119	4033	3183 "	1.09.1978
35.21	13-95 WE	12.RB 0109	4034	2358 "	15.07.1978
36.21	13-97 WE	12.RB 0118	4035	1967 "	2.12.1978
37.21	14-00 WE	12.RB 0115	4036	3159 "	31.07.1978
38.21	24-38 WE	12.RB 0120	4037	3774 "	29.09.1978
39.21	24-39 WE	12.RB 0108	4038	4519 "	31.01.1979

Zestawienie podstawowych informacji adresowych o badanych pojazdach t.j. numerów identyfikujących badane autobusy; stanów liczników w chwili wprowadzenia do obserwacji oraz dat przekroczenia badanego przebiegu zestawione w tabeli 3.

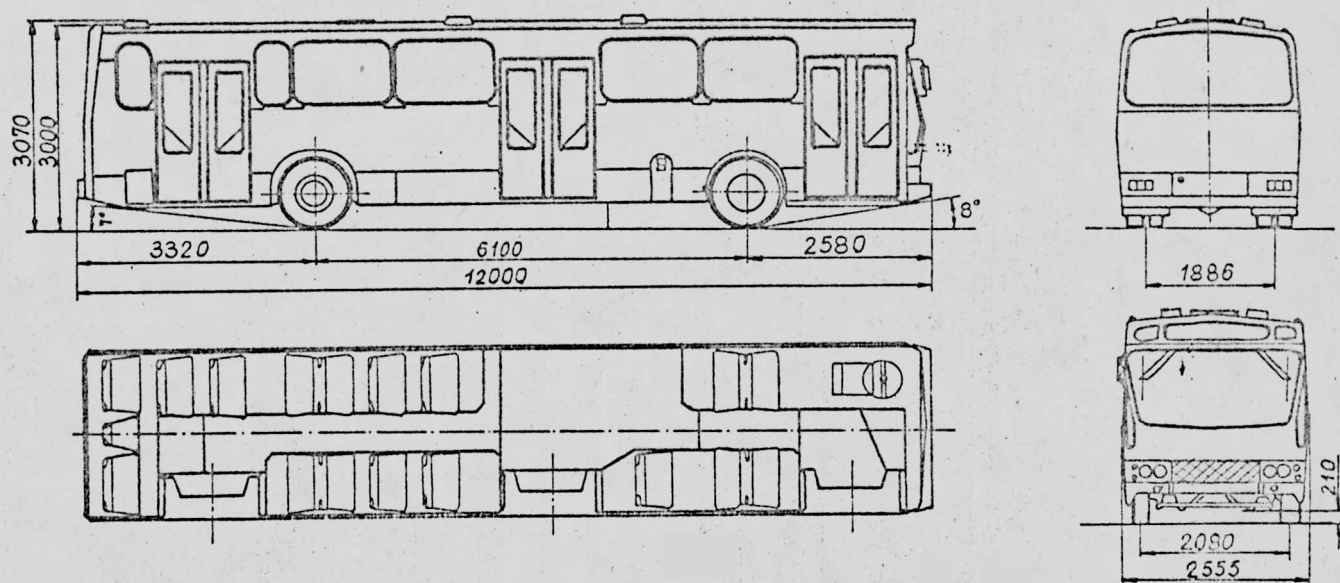
6.2. Charakterystyka obiektu badań

6.2.1. Opis techniczny [33]

Obiektem badań jest autobus miejski RR-110U produkowany w Jelczańskich Zakładach Samochodowych. Konstrukcja autobusu oparta jest na licencji francuskiej firmy Berliet.

Masa własna pojazdu wynosi 10 000 kg, a masa użytkowa 7 160 kg.

Podstawowe wymiary autobusu zamieszczono na rysunku 8, a dane techniczne silnika podano w tabeli 4.



Rys.8. Szkic wymiarowy autobusu PR-110U

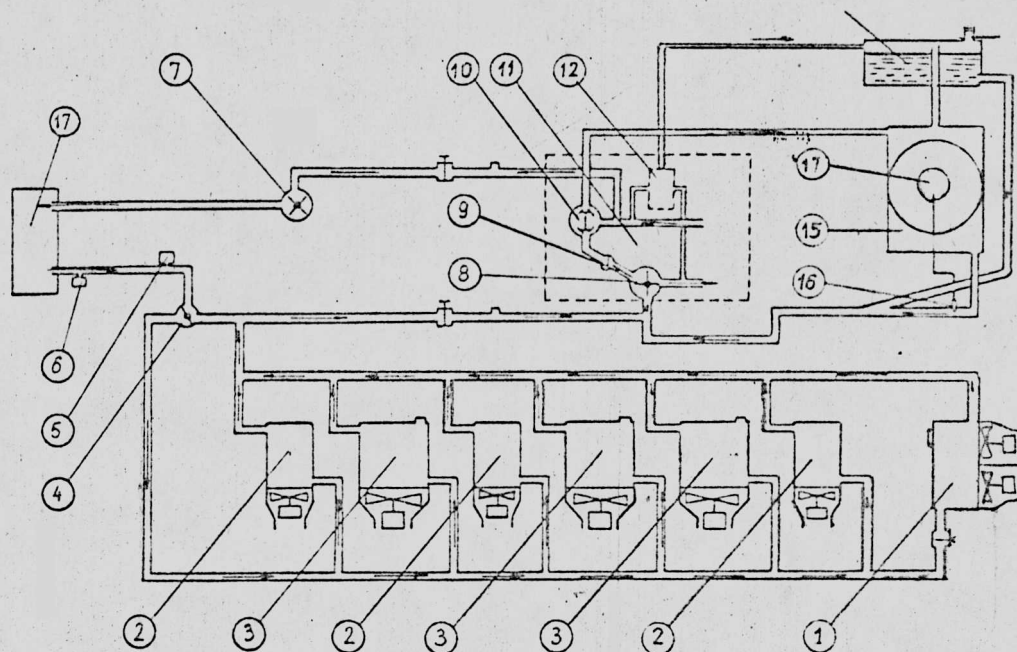
Autobus mieści maksymalnie 110 pasażerów, z czego 36 na miejscach siedzących: wymiana pasażerów odbywa się przez troje podwójnych drzwi umieszczonych: przed przednią osią, między osiami i za tylną osią pojazdu.

Przewietrzanie wnętrza zapewniają ozołowe nawiewy i dwie klapy dachowe bez wentylatorów elektrycznych oraz sześć wentylatorów elektrycznych zamontowanych w dachu pojazdu. Ogrzewanie realizowane jest poprzez nadmuch ciepłego powietrza z urządzeń grzewczych na stopnie wejściowe pojazdu i szybę przednią. Schemat wodno-powietrznego ogrzewania pojazdu przedstawiono na rysunku 9.

Tabela 4

Dane techniczne silnika autobusu Jelcz PR 110 U

Lp.	Nazwa wielkości	Jednostka miary	Wartość liczbową
1	2	3	4
1.	Liczba suwów	-	4
2.	Ilość cylindrów	-	6
3.	Skok tłoka	mm	146
4.	Średnica cylindra	mm	127
5.	Pojemność skokowa	dm ³	11,1
6.	Stopień sprężania	-	15,8
7.	Moc maksymalna przy 2200 $\frac{\text{obr}}{\text{min}}$	KM	185
		KW	136
8.	Moment maksymalny przy 1400 $\frac{\text{obr}}{\text{min}}$	Nm	720
9.	Chłodzenie wodne z obiegiem wymuszonym		
10.	Wtrysk bezpośredni do komory toroidalnej w denku tłoka		
11.	Smarowanie obiegowe pod ciśnieniem		
12.	Pompa wytryskowa sześciusekcyjna, tłoczkowa z własnym napędem		



Rys. 9. Schemat wodno-powietrznego ogrzewania autobusu PR 110 U

Oznaczenia do rysunku 9.

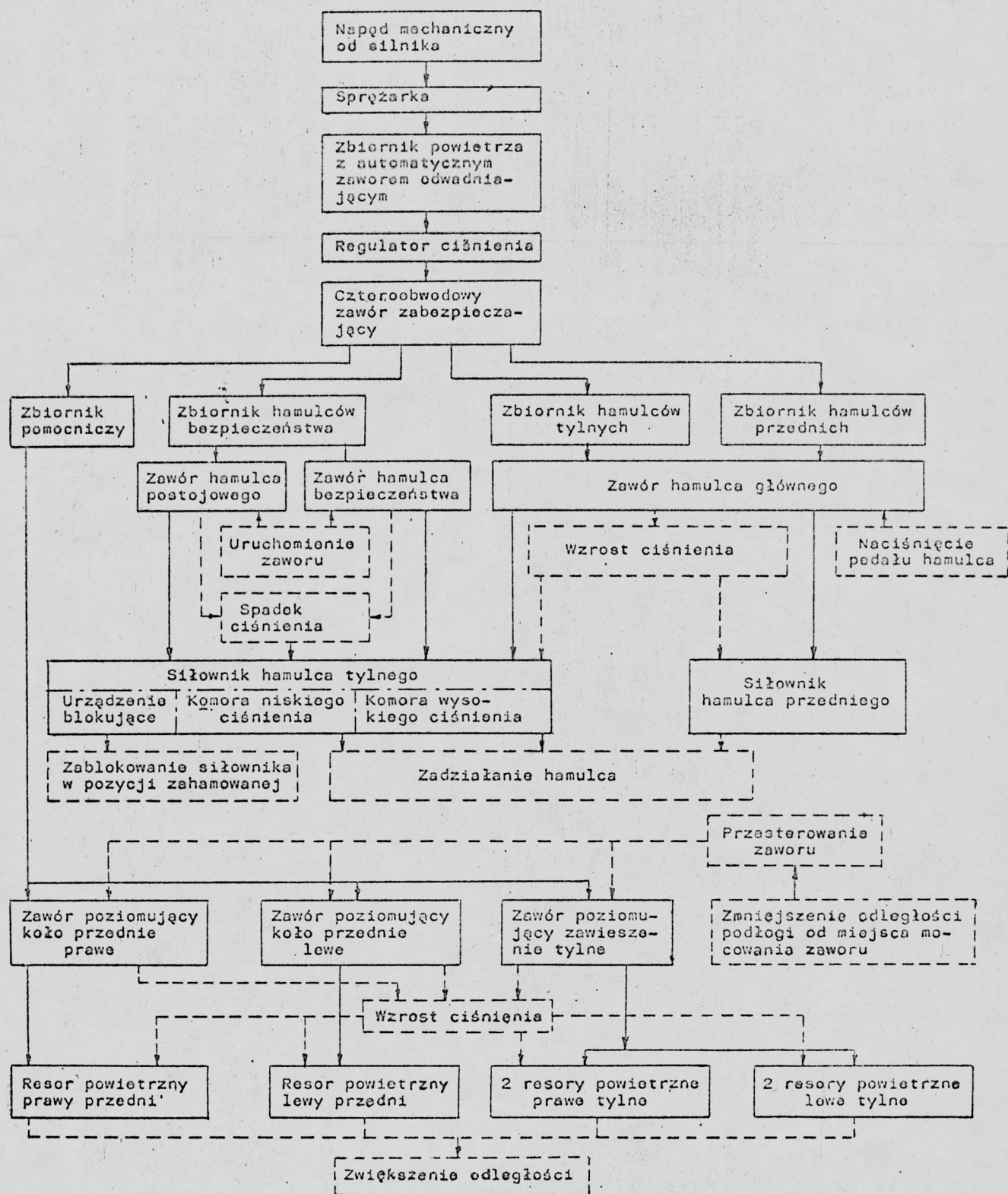
- 1 - odmrażacz szyby przedniej
- 2 - nagrzewnica stopni
- 3 - urządzenie grzewcze
- 4 - zawór trójdrożny dwupozycyjny
- 5 - termostat $65/75^{\circ}\text{C}$
- 6 - termostat bezpieczeństwa 92°C $\begin{matrix} + 1,5^{\circ} \\ - 2,0^{\circ}\text{C} \end{matrix}$
- 7 - pompa uruchamiająca ogrzewania
- 8 - pompa wody obiegu silnika
- 9 - zawór zwrotny
- 10 - termostat silnika: początek otwarcia $71/77^{\circ}\text{C}$
pełne otwarcie $88,6/93^{\circ}\text{C}$
- 11 - obwód chłodzenia silnika
- 12 - obwód chłodzenia sprężarki powietrza
- 13 - zbiornik kompensacyjny
- 14 - wentylator chłodnicy
- 15 - chłodnica
- 16 - termostat sterowania wentylatora
- 17 - urządzenie podgrzewacza

Nadwozie konstrukcji metalowej kratownica i oblachowanie wspiera się na nośnej, spawanej kratownicy podwoziowej.

Źródło napędu stanowi silnik wysokoprężny SW 680/56 H wytwórni silników spalinowych w Mielcu, zawieszony poziomo pod podłogą za tylną osią pojazdu. Przeniesienie napędu odbywa się poprzez jednotarczowe suche sprzęgło wspomagane pneumatycznie, czterobiegową skrzynię biegów ZF S 4 - 95, wał napędowy z dwoma przegubami Cardana, hypoidalny tylny most, na bliźniacze koła tylne z wmontowanymi w piasty zwolnicami. Wymiary ogumienia: 20-7,50/ 10.00 R20. Obie osie wyposażono również w drążki skrętne stabilizujące i amortyzatory olejowe teleskopowe.

Pojazd posiada hamulce uruchamiane pneumatycznie. Hamulec główny dwuobwodowy uruchamiany nożnie działający na wszystkie cztery koła, hamulce pomocnicze tyłk na kołach tylnych. W obwodzie hamulca pomocniczego istnieją: hamulec postojowy i bezpieczeństwa włączający się w wypadku spadku ciśnienia w układzie pneumatycznym, uruchamiany sprężynami w siłownikach hamulcowych tylnych oraz hamulec silnikowy ZF sterowany siłownikiem pneumatycznym.

Schemat konstrukcyjno-funkcjonalny układu pneumatycznego zasilającego usprężynowanie powietrzne i obwód hamulców pojazdu przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Schemat działania układu hamulcowego i zawieszenia pneumatycznego.

Mechanizm kierowniczy wspomagany jest hydraulicznie.

Instalacja elektryczna pojazdu o napięciu 24 V zasilana jest z baterii akumulatorów 12 V typu 12.02 i alternatora prądu przemiennego. Pojazd posiada również wyposażenie elektroniczne zapewniające bezpieczeństwo jazdy i kontrolę stanu technicznego np: czujniki i wskaźniki otwartych drzwi, ciśnienia powietrza w układzie zawieszenia i hamowania, ciśnienia oleju w układzie smarowania, poziomu paliwa i oleju, temperatury wody chłodzącej, podgrzewacza zimnego silnika itp.

6.2.2. Zasady eksploatacji pojazdów w Zakładzie Komunikacyjnym

Badane autobusy użytkowane były jako normalne pojazdy kursowe obsługujące wydzielone linie przynależne do obsługi przez daną zajezdnię. Każdy sprawny technicznie pojazd mógł być wysłany na jedną z obsługiwanych linii zarówno w dwuzmianowym, całodziennym układzie pracy, jak również tylko dla szczytowego zasilania kursującego taboru. W przypadku pełnej obsady wszystkich tras jazdy, autobus mógł w stanie sprawności technicznej pozostać w zajezdni jako rezerwowo. Kolejność tych trzech sposobów użytkowania można uznać za przypadkową, a długotrwałe zachowanie się pojazdu w systemie użytkowania charakteryzować mogą prawdopodobieństwa zaistnienia każdego z tych trzech rodzajów pracy.

Obsługa techniczna pojazdu przewidziana przez producenta zakłada okresową kontrolę stanu technicznego oraz przeprowadzenie czynności obsługowych według instrukcji obsługi [33] co 5 tysięcy kilometrów przebiegu.

Wyznaczenie pojazdu do okresowej obsługi technicznej następuje po uzyskaniu przez niego odpowiedniego przebiegu to jest 5, 10, 15 .. itd. tys. km. przebiegu.

Jeżeli pojazd przekroczy taki przebieg, wówczas następnego dnia kierowany jest do jazdy w okresach szczytów, natomiast między szczytami dokonuje się okresowej obsługi technicznej.

Uszkodzenia powstałe i ujawnione w trakcie jazdy są sygnałem do przerwania użytkowania i zjazdu autobusu do macierzystej bazy. Naprawa dokonywana jest w zależności od pory zjazdu natychmiast, bądź też od początku następnej zmiany pracy.

Uszkodzone elementy pojazdu są wymieniane na nowe, bądź też ulegają dostrojeniu tak, aby parametry techniczne pojazdu mieściły się w zakładanych tolerancjach.

6.3. Metoda badań eksploatacyjnych

Badania eksploatacyjne autobusów prowadzone były metodą próby ciągłej

[15, 28, 35], zdefiniowaną następującymi elementami:

$$M_{PC} : \langle P_{PC}, Q, \lambda_U, T_B \rangle$$

- parametrami próby ciągłej $P_{PC} : \langle I, Z(S_j), Z_B \rangle$
- obciążeniem wymuszającym starzenie pojazdu Q
- intensywnością użytkowania λ_U
- czasem badań T_B

Parametrami próby ciągłej są: liczność próby I , planowany do zużycia potencjał eksploatacyjny w czasie badań Z_B oraz zapas potencjału eksploatacyjnego j -tego pojazdu należącego do zbioru S , mierzony w chwili rozpoczęcia badań. Wszystkie wielkości opisane powyżej, a charakteryzujące metodę próby ciągłej podano w tabeli 5.

Tabela 5

Opis wielkości charakteryzujących metodę próby ciągłej

Lp.	Nazwa parametru	Symbol	Wartość			Miano parametru
			dolna	średnia	górna	
1.	Obciążenie wymuszające starzenie	Q	Naturalne wymuszenie zewnętrzne działające na pojazd w trakcie eksploatacji			zależnie od rodzaju wymuszenia
2.	Intensywność użytkowania	λ^E	119	165,6	189	$\frac{\text{km}}{\text{dzień}}$
3.	Całkowity czas badań	T_B	-	803	-	dni
4.	Liczność próby	M	-	39	-	szt. obiektów
5.	Zapasy potencjału eksploatacyjnego	$Z(S_j)$	93932	95625	98033	km
6.	Planowany do zużycia potencjał eksploatacyjny	Z_B	-	100 000	-	km

Wybór pojazdów do badań z jednej fazy produkcyjnej C , tego samego okresu produkcji (autobusy posiadają kolejne numery podwozia - tabela 3) oraz jednoczesne wprowadzenie ich do eksploatacji i badań w dniu 01.02.1977 roku zapewnia całkowite spełnienie warunku jednorodności obiektów, i warunków eksploatacji, niezbędnych przy stosowaniu metody próby ciągłej. Liczność próbek 39 obiektów ograniczona przyczynami obiektywnymi (początkowy okres produkcji JZS), daje dla wielu badanych cech wystarczającą ilość informacji. W przypadku badania uszkodzalności pojazdu uwzględniono wszystkie zdarzenia mające miejsce w okresie

badani do 100 000 km przebiegu ; w stosunku do innych badanych cech dostarczających większy zbiór informacji (powyżej 500 zdarzeń) zastosowano losowanie ograniczające licznosc obiektów [58, 70]

6.4. Realizacja badań eksploatacyjnych

Badaniom podlegały nowe autobusy Jelcz PR-110 U będące własnością Zakładów Komunikacyjnych. W chwili rozpoczęcia ich normalnej eksploatacji posiadały one przebieg rzędu 4.4 tys. km, przy czym wahania skrajnych wartości nie przekraczały 2,5 tys. km (najmniejsza wartość przebiegu 1967 km, największa 6068). Początkowe stany liczników wszystkich badanych pojazdów zestawiono w tabeli 3. Omawiany przebieg przed rozpoczęciem badań wynikał z przeprowadzonych prób przez producenta oraz z dojazdu z miejsca produkcji do macierzystej zajezdni.

Pojazdy obsługiwały regularne linie autobusowe w ruchu miejskim i średnio uzyskiwały dzienne przebiegi w granicach 170 kilometrów.

W trakcie normalnej eksploatacji na liniach dziennych wyznaczono rozkład obciążenia pojazdu przez pasażerów [17], przy czym średnia jego wartość wahała się w pobliżu wartości odpowiadającej 86% obciążenia maksymalnego tj. 61650 KN.

Informacje o przebiegu eksploatacji zbierano do chwili uzyskania 100 000 kilometrów przez każdy z badanych autobusów. W stosunku do czasu kalendarzowego wyrażało się to średnim okresem badań 577 dni, przy skrajnych wartościach 476 i 803 dni eksploatacji.

6.5. System zbierania informacji

Potrzeba uzyskiwania wiarygodnych i jednorodnych pod względem formalnym informacji eksploatacyjnych była podstawą utworzenia systemu zbierania informacji.

W omawianych badaniach eksploatacyjnych [15] obserwację obiektów powierzono etatowym pracownikom przedsiębiorstwa eksploatującego autobusy, którzy po specjalnym przeszkoleniu wypełniali dostarczoną im dokumentację badawczą.

Dokumentacja badawcza zawierała: zmodyfikowany dla potrzeb badań katalog części zamiennych autobusu Jelcz PR-110U i silnika SW 680/56

[41], Instrukcję prowadzenia i wypełniania dokumentacji badawczej wraz z identyfikacją kodową niektórych informacji [32] oraz zestaw pięciu nośników informacji [15] zawierający:

- kartę uszkodzeń i naprawy samochodu
- kartę informacyjną pracy autobusu
- wykaz części uszkodzonych

- kartę zestawieniową uszkodzeń i napraw
- kartę danych identyfikujących badane samochody.

W toku badań zweryfikowano przydatność wyżej wymienionych nośników, a następnie opracowano nieco zmienioną ich wersję przystosowaną do przetwarzania na maszynach cyfrowych. Wyeliminowano ze zbioru nośników wykaz uszkodzeń i kartę zestawieniową uszkodzeń i napraw, a zmianie uległy: karta uszkodzeń i napraw oraz karta informacyjna. Nowe wzory tych kart pokazano jako załącznik.

Karta uszkodzeń i napraw obsługi samochodu była wypełniana każdorazowo w przypadku wystąpienia uszkodzenia lub dokonywania obsługi technicznej lub modernizacji. Część I karty:

"Dane ogólne i warunki eksploatacyjne samochodu", jest częścią identyfikującą pojazd, chwilę rozpoczęcia obsługi jej rodzaj i czasy związane z przestojem pojazdu, a także charakteryzującą przeważające warunki eksploatacji.

Część II karty "Charakterystyka uszkodzeń i napraw z wykazem części uszkodzonych" stanowi pełny opis uszkodzenia elementu wraz z numerem kodowym tego elementu. Informacje wymagające bardziej szczegółowego opisu jak na przykład przyczyny uszkodzenia, sposoby usunięcia, postać uszkodzenia zostały z góry narzucone i zakodowane w instrukcji prowadzenia dokumentacji badawczej [32]. W ten sposób uniknięto dowolności w interpretacji i nazewnictwie różnych faktów dotyczących uszkodzeń i ich usuwania. Zbiór oznaczeń kodowych niezbędny do wypełniania karty uszkodzeń i napraw-obsługi samochodu pokazano w załączniku. Rubryki karty o szerokości większej niż jest wymagana dla zapisu pojedynczego oznaczenia kodowego np. rubryka 9 w części I, rubryka 10 w części II mogą zawierać więcej takich oznaczeń, w zależności od rzeczywistych potrzeb i sytuacji eksploatacyjnej.

Wypełnione karty badawcze spływały co miesiąc do Zespołu Badawczego, skąd po kontroli merytorycznej trafiały do Centrum Obliczeniowego celem przeniesienia na maszynowy nośnik informacji i przetworzenia na maszynie cyfrowej. Kontrola merytoryczna dokumentacji miała na celu sprawdzenie dokonanych przez zbieraczy wpisów pod względem zgodności z metodyką badań oraz poprawności oznaczeń kodowych.

Maszynowe przetwarzanie informacji eksploatacyjnych opisano w pracy [19].

7. OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ EKSPLOATACYJNYCH

W niniejszej pracy oparto się na nieprzetworzonym zbiorze danych zawartym na podstawowych nośnikach informacji: kartach informacyjnych

i kartach uszkodzeń i napraw oraz na kartach drogowych badanych pojazdów. Materiał ten sprawdzony pod względem merytorycznym, daje możliwość przeprowadzenia szerszej analizy niezawodnościowej na poziomie złożoności elementu oraz uzyskania informacji o innym profilu dla potrzeb modelowania symulacyjnego, co odbiega od głównego kierunku obecnej fazy badań wiodących realizowanych w Zespole Eksploatacji TKiPM.

Wyniki badań eksperymentalnych opracowano zgodnie z wcześniejszymi postanowieniami z punktu 4.3., wyodrębniając charakterystyki użytkowania, obsługiwanego i procesu uszkodzalności pojazdu.

7.1. Wyniki analizy procesu użytkowania

W tabeli 6 zamieszczono podstawowe wielkości charakteryzujące proces użytkowania autobusów w badanym okresie.

Zależności parametryczne wprowadzone w punkcie 4.3.1 obliczono na podstawie charakterystyk zgromadzonych w tabeli 6 i przedstawiono w tabeli 7.

Dla procesu użytkowania pojazdu wyznaczono, na podstawie dokumentacji badawczej (punkt 6.2) oraz kart drogowych [53] badanych autobusów, rozkłady prawdopodobieństwa następujących zmiennych losowych:

- C_1 - czas jazdy w szczycie porannym
- C_2 - czas jazdy w szczycie popołudniowym
- C_3 - czas jazdy całodiennej
- C_4 - czas oczekiwania sprawnego pojazdu na jazdę liczony od północy do chwili wyjazdu z zajezdni na trasę
- C_5 - czas oczekiwania na jazdę między szczytami porannym i popołudniowym
- C_6 - średnia dzienna prędkość jazdy
- C_7 - średnie zużycie paliwa
- C_8 - średnie dzienne zużycie oleju silnikowego

Wyznaczenie poszczególnych rozkładów wykonano według ogólnego schematu obejmującego [8, 10, 57, 62, 65]

1° obliczenie liczby przedziałów klasowych K według empirycznego wzoru:

$$K = 3,32 \log N + 1$$

2° obliczenie szerokości przedziałów na podstawie skrajnych wartości realizacji zmiennej X i liczby przedziałów K :

$$\Delta X = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{K}$$

Tabela 6

Charakterystyka liczbowa procesu użytkowania

Lp.	Nazwa parametru	Jednostka miary	Wielkość parametru
1	2	3	4
1.	Liczba obiektów badań	szt.	39
2.	Sumaryczny przebieg M-obiektów w okresie badań L_B	km	3729359
3.	Całkowity czas badań M-obiektów T_B	a) min b) dni	32437440 22526
4.	Sumaryczny czas zdatości M-obiektów w okresie badań T_B	a) min b) dni	32039623 22249

Tabela 7

Wskaźniki ocenowe procesu użytkowania

Lp.	Nazwa wskaźnika	Jednostka miary	Wielkość wskaźnika
1	2	3	4
1.	Wskaźnik intensywności eksploatacji	$\frac{\text{km}}{\text{h}}$	6,89
2.	Wskaźnik intensywności użytkowania	$\frac{\text{km}}{\text{h}}$	6,98
3.	Wskaźnik wykorzystania pojazdu	-	0,4569
4.	Wskaźnik gotowości technicznej pojazdu	-	0,9878

- 3° zbudowanie szeregu rozdzielczego poprzez przydzielenie każdej realizacji zmiennej X do jednego z $j=1, \dots, K$ przedziałów klasowych
- 4° obliczenie gęstości empirycznej dla każdego przedziału klasowego według wzoru

$$f_j^E(x) = \frac{1}{\Delta x} \frac{n_j}{N} \quad j = 1, \dots, K$$

- 5° obliczenie dystrybuanty empirycznej gęstości skumulowanej dla każdego przedziału klasowego według wzoru:

$$F_j^E(x) = \sum_{i=1}^j f_i^E(x) \Delta x = \sum_{i=1}^j \frac{n_i}{N} \quad \begin{matrix} i = 1, \dots, j \\ j = 1, \dots, K \end{matrix}$$

- 6° wnioskowanie o kształcie rozkładu i dopasowanie rozkładu teoretycznego w odpowiedniej siatce rozkładu.
- 7° testowanie dopasowania zgodności rozkładów empirycznego i teoretycznego testem λ -Kolmogorowa.

Hipotezę o przyjęciu badanego rozkładu i zaniechaniu poszukiwania lepszej zgodności można uznać za prawdziwą przy spełnieniu nierówności:

$$\lambda_\alpha > \lambda = \sqrt{N} \sup |D_j|$$

na poziomie istotności $\alpha = 0,20$. Wartość krytyczna statystyki λ -Kolmogorowa wynosi wówczas

$$\lambda_\alpha = 1,08$$

Odchyłka D_j pomiędzy dystrybuantami teoretyczną i empiryczną wyznaczana jest graficznie na siatce rozkładu przy wykorzystaniu zależności

$$D_j = F_j^T(x) - F_j^E(x)$$

- 8° interpretację fizyczną przyjętego rozkładu.

7.1.1. Wyznaczenie dystrybuanty rozkładu czasu

jazdy w szczycie porannym $F_1(t) = P\{C_1 < t\}$

W celu wyznaczenia dystrybuanty rozkładu $F_1(t)$ dokonano losowania dwóch dni w okresie badań i dla wszystkich badanych pojazdów zebrano informacje o ich czasach pracy uzyskując próbkę liczącą 63 realizacje

Pozostałe pojazdy w wylosowanych dniach nie dokonywały jazd kursowych szczytowych z przyczyn technicznych uszkodzenia lub organizacyjnych jazdy całodienne lub rezerwa. Zebrane na podstawie kart drogowych pojazdów informacje pozwoliły na ustalenie normalnego rozkładu badanej cechy (rysunek 11) i uzyskanie pozytywnego wyniku testowania założonej hipotezy H_0 (tabela 8, rysunek 12).

Rozkład normalny czasu jazdy w szczycie porannym wynika z dwóch zasadniczych powodów; rozkład ten uzyskano na podstawie realizacji jazd kursowych na liniach o zróżnicowanych długościach, czasach przejazdu trasy oraz czasach dojazdu i zjazdu z trasy. Te ostatnie czasy, szczególnie dla jazd szczytowych stosunkowo krótkotrwałych, przy niezbyt długim okresie pracy przewozowej autobusu mogą stanowić znaczny procent w czasie pozostawiania poza zajezdnią czyniąc sumaryczną wartość czasu zmienną losową o rozkładzie normalnym. Drugi powód to naturalne drogowe przyczyny w postaci przeszkód w ciągłej jeździe, losowo wpływające na skracanie lub wydłużanie badanego czasu C_1 . Mamy tu więc do czynienia ze zmienną podlegającą wielu sumującym się zakłóceniom, którą w zadawalający sposób opisuje rozkład normalny.

7.1.2. Wyznaczenie dystrybuanty rozkładu czasu jazdy w szczycie popołudniowym $F_2(t) = P\{C_2 < t\}$

W przypadku zmiennej losowej C_2 zastosowano zasady wyboru próbki i wnioskowania statystycznego analogicznie jak w p.7.1.1., uzyskując potwierdzenie założonej hipotezy o normalności rozkładu prawdopodobieństwa czasu jazdy w szczycie popołudniowym (rysunek 13, 14, tabela 8). Uzasadnienie sensu fizycznego przyjętego rozkładu można podać podobnie jak dla szczytu porannego. Dodatkowemu wyjaśnieniu może podlegać nieco większa wariancja rozkładu będąca najprawdopodobniej wynikiem wzrostu natężenia ruchu ulicznego zarówno przed jak i po okresie uznanym przez Zakłady Komunikacyjne za szczytowe w przewozach pasażerskich. W przypadku szczytu porannego taki wzrost natężenia ruchu obserwowany może być jedynie w jego końcowej fazie, tłumacząc tym samym mniejszy rozrzut całkowitego czasu jazdy w szczycie porannym.

7.1.3. Wyznaczenie dystrybuanty rozkładu czasu jazdy całodziennej

$$\underline{F_3(t) = P\{C_3 < t\}}$$

Wartości badanych czasów jazdy całodziennej uzyskano z kart drogowych pojazdów z czterech wylosowanych dni w okresie badań. Uzyskano tą drogą 51 realizacji zmiennej. Dokonując opisanych wcześniej czynności otrzymano histogram o tendencji rosnącej, określony na przedziale 570 ± 1218 ,

Tabela 9

Testowanie hipotezy o rozkładzie beta zmiennej losowej C_3

Wartości	Wartości dystrybuanty empirycznej	Wartości dystrybuanty teoretycznej	Odchyłki dystrybuant
570	0,000	0,000	0,000
678	0,098	0,059	0,039
786	0,117	0,141	0,024
894	0,156	0,249	0,093
1002	0,254	0,395	<u>0,141</u>
1110	0,528	0,618	0,090
1218	0,999	1,000	0,001

wartość
największa

Dla uzyskanego rozkładu beta czasu jazdy całodziennego poprawne uzasadnienie może istnieć tylko w sferze organizacji procesu użytkowania autobusu. Należy zauważyć, że średnia wartość czasu jazdy wynosi przy jeździe całodziennym $m = 1045$ minut, czyli około 17,5 godzin, przy skrajnych wartościach $a = 570$ minut, co odpowiada 9,5 godzinom oraz $b = 1218$ minut, co odpowiada nieco ponad 20 godzinom. Można się więc domyślać, co też potwierdzono w dziale planowania pracy zajezdni, że w ciągu dnia pojazd może być prowadzony przez jednego kierowcę czas pracy do około 12 godzin lub też przez dwóch kierowców, co objawia się czasem pracy powyżej 20 godzin.

Charakterystyczny jest spadek częstości występowania wartości czasów od około 680 do 900 minut, czyli od 11 do 15 godzin spowodowany tym, że wspomniany małoprawdopodobny zakres czasów nie może być czasem pracy jednego kierowcy (maksimum 12 godzin pracy) jak również nie odpowiada sumarycznemu czasowi pracy dwóch kierowców, gdyż po pierwszej ośmiogodzinnej zmianie, drugi z kierujących musiałby jeździć 4 do 7 godzin nie zapewniając sobie pełnych 8 godzin pracy. Ponadto potrzeby przewozowe sprawiają, że pojazd dzienny winien obsługiwać trasy od godziny 5 aż do 23, co łącznie z dojazdami do tras i zjazdami, zmianą kierowców

i ewentualnym tankowaniem paliwa może dawać czas jazdy sięgający 20 godzin.

7.1.4. Wyznaczenie dystrybuanty czasu oczekiwania nocnego na użytkowanie $F_4(t) = P\{C_4 < t\}$

Informacje eksploatacyjne zapewniające uzyskanie rozkładu zmiennej losowej C_4 uzyskano z kart drogowych pojazdów analogicznie jak w punktach 7.1.1. i 7.1.2. Czasy wyjazdów pojazdów utworzyły 63 elementową próbkę, której histogram częstości sugerował równomierny rozkład prawdopodobieństwa w przedziale o wartościach $246_{\frac{1}{2}} - 390$ minut (rysunek 17). Dla hipotezy tej otrzymano pozytywny wynik testu zgodności (rysunek 18, tabela 8):

Wyznaczony, równomierny rozkład rozważonego czasu oczekiwania związany jest z sukcesywnymi wyjazdami autobusów z zajezdni oraz różnymi czasami rozpoczynania kursów na liniach. Przedział czasowy od godziny 4 do 6³⁰ odpowiada okresowi początkujazd na wszystkich trasach zarówno całodziennych jak i szczytowych.

7.1.5. Wyznaczenie dystrybuanty czasu oczekiwania na użytkowanie między szczytami $F_5(t) = P\{C_5 < t\}$

Dane do wyznaczenia dystrybuanty $F_5(t)$ zaczerpnięto z kart drogowych pojazdów jak w punkcie 7.1.1. i 7.1.2.

Histogram zbudowany na bazie tej próbki (rysunek 19) sugeruje jeden z niesymetrycznych rozkładów prawdopodobieństwa o dodatnim współczynniku asymetrii. Rozważono rozkład logarytmiczno-normalny o dystrybuancie [5]:

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{y \sqrt{2\pi} \sigma_{L_{ny}}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{1}{\sigma_{L_{ny}}} \ln \left(\frac{y}{\tilde{m}_y} \right) \right]^2 \right\} dy$$

Testowanie przedstawionej hipotezy H_0 nie zaprzeczyło jej; a przebieg wnioskowania statystycznego pokazano na rysunku 20 i w tabeli 8. Parametry rozkładu wyznaczono w oparciu o następujące wzory:

$$\tilde{m}_y = m_y \exp \left(-\frac{1}{2} \sigma_{L_{ny}}^2 \right) = 263,7$$

$$\sigma_{L_{ny}}^2 = \ln(v_y^2 + 1) = 4,73 \cdot 10^{-2}$$

$$v_y = \frac{\sigma_y}{m_y}$$

Wartości m_y oraz δ_y obliczono na podstawie badanej próbki. Logarytmiczno-normalna postać rozkładu oznacza większe wartości prawdopodobieństwa występowania nieco mniejszych wartości zmiennej losowej niż wyznaczona mediana rozkładu. Świadczy to o pewnej tendencji skracania czasu postoju między szczytami związanej z nasilaniem się w ciągu dnia ruchu ulicznego, a wówczas tylko nieliczne pojazdy rozpoczynające kursowanie niedaleko zajezdni mogą przedłużać postój do około 5 - 6 godzin.

7.1.6. Wyznaczenie dystrybuanty rozkładu średniej dziennej prędkości jazdy $F_G(V) = P\{C_G < V\}$

W celu wyznaczenia dystrybuanty $F_G(t)$ dokonano losowania trzech autobusów oraz trzech miesięcy w trakcie badań, uzyskując na podstawie karty informacyjnej dla każdego wyznaczonego dnia przebieg oraz czas jazdy pojazdu, co umożliwiała obliczenie średniej prędkości jazdy w danym dniu pracy według wzoru:

$$V_i = \frac{L_i}{t_i} \left[\frac{\text{km}}{\text{min}} \right]$$

Otrzymano w ten sposób 36 realizacji zmiennej, a następnie histogram częstości (rysunek 21) i dystrybuantę empiryczną dobrze aproksymowaną rozkładem normalnym (rysunek 22).

Wyniki testowania hipotezy o kształcie rozkładu przedstawiono na rysunku 24 i w tabeli 8.

Bezpośrednie pomiary średniej prędkości jazdy autobusów [17] potwierdzają uzyskany tu wynik oceny rozkładu oraz brak zasadniczej różnicy pomiędzy średnią prędkością jazdy w szczycie i w jeździe całodzienną.

Nieco niższa uzyskana tu wartość średniej prędkości w porównaniu z pracą [17] dla badanego środowiska 21, wynika ze sposobu pomiaru i obliczenia jej. W niniejszej pracy za czas jazdy przyjęto całkowity dzienny czas pracy liczony od chwili opuszczenia zajezdni do chwili zjazdu po zakończeniu pracy.

Włączone są więc wszelkie postoje pojazdu z przyczyn technicznych i organizacyjnych oraz czasy dojazdu do zajezdni, powodując tym samym obniżenie średniej dziennej prędkości jazdy. W pracy [17] wyznaczono rozkład prędkości tylko dla odcinka pomiarowego (czysta jazda kursowa na trasie z pominięciem jazd manewrowych). Rozkłady jazdy obowiązujące kierowców uwzględniają pogorszone warunki ruchu w godzinach nasilenia komunikacyjnego i odpowiednio rekompensują stracony czas skracaniem postojów na przystankach końcowych. W rezultacie średnie dzienne prędkości jazdy są do siebie zbliżone w różnych warunkach ruchu miejskiego.

7.1.7. Wyznaczenie dystrybuanty rozkładu średniego dziennego zużycia paliwa $F_7(ZP) = P\{C_7 < ZP\}$

Wyznaczenie średniego dziennego zużycia paliwa możliwe było dzięki zasadzie przyjętej w zajezdni polegającej na tym, że każdego dnia, po jego zakończeniu, w trakcie obsługi codziennej pojazdu dopełnia się zbiornik paliwa i notuje tę ilość paliwa jako całkowite zużycie w trakcie minionego dnia.

Z kart informacyjnych pojazdów otrzymano dane o bezwzględnych zużyciach paliwa i przebiegach w każdym dniu pracy, co pozwoliło na obliczenie średniego dziennego zużycia paliwa w dm^3 na 100 kilometrów przebiegu. Dla wylosowanych 5 pojazdów i miesięcy, w których pojazdy przekraczały pełne dziesiątki tysięcy kilometrów w przebieg 0 - 50 000 km wyznaczono zbiór 331 informacji. Na tej podstawie zbudowano histogram przedstawiony na rysunku 23. Pierwsza hipoteza o normalności rozkładu została odrzucona w wyniku przeprowadzenia testu zgodności. Nie odrzucono natomiast hipotezy o rozkładzie Weibulla o gęstości danej wzorem [24]:

$$f(x) = \frac{\delta}{\theta} x^{\delta-1} \exp\left[-\frac{x^\delta}{\theta}\right]$$

Testowanie zgodności rozkładu oraz estymację jego parametrów przeprowadzono w siatce rozkładu Weibulla (rysunek 24, tabela 8). Wartość średnią zmiennej i jej wariancję wyznaczono według wzorów:

$$E[C_7] = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\delta} + 1\right) = 47,2$$

$$D^2[C_7] = \theta^{\frac{2}{\delta}} \left[\Gamma\left(\frac{2}{\delta} + 1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{\delta} + 1\right) \right] = 8,98$$

$$\sigma = D^2[C_7] \approx 3$$

gdzie $\eta = \theta^{\frac{1}{\delta}}$

Otrzymano rozkład o bardzo małym współczynniku wariancji $V = 0,06$ i współczynniku kształtu powyżej 4, a więc bardzo "wąski" świadczący o niewielkich zmianach zużycia paliwa w poszczególnych dniach pracy. Potwierdza to założenie jednakowych rozkładów i parametrów średnich dziennych zużyć paliwa dla jazd szczytowych i całodziennych. Mały rozrzut zmiennej losowej wynika ze sposobu jazdy charakterystycznego dla badanego środowiska i nie premiowania oszczędzania paliwa. Zapewnia to wy-

eliminowanie wpływu kierowcy na zużycie paliwa i pozostawienie warunków ruchu i stanu technicznego pojazdu jako dominujących czynników wpływających na losowość badanej zmiennej.

7.1.8. Wyznaczenie dystrybuanty rozkładu średniego dziennego zużycia oleju silnikowego $F_0(Z_0) = P\{C_3 < Z_0\}$

Dystrybuantę rozkładu średniego dziennego zużycia oleju silnikowego otrzymano na podstawie 116 wyników obliczeń.

Przebiegi pojazdu między uzupełnieniami oleju oraz wielkości tych uzupełnień uzyskano z kart informacyjnych wylosowanej próbki na zasadach jak w punkcie 7.1.7. Histogram zmiennej C_3 pokazano na rysunku 25, a hipoteza o normalności rozkładu nie została podważona w wyniku przeprowadzenia testu zgodności (rysunek 26, tabela 8).

Wpływ czynników zewnętrznych na zużycie oleju silnikowego jest niewielki, stąd też stan techniczny silnika oraz szczelność układu smarowania są wiodącymi czynnikami oddziałującymi na ten parametr. Są to powody, dla których wielkość zużycia oleju silnikowego wraz z sumarycznym wpływem wymienionych czynników staje się zmienną losową o rozkładzie normalnym. Podobny wynik dotyczy typu rozkładu zużycia oleju silnikowego uzyskano w opracowaniu [48].

7.1.9. Wyznaczenie rozkładu prawdopodobieństwa zaistnienia danego rodzaju pracy

Wobec założonej przypadkowości przydzielenie autobusu do danego rodzaju pracy przez dział planowania pracy zajezdni (p. 6.2.2.) uznano, że miarą charakteryzującą zmienną rodzaju pracy w okresie badanych dwóch lat charakteryzować mogą jej stacjonarne wartości prawdopodobieństwa.

Na podstawie wylosowanej próbki 5 pojazdów i 3 miesięcy w okresie badań, uzyskano zbiór 465 wozodni eksploatacji, w którym zliczono liczbę dni z poszczególnymi rodzajami pracy. Częstotliwości wystąpień tych rodzajów pracy przyjęto jako estymatory prawdopodobieństwa. Obliczeń dokonano w oparciu o wzór:

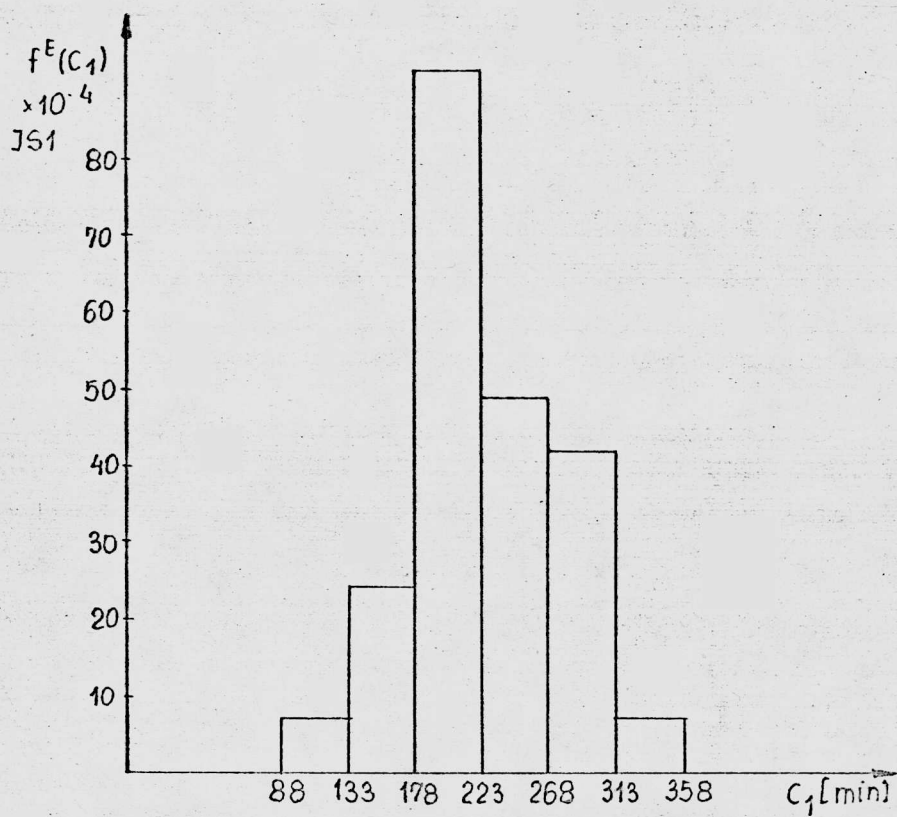
$$P_k = \frac{d_k}{D}$$

$k = 1, 2, 3$ - jest rodzajem pracy pojazdu

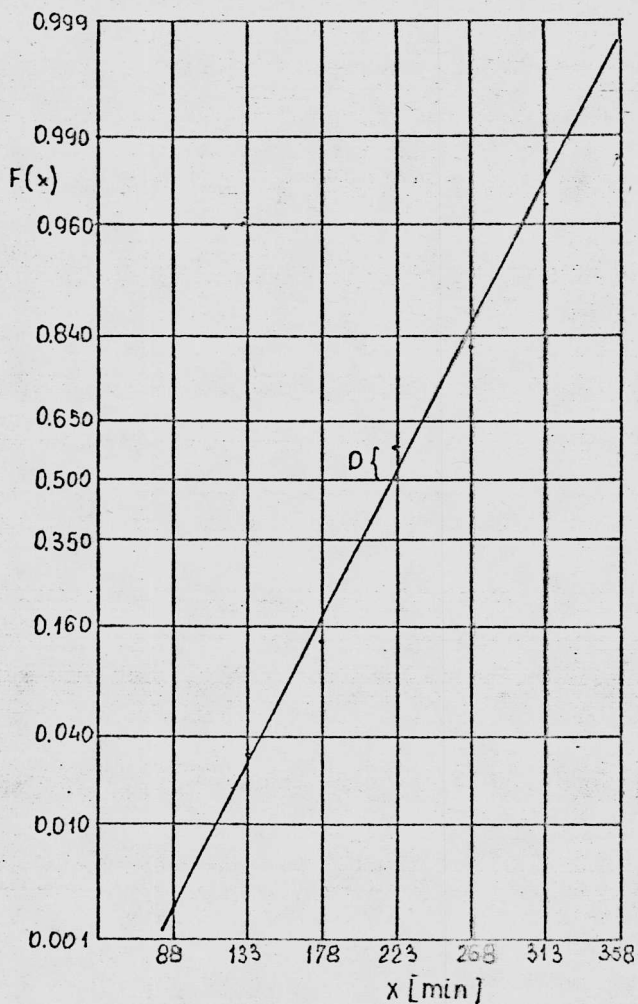
Źródło informacji stanowiły karty drogowe badanych pojazdów. Wyniki analizy zestawiono w tabeli 10.

Wyniki wnioskowania statycznego dotyczące zmiennych losowych charakteryzujących proces użytkowania

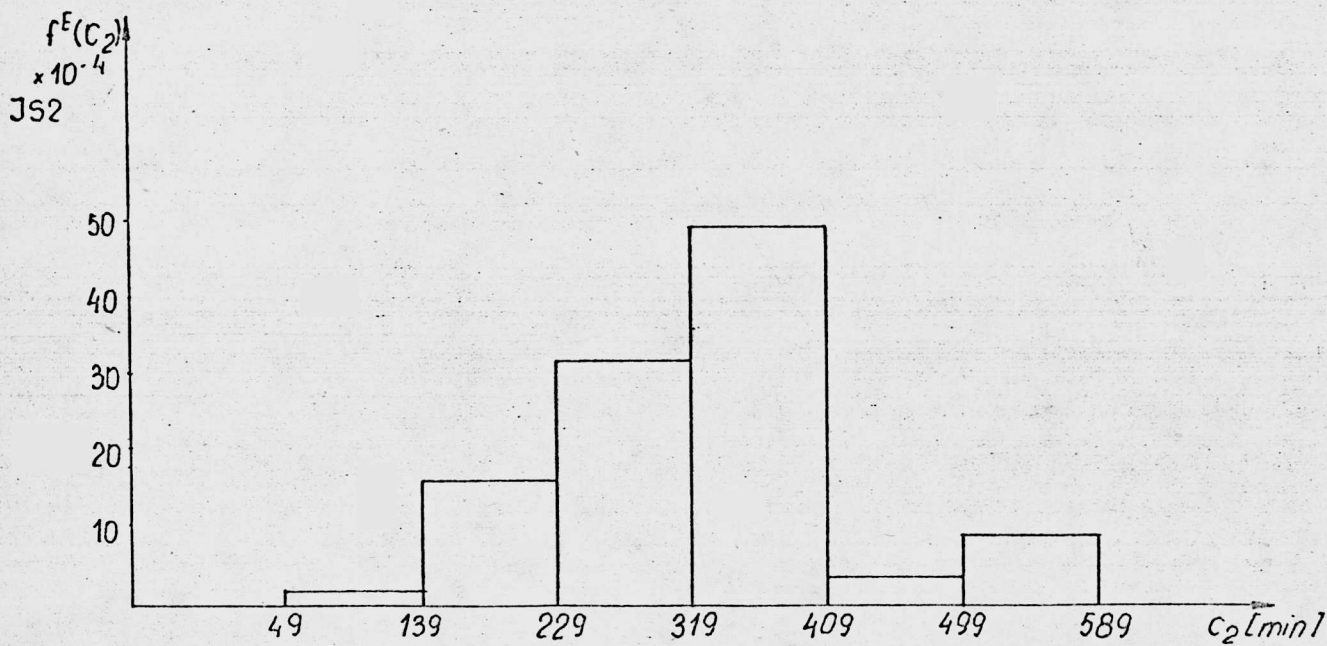
Nazwa zmiennej losowej	Symbol zmiennej losowej	Liczba danych w próbie	Maksymalna odchyłka testu zgodności	Wartość statystyki λ Kolmogorowa	Wartość krytyczna $\alpha = 0,2$	Rozkład pr-stwa zmiennej losowej	Wzór dystrybucyjny rozkładu zmiennej losowej	Parametry rozkładu zmiennej losowej	Wartość oczekiw. $E(x)$	Wariancja zmiennej $D^2(x)$	Współczynnik wariancji $V(x)$
Czas jazdy w szczycie porannym [min]	C_1	63	0,07	0,56	1,08	normalny	$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \frac{(t-\mu)^2}{e^{2\sigma^2}} dt$	$\mu = 223$	223	45	0,20
Czas jazdy w szczycie popołudniowym	C_2	63	0,06	0,48	1,08	normalny	j.w.	$\mu = 326$ $\sigma = 85$	326	85	0,26
Czas jazdy całodzienniej [min]	C_3	51	0,141	1,00	1,08	beta	$F(x) = \int_0^x \frac{1}{B(b-a)^{t-1}} \cdot (y-a)^{r-1} (b-y)^{t-r-1} dy$	$t = 1,78$ $r = 1,30$ $a = 570$ $b = 1218$	1045	172	0,16
Czas oczekiwania nocnego [min]	C_4	63	0,07	0,56	1,08	równomier-ny	$F(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & x > b \end{cases}$	$a = 246$ $b = 390$	318	41	0,13
Czas oczekiwania między szczytami [min]	C_5	63	0,07	0,56	1,08	logarytmiczno-normalny	$F(x) = \int_0^x \frac{1}{y \sqrt{2\pi} \sigma_{Lny}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{1}{\sigma_{Lny}^2} \ln \left(\frac{y}{\sigma_{Lny}} \right) \right]^2 dy$	$\mu = 263,7$ $\sigma_{Lny} = 0,22$	270	61	0,22
Średnia dzienna prędkość jazdy $\left[\frac{\text{km}}{\text{min}} \right]$	C_6	86	0,05	0,46	1,08	normalny	j.w.	$\mu = 0,316$ $\sigma = 0,035$	0,316	0,035	0,11
Średnie dzienne zużycie paliwa $\left[\frac{\text{dm}^3}{100 \text{ km}} \right]$	C_7	331	0,03	0,54	1,08	Weibulla	$F(x) = 1 - \exp \left[-\frac{x^\theta}{\delta} \right]$	$\delta = 13,5$ $\theta = 6,57 \cdot 10^{22}$	47,2	3,0	0,06
Średnie dzienne zużycie oleju $\left[\frac{\text{dm}^3}{1000 \text{ km}} \right]$	C_8	118	0,06	0,65	1,08	normalny	j.w.	$\mu = 7,1$ $\sigma = 2$	7,1	2,0	0,28



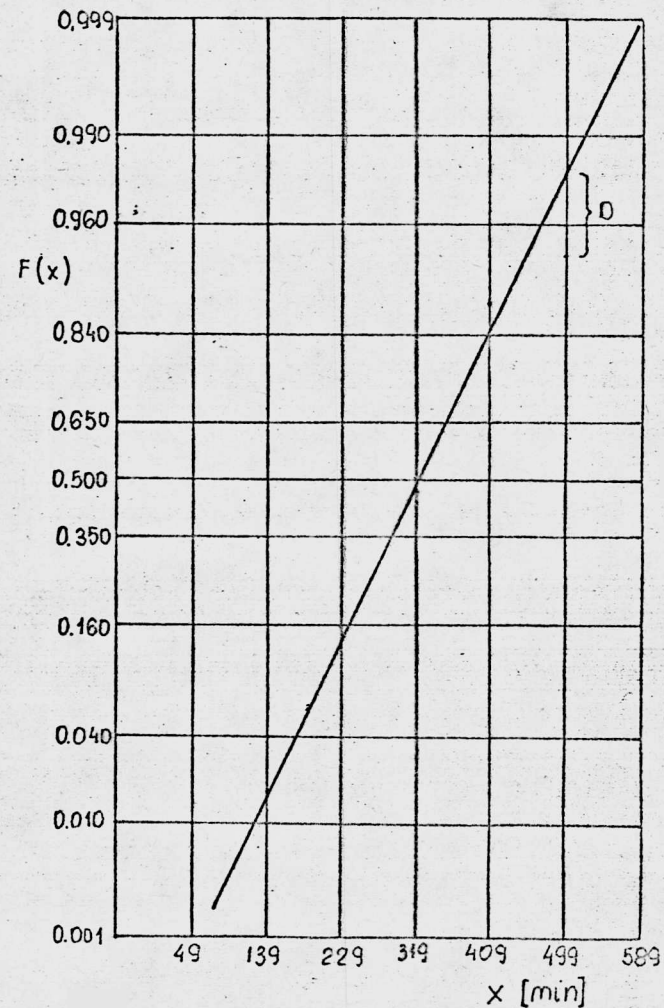
Rys.11. Histogram zmiennej losowej C_1 -
czasu jazdy w szczycie porannym



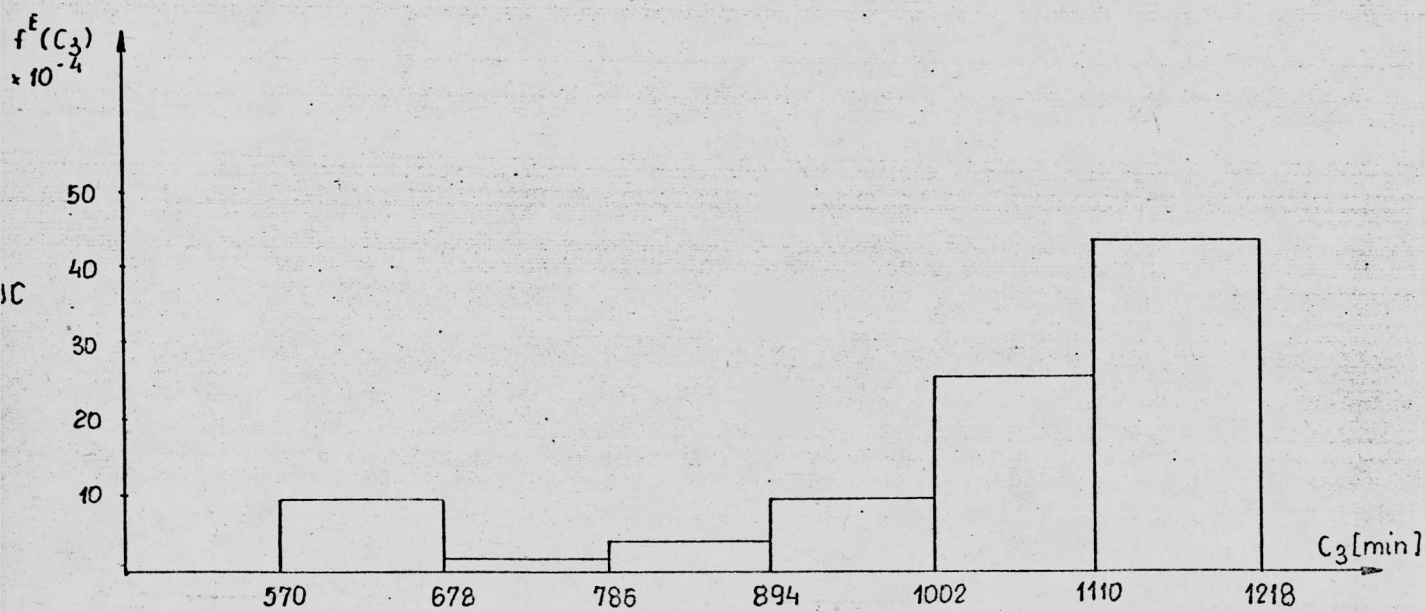
Rys.12. Graficzna weryfikacja rozkładu
zmiennej losowej C_1



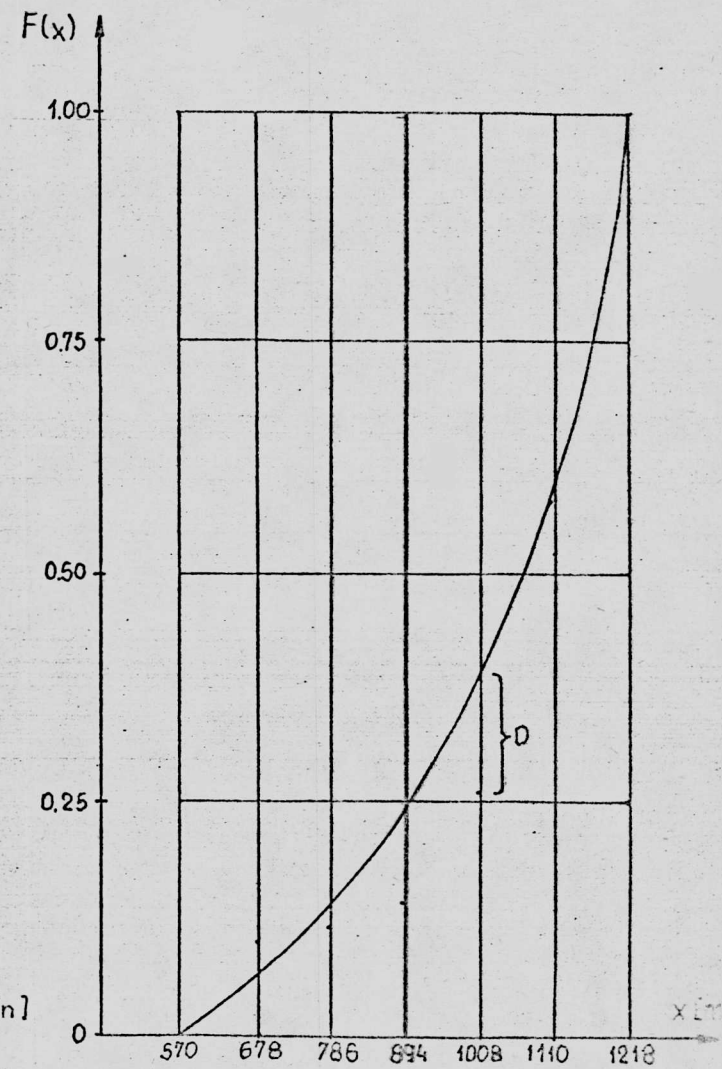
Rys.13. Histogram zmiennej losowej C_2 - czasu jazdy w szczycie popołudniowym.



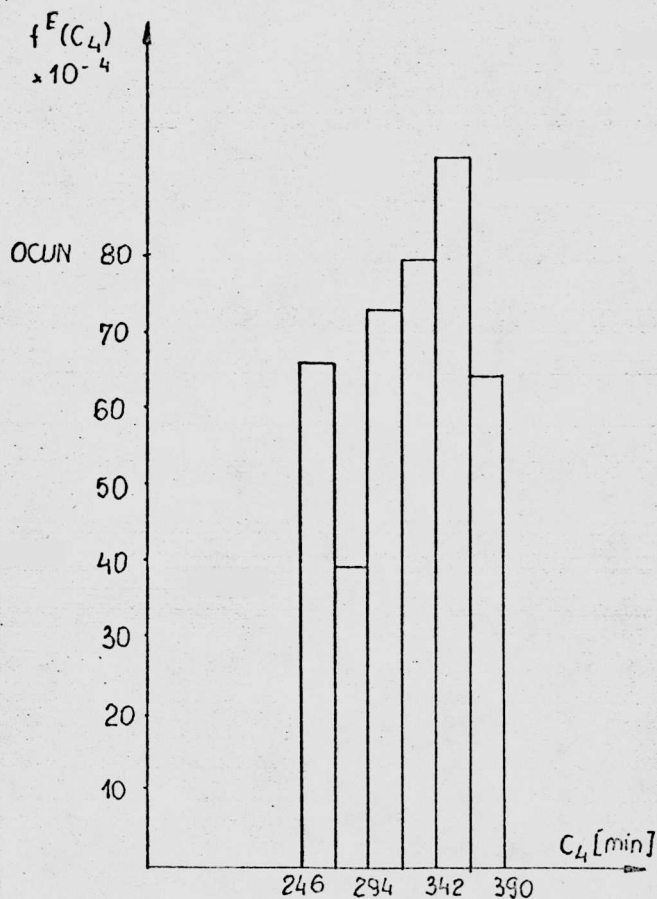
Rys.14. Graficzna weryfikacja rozkładu zmiennej losowej C_2



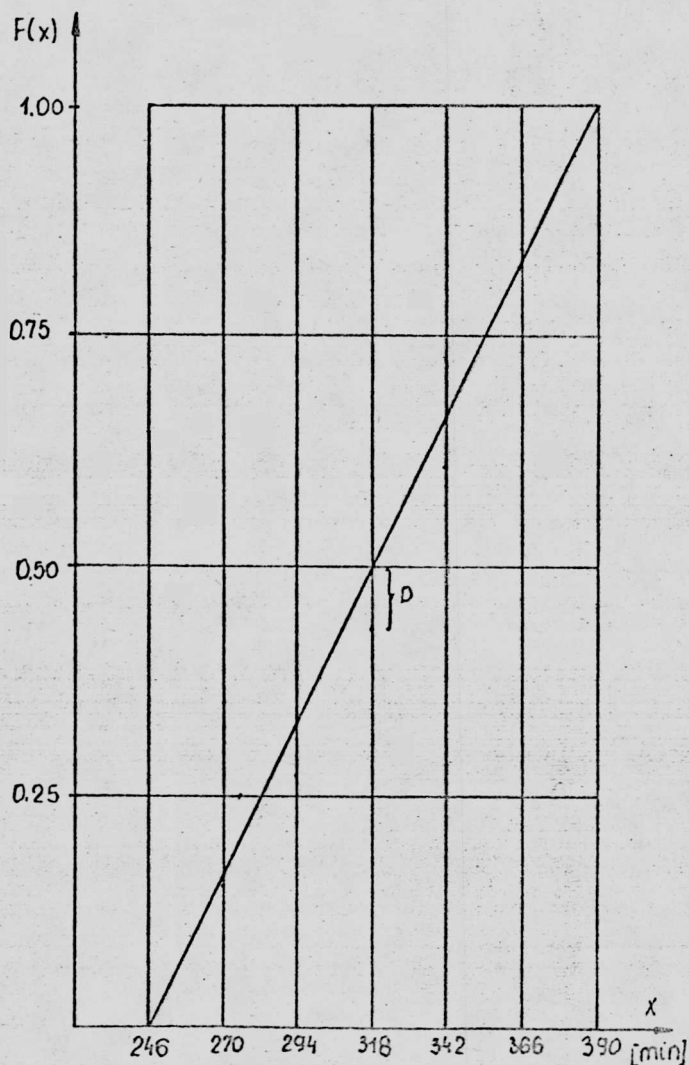
Rys.15. Histogram zmiennej losowej C_3 - czasu jazdy całodzienniej



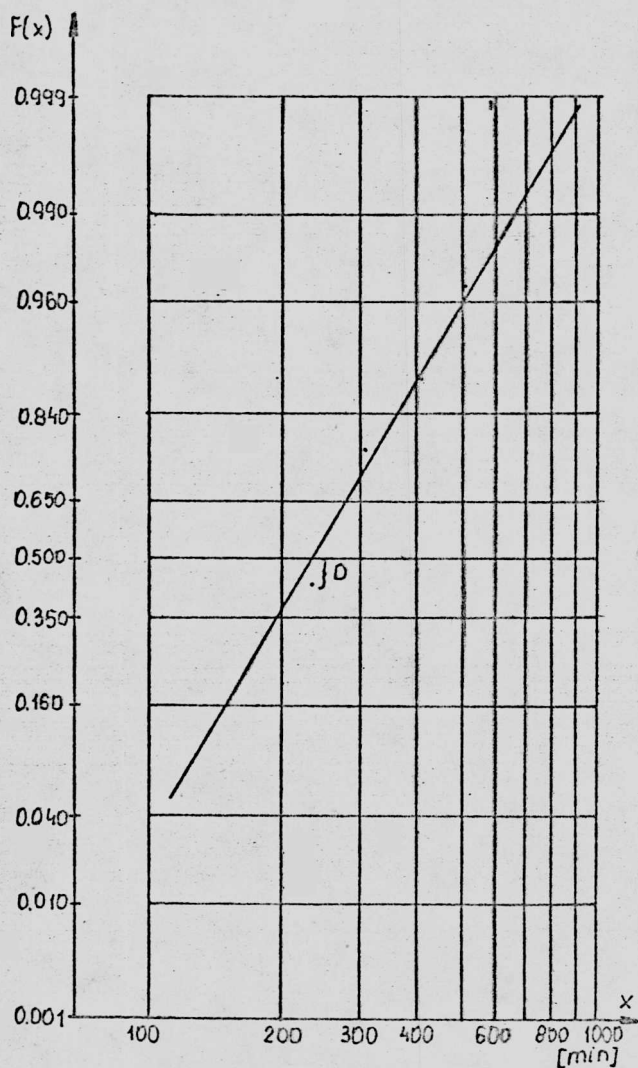
Rys.16. Graficzna weryfikacja rozkładu zmiennej losowej C_3



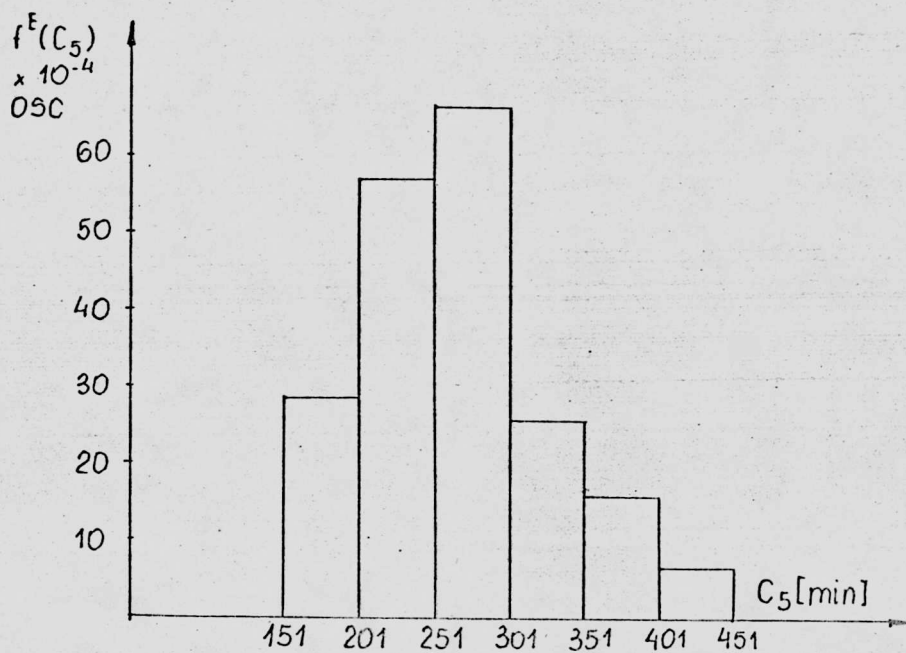
Rys. 17. Histogram zmiennej losowej C_4 — czasu oczekiwania na jazdę/nocnego/



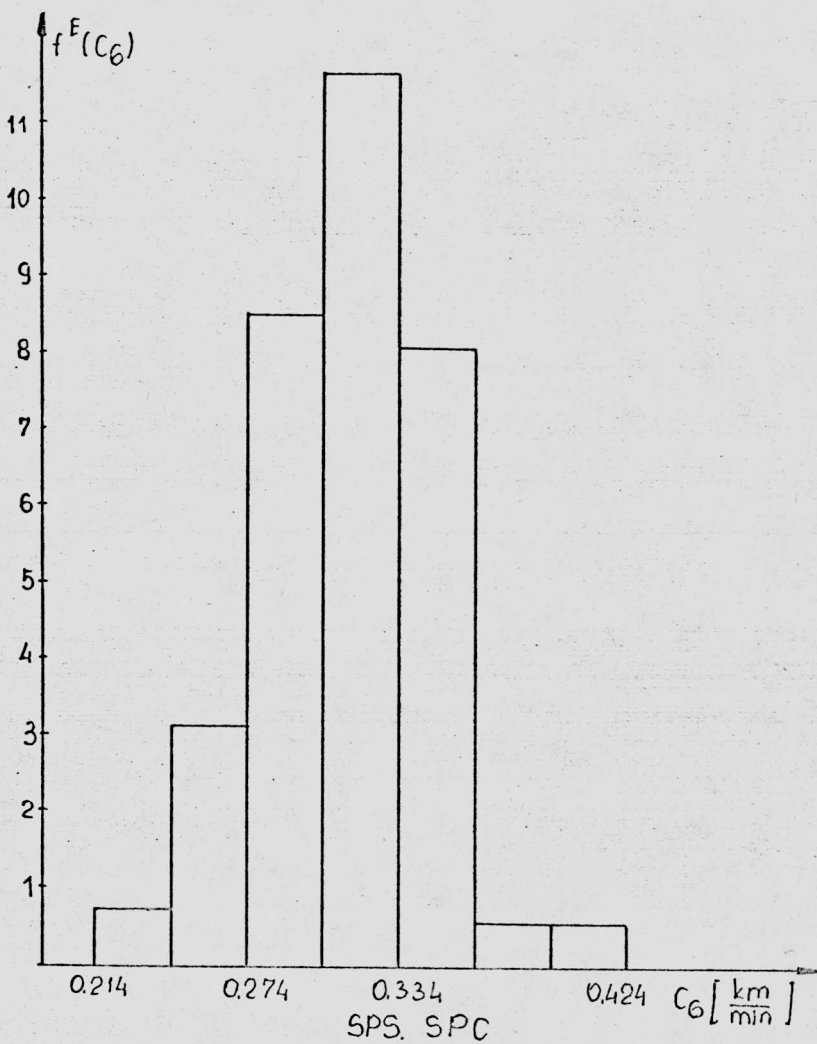
Rys.18. Graficzna weryfikacja rozkładu
zmiennej losowej C_4



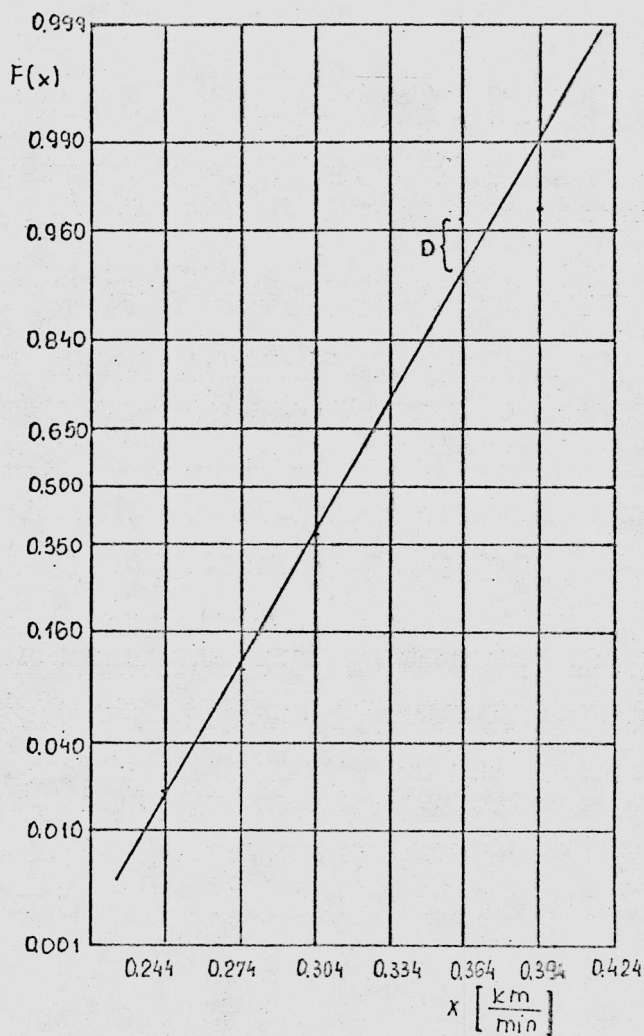
Rys.20. Graficzna weryfikacja rozkładu
zmiennej losowej C_5



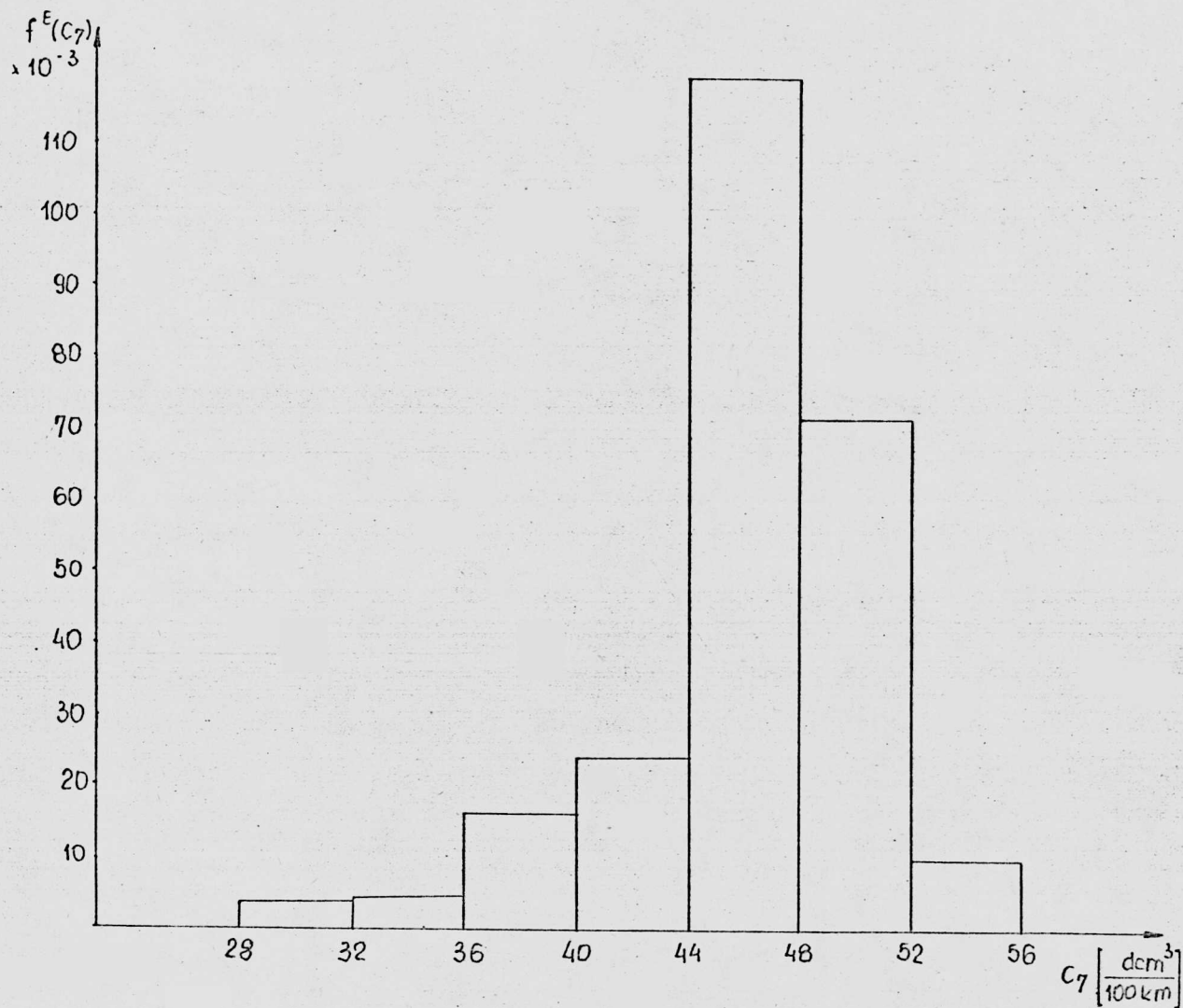
Rys.19. Histogram zmiennej losowej C_5 - czasu oczekiwania na jazdę między szczytami



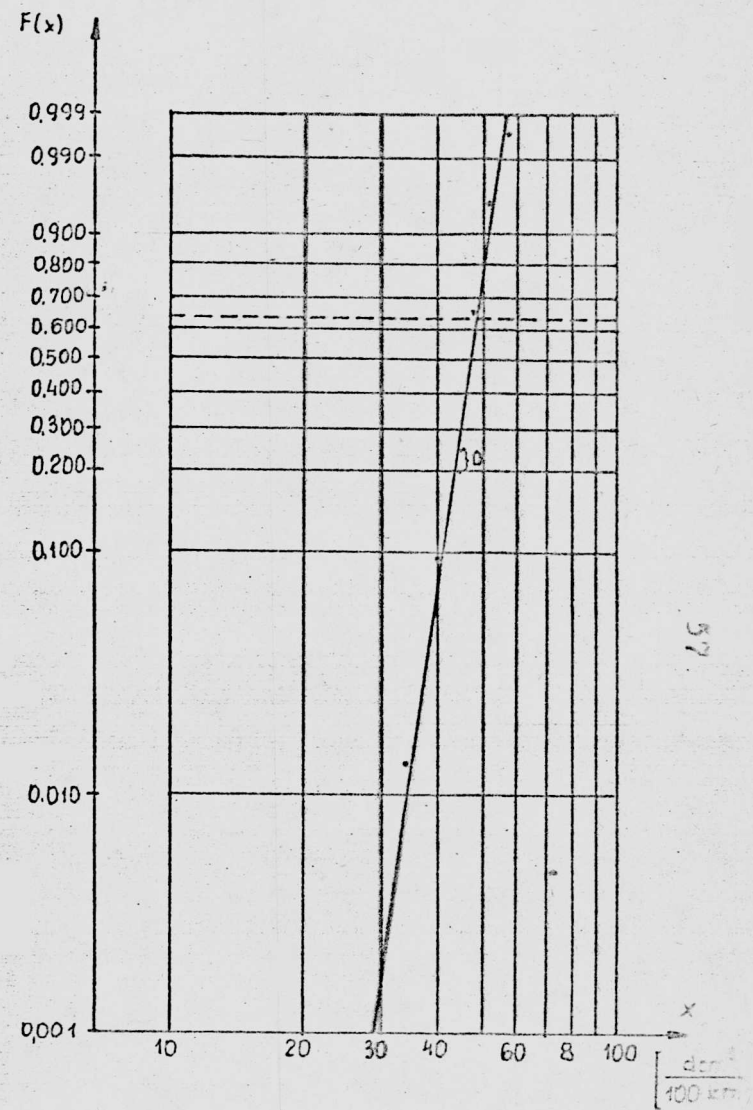
Rys.21. Histogram zmiennej losowej C_6 -
średniej dziennej prędkości jazdy



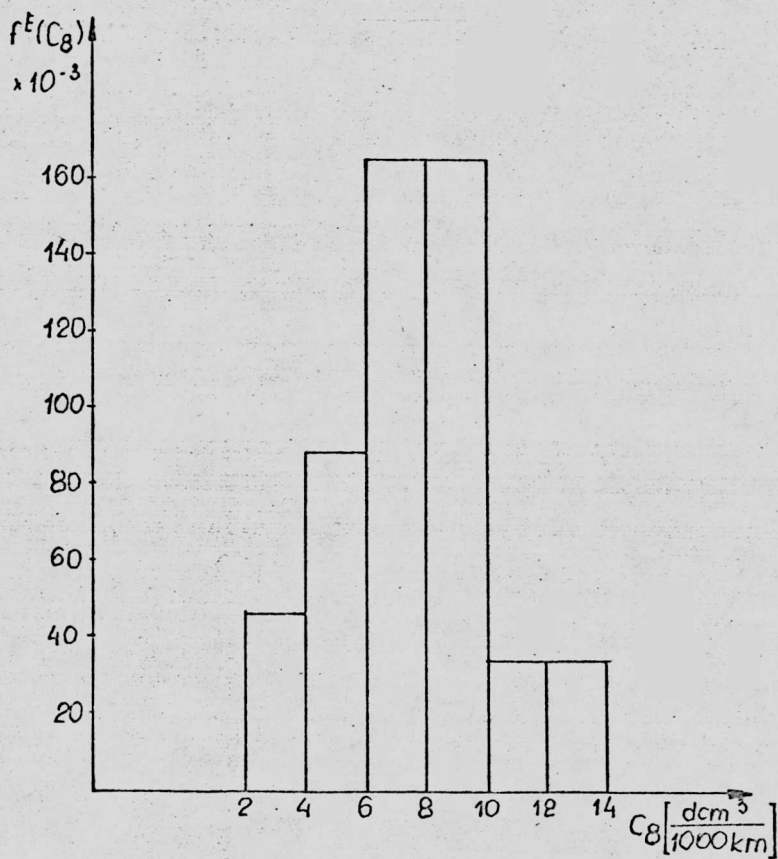
Rys.22. Graficzna weryfikacja rozkładu
zmiennej losowej C_6



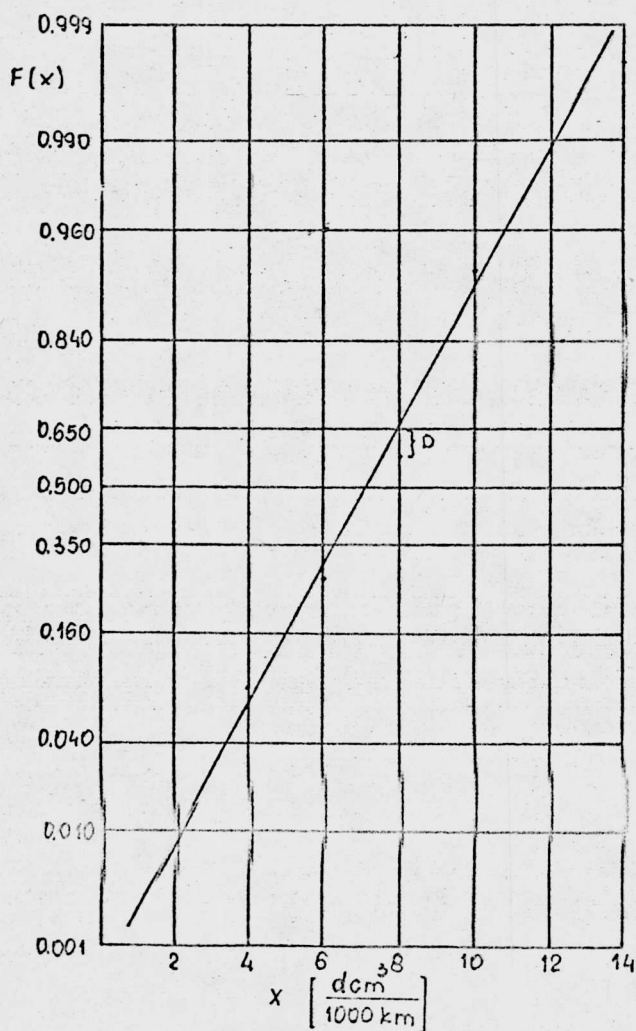
Rys.23. Histogram zmiennej losowej C_7 - średniego dziennego zużycia paliwa



Rys.24. Graficzna weryfikacja rozkładu zmiennej losowej C_7



Rys.25. Histogram zmiennej losowej C_8 - średniego dziennego zużycia oleju silnikowego



Rys.26. Graficzna weryfikacja rozkładu
zmiennej losowej C_8

Tabela 10

Zestawienie wielkości opisujących rodzaje pracy pojazdu

Lp.	Nazwa parametru	Wielkość parametru
1	2	3
1.	Wielkość próbki równa liczbie wylosowanych dni eksploatacji	465
2.	Liczba dni pracy z jazdami szczytowymi	288
3.	Liczba dni pracy z jazdami całodziennymi	149
4.	Liczba dni rezerwy pojazdu	28

Tabela 11

Charakterystyka liczbowa procesu obsługiwan

Lp.	Nazwa parametru	Jednostka miary	Wielkość parametru
1	2	3	4
1.	Liczba uszkodzeń M-objektów w okresie badań	-	2513
2.	Sumaryczny czas oczekiwania na obsługiwane M-objektów w okresie badań	a) min b) dni	104484 73
3.	Sumaryczny czas obsługiwan M-objektów w okresie badań	a) min b) dni	289922 204

Tabela 12

Wskaźniki ocenowe procesu obsługiwan

Lp.	Nazwa wskaźnika	Jednostka miary	Wielkość wskaźnika
1	2	3	4
1.	Wskaźnik postoju pojazdu w systemie obsługiwan	-	0,0123
2.	Wskaźnik efektywnego postoju pojazdu w systemie obsługiwan	-	0,7373
3.	Średni czas oczekiwania na obsługiwane	min	471
4.	Średni czas obsługiwan	min	117

Jeśli X_k będzie zmienną oznaczającą k -ty rodzaj pracy $k = 1, 2, 3$, to rozkład prawdopodobieństwa zaistnienia k -tego rodzaju pracy będzie rozkładem dyskretnym o następujących wartościach

$$p(X_k) = \begin{cases} 0,3204 & ; k = 1 \\ 0,6194 & ; k = 2 \\ 0,0602 & ; k = 3 \end{cases}$$

Otrzymany wynik świadczy o dobrej organizacji pracy w zajezdni, zapewniającej niemal codzienne wyjazdy pojazdów na trasy. Tylko około 2 dni w miesiącu pojazd pozostaje w zajezdni ze względów organizacyjnych.

W pozostałym okresie niemal dwukrotnie częściej autobusy wykorzystuje się jako szczytowe niż jako pojazdy całodienne. W wylosowanej próbie nie natrafiono na postój pojazdu w zajezdni z powodów technicznych, oznacza to, że w badanym okresie w wylosowanej próbie nie zdarzył się stan niezdatności trwający dłużej niż 24 godziny.

7.2. Wyniki analizy procesu obsługiwan

W tabeli 11 zamieszczono wielkości charakteryzujące proces obsługiwan, będące podstawą do obliczeń wskaźników ocenowych tego procesu. Wyznaczone wskaźniki, wprowadzone w punkcie 4.3.2, zestawiono w tabeli 12.

Dystrybuanty rozkładów prawdopodobieństwa czasów oczekiwania na obsługiwane i obsługiwane ze względu na to, że dotyczą konkretnych uszkodzonych elementów pojazdu rozpatrywano w następnych punktach 7.3.3 i 7.3.4.

7.3. Wyniki analizy procesu uszkodzalności pojazdu

W analizowanym okresie badań zaobserwowano 2518 uszkodzeń, 228 różnych pod względem konstrukcyjnym elementów. Ogólną charakterystykę wszystkich uszkodzeń pokazano w tabeli 13.

Biorąc pod uwagę p. 5.4.; kryterium co najmniej jednokrotnego pojawienia się uszkodzenia w każdym badanych pojazdów w przebiegu do pierwszej naprawy głównej, zakładanej projektowo po przebiegu 350 000 km, dokonano selekcji elementów grupując je w dwóch zbiorach. Bliższa analiza uszkodzeń dokonana w zbiorze elementów uszkodzonych mniej niż 12 razy wykazała, że znajduje się wśród nich wiele elementów spełniających tę samą funkcję w obiekcie i pracujących w podobnych mikro warunkach

Tabela 13

Ogólna charakterystyka wszystkich uszkodzeń pojazdów

Klasyfikacja uszkodzonych elementów	Ilość uszkodzonych elementów	Udział procentowy %	Ilość uszkodzeń elementów	Udział procentowy %	Czas oczekiwania na naprawę	Udział procentowy %	Czas naprawy	Udział procentowy %
Wszystkie uszkodzone elementy	228	100	2 513	100	104 484	100	293 333	100
Elementy uszkodzone mniej niż 12 razy	178	78,1	606	24,1	21 219	20,0	65 188	22,2
Elementy uszkodzone 12 i więcej razy	50	21,9	1 907	75,9	83 625	80,0	228 145	77,8

eksploatacyjnych. Zaliczyć do nich można przewody hydrauliczne, pneumatyczne, żarówki, łożyska, złączki itp. Ich udział ilościowy w zbiorze malouszkodzających się elementów (mniej niż 12 uszkodzeń) jest znaczny i pominięcie ich w dalszej analizie, a następnie w badaniach symulacyjnych, mogłoby mieć niekorzystny wpływ na dokładność końcowych wyników badań i szczegółowość modelu symulacyjnego.

W ten sposób uzyskano dodatkową grupę elementów łącznie uszkodzonych 12 i więcej razy i traktowanych dalej jako jeden element o liczbie uszkodzeń równej sumie uszkodzeń elementów wchodzących w skład tego "zredukowanego" elementu.

Szczegółowe zestawienie uszkodzeń wybranych elementów przedstawiono w tabeli 14.

Materiał badawczy zgromadzony na kartach uszkodzeń i napraw samochodu został dla potrzeb niniejszej analizy niezawodnościowej usystematyzowany poprzez przeniesienie na karty uszkodzeń elementów (załącznik).

Uzyskano w ten sposób zbiór informacji zawierający opis wszystkich uszkodzeń danego elementu w okresie badań. W tej formie umożliwia on wyznaczenie charakterystyk niezawodnościowych podanych w punkcie 4.3.2. i 5.3. Realizacje zmiennych losowych dotyczących przebiegów autobusu do I i między - uszkodzeniami uzyskano w wyniku poniższego postępowania. Na podstawie kart uszkodzeń elementów utworzono dwójki liczb zawierające numer autobusu i przebieg, przy którym wystąpiło uszkodzenie. Dwójki liczb poddano z kolei procedurze sortującej, szeregującej dwójki w ciąg niemalejący ze względu na numer autobusu, a następnie ze względu na przebieg pojawienia się uszkodzenia. Otrzymano w ten sposób ciągi dwójek liczb zawierające kolejne numery pojazdów i ciąg rosnący przebiegów w chwili uszkodzenia.

Każda z pierwszych wartości przebiegu dla nowego autobusu tworzy zbiór realizacji zmiennej losowej przebiegu do I uszkodzenia. Różnice pomiędzy ewentualnymi następnymi wartościami przebiegu tego samego pojazdu stanowią realizacje zmiennej losowej przebiegu między uszkodzeniami danego elementu. Przykładowy wynik przetworzenia zbioru danych o przebiegach pojazdów w chwili uszkodzenia jednego z elementów przedstawiono w załączniku.

7.3.1. Wyznaczenie dystrybuant rozkładów prawdopodobieństwa przebiegu do I uszkodzenia danego elementu.

Sposób postępowania przy wyznaczaniu dystrybuant przebiegu do I uszkodzenia oparty jest na dystrybuancie empirycznej [65] stosowanej dla próbek o niedużej liczności, nie pozwalającej na przedziałową budo-

Numer elementu	Katalogowy kod elementu	Nazwa elementu	Cena elementu	Ilość uszkodzeń	Sumaryczny czas oczekiwania na naprawę	Sumaryczny czas napraw elementu	Sumaryczny koszt napraw elementu	Wartość WI	Kolejność wskazań
01	011 0202	Uszczelka głowicy	230	13	67800	22080	21330	44,25	1
02	027 0211	Sprężarka kpl.	5000	18	0	3225	93122	7,29	2
03	028 0315	Przewód przelew. wewn.	50	47	300	3075	5526	0,58	28
04	034 0308	Cięgno ręczn. sterow.	270	21	0	855	6307	0,61	27
05	040 0326	Tarcza zabierakowa	1300	19	300	3945	27681	3,08	14
06	042 0303	Papierowy elem. filtr.	1200	136	480	8430	168690	1,88	21
07	044 0301	Filtr paliwa	180	24	0	1335	8933	0,78	25
08	044 0308	Uszczelka	7	51	180	2400	1692	0,35	46
09	047 0331	Przewód 6X8	140	18	120	825	2923	0,51	29
10	068 0413	Element filtrujący	120	43	60	1245	6290	0,36	45
11	074 0501	Chłodnica	6516	13	2400	3060	31450	5,44	7
12	074 0505	Sprzęgło wentylatora	2100	20	0	3120	44813	3,64	9
13	080 0704	Tarcza cierna	252	30	3420	10335	14653	3,38	10
14	082 0712	Cięgno	66	24	0	1050	2189	0,38	40
15	083.0704	Mech. wspomag. sprz.	1560	12	0	1500	19890	2,73	16
16	096 1114	Okładzina cierna	214	83	240	36720	46202	3,38	11
17	104 1101	Wspornik rozpieracza	890	15	0	2400	14540	2,11	20
18	104 1116	Dźwignia hamulc.	regul.	19	60	945	517	0,35	47
19	105 1122	Okładzina TEXTAR	236	88	0	38880	50573	3,38	12
20	106 1202	Opona	4900	47	300	2565	233082	6,28	4
21	106 1203	Dętka	210	181	960	10620	46115	0,69	26
22	109 1101	Główny zawór ham.	4450	20	60	2310	90593	6,15	5
23	133 1501	Mocowanie amortyz. tył.	dokręc.	51	120	3030	2835	0,44	36
24	130 1401	Mocowanie amortyz. przód	dokręc.	18	0	1095	870	0,44	37
25	131 1501	Resor kpl.	3074	30	360	6060	98478	5,22	8
26	131 1512	Wspornik	regener.	24	720	6480	6488	2,14	19
27	133 1502	Sworzeń	80	13	540	915	1760	0,84	24
28	136 1702	Zawór poziomujący	1946	23	180	1250	45550	2,75	15
29	136 1722	Mięch powietrzny	1100	34	360	5325	42115	2,50	17
30	146 1901	Czujnik temp. wody	100	26	0	915	3219	0,37	42
31	146 1905	Czujnik ciśn. oleju	80	41	150	1515	4226	0,37	43
32	146 1907	Czujnik ciśn. powietrza	80	20	30	810	2070	0,38	41
33	146 1910	Czujnik poz. paliwa	120	27	240	1200	3882	0,49	32
34	146 1914	Prędn. tachometr. prędk.	600	14	0	675	8839	1,24	23
35	148 1901	Akumulator	1950	13	0	900	26055	3,16	13
36	148 1918	Rozrusznik	5000	36	240	2580	181385	6,46	3
37	168 1801	Nagrzewnica stopnia	1388	42	180	4035	60856	2,33	18
38	172 2012	Elektrozawór	regul.	35	120	1845	953	0,37	44
39	172 2014	Zawór	regul.	35	0	1455	833	0,28	48
40	177 1918	Peś klinowy	60	148	1290	6215	12255	0,41	38
41	178 1901	Alternator	4500	22	60	1965	100202	5,99	6
42	-	Zarówki	28	42	30	1090	1751	0,21	50
43	-	Łącznik elast. wodny	dokręc.	18	0	1260	750	0,47	33
44	-	Przew. giętki powietrzny	50	71	0	4200	5505	0,45	34
45	-	Złączki hydraulic.	dokręc.	36	30	1430	843	0,28	49
46	-	Łożyska	100	27	900	3930	5791	1,34	22
47	-	Silowniki pneumat.	regul.	29	0	2055	1568	0,50	31
48	-	Przew. elast. hadraul.	dokręc.	25	120	1380	728	0,40	39
49	-	Przew. elast. wodne	dokręc.	18	90	1080	732	0,45	35
50	-	Nakrętki	25	47	825	2535	2855	0,51	30

wę histogramu. Przy próbie liczącej 39 pojazdów maksymalna liczność próbki pierwszych uszkodzeń również mogła wynosić 39, co sugerowało zastosowanie wyżej podanej metody.

Wartości dystrybuanty empirycznej oblicza się dla kolejnych, niemalejąco uszeregowanych realizacji zmiennej losowej, według wzoru:

$$F_i(x_i) = \frac{i}{N + 1}; \quad i = 1, 2, \dots, N$$

Po uzyskaniu dystrybuanty empirycznej postępowano tak jak opisano w punkcie 7.1.- 6^o i dalszych.

Zo względu na ograniczoną wielkość próbki zdecydowano się na złagodzenie testu i obniżenie poziomu istotności α testu λ -Kolmogorowa do wartości $\alpha = 0,05$, przy której krytyczna wartość statystyki λ wynosi $\lambda_\alpha = 1,34$. [65]

Dla przeważającej większości elementów liczność próbki tj. liczba realizacji pierwszych uszkodzeń danego elementu, nie osiąga 39 i analityczne oszacowanie parametrów rozkładu na podstawie takiej próbki staje się niemożliwe [22]. Jeśli N jest bliskie M oszacowanie od dołu wartości średniej oblicza się według wzoru [22]:

$$\bar{c}_9 > \frac{C_{91} + C_{92} + \dots + C_{9N}(M + N)L_B}{M}$$

Weryfikację rozkładów prawdopodobieństwa zmiennej C_9 oraz wyznaczanie parametrów tych rozkładów przeprowadzono metodą graficzną [65].

Zestawienie wyników weryfikacji zamieszczono w tabeli 15.

7.3.2. Wyznaczenie dystrybuant rozkładów prawdopodobieństwa przebiegu między uszkodzeniami elementów

Realizację przebiegów między uszkodzeniami elementów wyznaczono jako różnice przebiegów, przy których element uległ awarii.

Oczywiście było to możliwe tylko wówczas, gdy w okresie badań dany element uszkodził się co najmniej dwa razy w tym samym pojeździe. Sposób uzyskania dystrybuanty uzależniony jest od wielkości; jeśli ilość realizacji wynosiła ponad 50 można postępować według przepisu jak w punkcie 7.1., w pozostałych przypadkach posłużono się metodą dystrybuanty empirycznej punkt 7.3.1.

Rozkłady prawdopodobieństwa oraz ich parametry wyznaczono w opraciu o metodę graficzną, a wyniki weryfikacji zamieszczono w tabeli 16.

Tabela 15

L.p.	Numer elementu	Liczba danych	Wsk. odchyłka testu	Wartość statystyki	Typ rozkładu	Parametry rozkładu	$E(x)$	$D^2(x)$	$V(x)$
1	1	9	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=88267$	-	-	-
2	2	16	0,03	0,12	Normalny	$m=115000, \sigma=57000$	115000	57000	0,49
3	3	25	0,06	0,30	Normalny	$m=65000, \sigma=43000$	65000	43000	0,66
4	4	17	0,03	0,12	Normalny	$m=110000, \sigma=53000$	110000	53000	0,48
5	5	14	0,05	0,19	Normalny	$m=92000, \sigma=45000$	92000	45000	0,49
6	6	37	0,08	0,49	Lognormalny	$\tilde{m}=8351, \sigma=0,4144$	9100	3615	0,40
7	7	20	0,03	0,13	Lognormalny	$\tilde{m}=29410, \sigma=1,5197$	93325	88568	0,95
8	8	27	0,10	0,52	Lognormalny	$\tilde{m}=32282, \sigma=0,7227$	44668	26736	0,60
9	9	13	0,04	0,14	Lognormalny	$\tilde{m}=12792, \sigma=2,5328$	316228	315935	0,99
10	10	26	0,14	0,71	Normalny	$m=67000, \sigma=42000$	67000	42000	0,63
11	11	11	0,02	0,06	Normalny	$m=136000, \sigma=58000$	136000	58000	0,43
12	12	16	0,05	0,20	Normalny	$m=105000, \sigma=39000$	105000	39000	0,37
13	13	22	0,10	0,23	Lognormalny	$\tilde{m}=39839, \sigma=0,5132$	77624	21868	0,28
14	14	16	0,09	0,36	Lognormalny	$\tilde{m}=16873, \sigma=0,8867$	24999	18446	0,74
15	15	10	0,04	0,13	Normalny	$m=120000, \sigma=42000$	120000	42000	0,35
16	16	37	0,15	0,91	Lognormalny	$\tilde{m}=32400, \sigma=0,2993$	33884	9919	0,29
17	17	12	0,06	0,21	Lognormalny	$\tilde{m}=31367, \sigma=0,9441$	48978	37619	0,77
18	18	13	0,06	0,22	Lognormalny	$\tilde{m}=48582, \sigma=1,6809$	199526	193525	0,97
19	19	37	0,15	0,91	Lognormalny	$\tilde{m}=30439, \sigma=0,2763$	31623	8573	0,27
20	20	27	0,06	0,31	Lognormalny	$\tilde{m}=19918, \sigma=1,3585$	50119	45990	0,92
21	21	39	0,08	0,50	Lognormalny	$\tilde{m}=15654, \sigma=0,7599$	20893	13838	0,66
22	22	16	0,05	0,20	Lognormalny	$\tilde{m}=39770, \sigma=1,7039$	169824	165099	0,97
23	23	23	0,10	0,48	Lognormalny	$\tilde{m}=12324, \sigma=1,6094$	45000	43278	0,96
24	24	13	0,05	0,18	Normalny	$m=120000, \sigma=60000$	120000	60000	0,50
25	25	22	0,05	0,23	Lognormalny	$\tilde{m}=78014, \sigma=0,5987$	93325	51222	0,55
26	26	18	0,03	0,13	Lognormalny	$\tilde{m}=70924, \sigma=0,8289$	100000	70493	0,70
27	27	11	0,05	0,17	Normalny	$m=10400, \sigma=3900$	10400	3900	0,38
28	28	14	0,04	0,15	Lognormalny	$\tilde{m}=52436, \sigma=1,6348$	199512	192499	0,96
29	29	21	0,09	0,41	Normalny	$m=97000, \sigma=45000$	97000	45000	0,46
30	30	21	0,09	0,41	Lognormalny	$\tilde{m}=41142, \sigma=1,2434$	89125	79062	0,89
31	31	24	0,01	0,05	Lognormalny	$\tilde{m}=8673, \sigma=1,9572$	58884	58239	0,99
32	32	11	0,08	0,27	Lognormalny	$\tilde{m}=12653, \sigma=2,3486$	199508	199106	0,99
33	33	17	0,08	0,33	Lognormalny	$\tilde{m}=4277, \sigma=2,8782$	269153	269116	0,99
34	34	10	0,04	0,13	Normalny	$m=115000, \sigma=47000$	115000	47000	0,41
35	35	13	0,03	0,11	Normalny	$m=123000, \sigma=54000$	123000	54000	0,44
36	36	25	0,06	0,30	Lognormalny	$\tilde{m}=29660, \sigma=1,1513$	57544	48311	0,86
37	37	26	0,12	0,61	Lognormalny	$\tilde{m}=23098, \sigma=1,1283$	43625	37042	0,85
38	38	20	0,08	0,36	Normalny	$m=89000, \sigma=58000$	89000	58000	0,65
39	39	28	0,09	0,48	Lognormalny	$\tilde{m}=31367, \sigma=0,9441$	48978	37619	0,77
40	40	39	0,15	0,94	Lognormalny	$\tilde{m}=7762, \sigma=0,8750$	12023	8325	0,69
41	41	15	0,05	0,19	Lognormalny	$\tilde{m}=20821, \sigma=1,9802$	147903	146430	0,99
42	42	36	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=90760$	-	-	-
43	43	18	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=95687$	-	-	-
44	44	55	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=94666$	-	-	-
45	45	29	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=95078$	-	-	-
46	46	26	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=97538$	-	-	-
47	47	23	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=97492$	-	-	-
48	48	21	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=95965$	-	-	-
49	49	18	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=99604$	-	-	-
50	50	44	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=92951$	-	-	-

* Wartość krytyczna statystyki λ -Kolmogorowa na poziomie istotności $\alpha=0,05$ wynosi $\lambda_{\alpha}=1,34$.

L.p.	Numer elementu	Liczba danych	Maksymalny testu	Wartość statystyki	Typ rozkładu	Parametry rozkładu	E(x)	$\sqrt{D(x)}$	V(x)
1	1	4	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=19477$	-	-	-
2	2	2	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=23560$	-	-	-
3	3	22	0,08	0,38	Wykładniczy	$\lambda=3,23 \cdot 10^{-5}$	31000	31000	1,00
4	4	4	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=32605$	-	-	-
5	5	5	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=30280$	-	-	-
6	6	99	0,02	0,20	Log.normalny	$m=1225$ $\sigma=1,7730$	5899	5770	0,98
7	7	4	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=46086$	-	-	-
8	8	24	0,16	0,78	Wykładniczy	$\lambda=5 \cdot 10^{-5}$	20000	20000	1,00
9	9	5	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=27805$	-	-	-
10	10	17	0,07	0,29	Wykładniczy	$\lambda=3,45 \cdot 10^{-5}$	29000	29000	1,00
11	11	2	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=28272$	-	-	-
12	12	4	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=19462$	-	-	-
13	13	8	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=26861$	-	-	-
14	14	8	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=4088$	-	-	-
15	15	2	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=8878$	-	-	-
16	16	46	0,12	0,81	Weibulla	$\theta=5,84 \cdot 10^6$ $\delta=1,5$	29316	20330	0,66
17	17	3	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=7609$	-	-	-
18	18	6	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=24433$	-	-	-
19	19	51	0,09	0,64	Weibulla	$\theta=5,16 \cdot 10^7$ $\delta=1,7$	30720	16758	0,59
20	20	21	0,09	0,41	Wykładniczy	$\lambda=3,125 \cdot 10^{-5}$	32000	32000	1,00
21	21	142	0,11	1,31	Wykładniczy	$\lambda=6,25 \cdot 10^{-5}$	16000	16000	1,00
22	22	4	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=12626$	-	-	-
23	23	28	0,13	0,69	Wykładniczy	$\lambda=5,88 \cdot 10^{-5}$	17000	17000	1,00
24	24	5	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=12245$	-	-	-
25	25	8	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=15606$	-	-	-
26	26	6	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=35806$	-	-	-
27	27	2	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=42194$	-	-	-
28	28	9	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=25907$	-	-	-
29	29	13	0,14	0,50	Wykładniczy	$\lambda=5,56 \cdot 10^{-5}$	18000	18000	1,00
30	30	5	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=40409$	-	-	-
31	31	17	0,12	0,49	Wykładniczy	$\lambda=6,67 \cdot 10^{-5}$	15000	15000	1,00
32	32	9	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=34695$	-	-	-
33	33	10	0,12	0,38	Wykładniczy	$\lambda=5,71 \cdot 10^{-5}$	17500	17500	1,00
34	34	4	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=19515$	-	-	-
35	35	0	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=0$	-	-	-
36	36	11	0,07	0,23	Wykładniczy	$\lambda=2,44 \cdot 10^{-5}$	41000	41000	1,00
37	37	16	0,07	0,28	Wykładniczy	$\lambda=6,67 \cdot 10^{-5}$	15000	15000	1,00
38	38	15	0,07	0,27	Wykładniczy	$\lambda=4,35 \cdot 10^{-5}$	23000	15000	1,00
39	39	7	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=27774$	-	-	-
40	40	110	0,09	0,94	Wykładniczy	$\lambda=6,25 \cdot 10^{-5}$	16000	16000	1,00
41	41	7	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=29791$	-	-	-
42	42	6	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=19669$	-	-	-
43	43	0	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=0$	-	-	-
44	44	16	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=21000$	-	-	-
45	45	7	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=7328$	-	-	-
46	46	1	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=23713$	-	-	-
47	47	6	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=20436$	-	-	-
48	48	4	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=21553$	-	-	-
49	49	0	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=0$	-	-	-
50	50	3	-	-	Wartość średnia	$\bar{L}=44945$	-	-	-

Wartość krytyczna statystyki λ - Kolmogorowa na poziomie istotności $\alpha=0,05$ wynosi $\lambda_{\alpha}=1,34$

7.3.3. Wyznaczenie dystrybuant rozkładów prawdopodobieństwa czasu oczekiwania na naprawę.

Realizacje zmiennej losowej czasu oczekiwania na naprawę uzyskano z kart uszkodzeń elementów, przy czym okazało się, że spośród 50 badanych elementów, 34 elementy oczekiwały na swą naprawę. Czasy oczekiwania przyjmowały każdorazowo tylko kilka z ustalonych wartości np. 15, 30, 60 minut, co nie pozwalało zbudować histogramu o ciągłym charakterze. Zdecydowano się na opisanie rozkładów prawdopodobieństwa czasów oczekiwania na naprawy rozkładami dyskretnymi punktowymi, w których prawdopodobieństwa wystąpienia dyskretnych wartości zmiennej losowej przybliżono częstościami ich wystąpienia:

$$p_k = \frac{d_k}{D}$$

k - dyskretna wartość zmiennej

Dyskretny rozkład prawdopodobieństwa zmiennej x opisano wzorem:

$$p(X_k) = \begin{cases} p_1 ; k = 1 \\ p_2 ; k = 2 \\ \vdots \\ p_k ; k = K \end{cases}$$

Zestawienie parametrów rozkładów dla 34 elementów, dla których zaistniał stan oczekiwania na naprawę podano w tabeli 17.

7.3.3. Wyznaczenie dystrybuant rozkładów prawdopodobieństwa czasu naprawy elementów

Realizacje zmiennej losowej czasu naprawy otrzymano z kart uszkodzeń elementów, a sposób wyznaczania dystrybuant rozkładów i ich parametrów uzależniono od liczności próbki oraz liczby różnowartościowych realizacji zmiennej. Jeśli czasy napraw elementu przyjmowały mniej niż 5 różnych wartości lub przeprowadzone testy zgodności odrzucały hipotezy o danym typie rozkładu, zmienną losową opisywano rozkładem dyskretnym. W pozostałych przypadkach do wyznaczania rozkładów zmiennej wykorzystywano metodę dystrybuanty empirycznej lub metodę przedziałową. Weryfikację zgodności z rozkładami teoretycznymi prowadzono graficznie w siatkach rozkładów.

Wyniki weryfikacji, rozkłady zmiennej i parametry rozkładów zestawiono w tabeli 18.

T a b e l a 17

Wyniki wnioskowania statystycznego o rozkładach
prawdopodobieństwa czasów oczekiwania na obsługiwanie

Lp.	Numer elementu	Liczba napraw elementu	Czas oczekiwania na naprawę elementu					
			Liczba przyp. oczek na napr.	Częstość wystąpienia oczekiw.	Parametry rozkładu	Wartość oczekiw.	Odchyl. standart.	Współcz. wariancji
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	13	10	0,769	$x_1=120; p=0,100$ $x_2=480; p=0,100$ $x_3=1440; p=0,100$ $x_4=3840; p=0,100$ $x_5=4320; p=0,100$ $x_6=4800; p=0,100$ $x_7=7200; p=0,100$ $x_8=12000; p=0,100$ $x_9=14400; p=0,100$ $x_{10}=19200; p=0,100$	6780	6420	0,95
2	3	47	2	0,043	$x_1=60; p=0,500$ $x_2=240; p=0,500$	150	127	0,85
3	5	19	3	0,158	$x_1=60; p=0,333$ $x_2=120; p=0,667$	100	35	0,35
4	6	136	8	0,059	$x_1=60; p=1,000$	60	0	0,00
5	8	51	3	0,059	$x_1=60; p=1,000$	60	0	0,00
6	9	18	2	0,111	$x_1=60; p=1,000$	60	0	0
7	10	43	1	0,023	$x_1=60; p=1,000$	60	0	0
8	11	13	4	0,308	$x_1=480; p=0,750$ $x_2=960; p=0,250$	600	240	0,40
9	13	30	4	0,133	$x_1=60; p=0,250$ $x_2=960; p=0,500$ $x_3=1440; p=0,250$	855	576	0,67
10	16	83	2	0,024	$x_1=60; p=0,500$ $x_2=180; p=0,500$	120	85	0,71
11	18	19	1	0,053	$x_1=60; p=1,000$	60	0	0
12	20	47	3	0,063	$x_1=60; p=0,667$ $x_2=180; p=0,333$	100	69	0,69

1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	21	181	12	0,066	$x_1=60;p=0,750$ $x_2=120;p=0,167$ $x_3=180;p=0,083$	80	39	0,49
14	22	20	1	0,050	$x_1=60;p=1,000$	60	0	0
15	23	51	2	0,039	$x_1=60;p=1,000$	60	0	0
16	25	30	6	0,200	$x_1=60;p=1,000$	60	0	0
17	26	24	6	0,250	$x_1=60;p=0,667$ $x_2=120;p=0,166$ $x_3=360;p=0,166$	120	120	1,00
18	27	13	7	0,538	$x_1=30;p=0,286$ $x_2=60;p=0,571$ $x_3=240;p=0,143$	77	73	0,95
19	28	23	3	0,130	$x_1=60;p=1,000$	60	0	0
20	29	34	5	0,147	$x_1=60;p=0,800$ $x_2=120;p=0,200$	72	27	0,38
21	31	41	4	0,098	$x_1=30;p=0,750$ $x_2=60;p=0,250$	38	15	0,39
22	32	20	1	0,050	$x_1=30;p=1,000$	30	0	0
23	33	27	2	0,074	$x_1=60;p=0,500$ $x_2=180;p=0,500$	120	85	0,71
24	36	36	4	0,111	$x_1=60;p=1,000$	60	0	0
25	37	42	2	0,048	$x_1=60;p=0,500$ $x_2=120;p=0,500$	90	42	0,47
26	38	35	2	0,057	$x_1=60;p=1,000$	60	0	0
27	40	148	11	0,074	$x_1=60;p=0,818$ $x_2=210;p=0,091$ $x_3=540;p=0,091$	117	147	1,25
28	41	22	1	0,045	$x_1=60;p=1,000$	60	0	0
29	42	42	1	0,024	$x_1=30;p=1,000$	30	0	0
30	45	36	1	0,027	$x_1=30;p=1,000$	30	0	0
31	46	27	5	0,185	$x_1=60;p=0,400$ $x_2=120;p=0,200$ $x_3=300;p=0,200$ $x_4=360;p=0,200$	180	140	0,78
32	48	25	2	0,080	$x_1=60;p=1,000$	60	0	0
33	49	18	2	0,111	$x_1=30;p=0,500$ $x_2=60;p=0,500$	45	21	0,47
34	50	47	15	0,313	$x_1=30;p=0,400$ $x_2=45;p=0,067$ $x_3=60;p=0,400$ $x_4=120;p=0,133$	55	30	0,55

Tabela 18

Wyniki wnioskowania statystycznego o rozkładach prawdopodobieństwa
czasów obciążenia elementów

Czas naprawy uszkodzenia elementów									
Nr elementu	Liczba danych	Maks. odch. testu zgodności	Wartość statyst. χ^2 Kolmogor.	Wartość krytyczna χ^2_{α}	Typ rozkładu	Parametry rozkładu	Wartość oczekiwana	Odczynł. standard.	Współcz. wariancji
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	13	0,10	0,36	1,34	Normalny	$m=1750$ $\sigma=630$	1750	630	0,36
2	18	0,18	0,76	1,34	Normalny	$m=180$ $\sigma=44$	180	44	0,24
3	47	0,02	0,140	1,34	Wykładniczy z parametrem przesunięcia	$\lambda=0,04$ $T_0=30$	25	25	1,00
4	21	-	-	-	Dyskretny	$x_1=30; p=0,619$ $x_2=45; p=0,048$ $x_3=60; p=0,333$	41	14	0,34
5	19	0,11	0,48	1,34	Normalny	$m=208$ $\sigma=31$	208	31	0,15
6	136	0,11	1,28	1,34	Log.normalny	$\tilde{m}=57,95$ $\tilde{\sigma}_{lny}=0,367$	62	24	0,38
7	24	0,20	0,98	1,34	Log.normalny	$\tilde{m}=51,06$ $\tilde{\sigma}_{lny}=0,429$	56	25	0,45
8	51	-	-	-	Dyskretny	$x_1=30; p=0,451$ $x_2=45; p=0,039$ $x_3=60; p=0,471$ $x_4=90; p=0,039$	47	17	0,36
9	19	-	-	-	Dyskretny	$x_1=30; p=0,555$ $x_2=60; p=0,278$ $x_3=75; p=0,167$	46	19	0,41
10	43	-	-	-	Dyskretny	$x_1=15; p=0,093$ $x_2=30; p=0,884$ $x_3=45; p=0,023$	29	5	0,17
11	13	0,17	0,61	1,34	Log.normalny	$\tilde{m}=222,49$ $\tilde{\sigma}_{lny}=0,331$	235	80	0,34
12	20	-	-	-	Dyskretny	$x_1=120; p=0,100$ $x_2=150; p=0,600$ $x_3=180; p=0,300$	156	18	0,12
13	30	0,20	1,09	1,34	Normalny	$m=380$ $\sigma=225$	380	225	0,59
14	24	-	-	-	Dyskretny	$x_1=30; p=0,583$ $x_2=60; p=0,375$ $x_3=90; p=0,042$	44	18	0,41
15	12	-	-	-	Dyskretny	$x_1=90; p=0,333$ $x_2=105; p=0,250$ $x_3=135; p=0,250$ $x_4=210; p=0,167$	125	43	0,34
16	83	-	-	-	Dyskretny	$x_1=30; p=0,36$ $x_2=360; p=0,048$ $x_3=390; p=0,012$ $x_4=420; p=0,217$ $x_5=450; p=0,048$ $x_6=480; p=0,639$	442	41	0,09
17	15	0,19	0,74	1,34	Log.normalny	$\tilde{m}=131,08$ $\tilde{\sigma}_{lny}=0,631$	160	113	0,70

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18	19	-	-	-	Dyskretny	$x_1=30; p=0,421$ $x_2=45; p=0,053$ $x_3=60; p=0,421$ $x_4=90; p=0,105$	50	20	0,40
19	88	-	-	-	Dyskretny	$x_1=30; p=0,034$ $x_2=60; p=0,011$ $x_3=300; p=0,011$ $x_4=330; p=0,011$ $x_5=360; p=0,011$ $x_6=420; p=0,193$ $x_7=450; p=0,045$ $x_8=480; p=0,682$ $\lambda =0,019$	442	95	0,21
20	48	0,09	0,62	1,34	Wykładniczy z parametrem przesunięcia	$T_0=30$	53	53	1,00
21	181	0,09	1,21	1,34	Wykładniczy z parametrem przesunięcia	$\lambda =0,017$ $T_0=30$	59	59	1,00
22	20	0,22	0,98	1,34	Normalny	$m=120$ $\tilde{\sigma}=30$	120	30	0,25
23	51	0,05	0,36	1,34	Wykładniczy z parametrem przesunięcia	$\lambda =0,021$ $T_0=20$	48	48	1,00
24	18	-	-	-	Dyskretny	$x_1=30; p=0,444$ $x_2=60; p=0,278$ $x_3=90; p=0,222$ $x_4=195; p=0,056$	61	41	0,67
25	30	0,14	0,77	1,34	Normalny	$m=198$ $\tilde{\sigma}=30$	198	30	0,15
26	24	0,14	0,69	1,34	Log.normalny	$\tilde{m}=261,94$ $\tilde{\sigma}_{\ln y}=0,246$	270	69	0,25
27	13	0,14	0,50	1,34	Normalny	$m=70$ $\tilde{\sigma}=38$	70	38	0,54
28	23	-	-	-	Dyskretny	$x_1=30; p=0,304$ $x_2=60; p=0,565$ $x_3=90; p=0,131$	55	20	0,36
29	34	0,12	0,70	1,34	Log.normalny	$\tilde{m}=139,86$ $\tilde{\sigma}_{\ln y}=0,481$	157	81	0,51
30	26	-	-	-	Dyskretny	$x_1=15; p=0,077$ $x_2=30; p=0,692$ $x_3=45; p=0,038$ $x_4=60; p=0,192$	35	13	0,37
31	41	-	-	-	Dyskretny	$x_1=30; p=0,732$ $x_2=45; p=0,073$ $x_3=60; p=0,195$	37	12	0,32
32	20	-	-	-	Dyskretny	$x_1=30; p=0,650$ $x_2=60; p=0,350$	41	15	0,37
33	27	0,20	1,04	1,34	Log.normalny	$m=37,89$ $\tilde{\sigma}_{\ln y}=0,546$	44	26	0,59
34	14	-	-	-	Dyskretny	$x_1=30; p=0,286$ $x_2=45; p=0,214$ $x_3=60; p=0,500$	48	13	0,27
35	13	-	-	-	Dyskretny	$x_1=60; p=0,692$ $x_2=90; p=0,308$	69	14	0,20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
36	36	-	-	-	Dyskretny	$x_1=30; p=0,056$ $x_2=60; p=0,639$ $x_3=75; p=0,056$ $x_4=90; p=0,111$ $x_5=120; p=0,111$ $x_6=150; p=0,027$			
37	42	-	-	-	Dyskretny	$x_1=30; p=0,096$ $x_2=60; p=0,262$ $x_3=75; p=0,024$ $x_4=90; p=0,071$ $x_5=120; p=0,500$ $x_6=150; p=0,024$ $x_7=240; p=0,024$	96	41	0,43
38	35	0,20	1,18	1,34	Normalny	$m=55$ $=20$	55	20	0,36
39	35	-	-	-	Dyskretny	$x_1=15; p=0,029$ $x_2=30; p=0,600$ $x_3=60; p=0,342$ $x_4=90; p=0,029$	42	17	0,40
40	149	0,10	1,22	1,34	Wykładniczy z parametrem przesunięcia	$=0,045$ $=20$	20	20	1,00
41	22	0,23	1,08	1,34	Wykładniczy z parametrem przesunięcia	$=0,02$ $=45$	50	50	1,00
42	42	-	-	-	Dyskretny	$x_1=15; p=0,146$ $x_2=20; p=0,190$ $x_3=30; p=0,664$			
43	19	0,15	0,65	1,34	Normalny	$=65$ $=35$	65	35	0,54
44	71	0,12	1,01	1,34	Normalny	$=71$ $=16$	71	16	0,23
45	37	0,18	1,09	1,34	Log.normalny	$=34,74$ $=0,481$	39	20	0,51
46	27	0,11	0,57	1,34	Normalny	$=150$ $=51$	150	51	0,34
47	29	-	-	-	Dyskretny	$x_1=30; p=0,034$ $x_2=45; p=0,069$ $x_3=60; p=0,655$ $x_4=75; p=0,034$ $x_5=90; p=0,034$ $x_6=105; p=0,034$ $x_7=120; p=0,103$ $x_8=165; p=0,034$	71	29	0,41
48	225	0,12	0,60	1,34	Log.normalny	$=49,39$ $=0,464$	55	27	0,49
49	18	0,18	0,85	1,34	Normalny	$=60$ $=22$	60	22	0,37
50	48	-	-	-	Dyskretny	$x_1=30; p=0,458$ $x_2=45; p=0,063$ $x_3=60; p=0,354$ $x_4=120; p=0,125$	53	29	0,55

8. SYMULACYJNA METODA BADANIA NIEZAWODNOŚCI POJAZDU

8.1. Geneza metody symulacyjnej

Badania eksploatacyjne są metodą uzyskiwania opisu niezawodnościowego elementów systemu i relacji zachodzących między nimi w obserwowanym systemie eksploatacji. Badania takie mają charakter poznawczy nie zawsze pozwalają na podejmowanie decyzji poprawiających efektywność systemu.

Zasadniczym utrudnieniem jest tu nieznajomość reakcji (odpowiedzi) systemu na wprowadzone zmiany jego parametrów. Uzyskanie funkcji obrazującej zachowanie się wspomnianego systemu pod wpływem zewnętrznej celowo wprowadzonej zmiany, możliwe byłoby jako wynik badań eksploatacyjnych prowadzonych conajmniej dwukrotnie: systemu pierwotnego i systemu z wprowadzoną zmianą jednego spośród opisujących go parametrów.

Oczywiste jest jednak, że byłoby to przedsięwzięcie długoterminowe i kosztowne, nie spełniające podstawowego warunku szybkiego zwrotu nakładów poniesionych na badania eksploatacyjne. Ideą przewodnią niniejszej pracy jest więc zbudowanie modelu, w dużym stopniu odzwierciedlającego rzeczywisty system eksploatacji i pozwalającego na jego obserwację przy różnych wartościach parametrów charakteryzujących system. Prowadzenie badań na symulatorze jest znacznie tańsze i szybsze w porównaniu z badaniami eksploatacyjnymi w rzeczywistym systemie, ponadto zwiększając liczbę realizacji symulacji można osiągnąć wysoką dokładność i wiarygodność obliczeń.

8.2. Opis modelu symulacyjnego procesu eksploatacji autobusu

8.2.1. Założenia modelu

Przy budowie modelu symulacyjnego uwzględniono następujące założenia:

- Model odtwarzać ma dobowy cykl pracy autobusu miejskiego opisany czterema stanami eksploatacyjnymi wprowadzonymi w punkcie 4.2.1.
- Stan jazdy zawiera trzy podstany:
 - jazdy w szczycie porannym
 - jazdy w szczycie popołudniowym
 - jazdy całodzienniej
- Stan oczekiwania na jazdę zawiera trzy podstawy:
 - oczekiwanie noce na jazdę liczone od północy do chwili wyjazdu na trasę
 - oczekiwanie na jazdę między szczytami
 - oczekiwanie w stanie sprawności liczone od

przyjazdu do zajezdni po pracy do północy

- Strumień uszkodzeń i napraw składający się na proces awarii pojazdu (zbioru elementów połączonych w szeregową strukturę niezawodnościową) wynika z następujących po sobie chronologicznie układów chwil uszkodzeń i czasów odnowy elementów pojazdu.
- W czasie trwania stanu jazdy obiektu, każdy z jego wyróżnionych elementów pracuje z odpowiadającą mu intensywnością wymuszającą w czasie jego uszkodzenia
- W chwili awarii dowolnego elementu, obiekt przerywa pracę co jest równoznaczne z przerywaniem pracy każdego z jego elementów składowych
- W czasie oczekiwania na naprawę i w czasie trwania naprawy f - tego uszkodzonego elementu, żaden z pozostałych $k \neq f$ elementów struktury nie może zmienić stanu niezawodnościowego, ani żadnego z parametrów technicznych. Jedyną możliwą i konieczną zmianą jest zmiana stanu niezawodnościowego elementu f ; przejście ze stanu niesprawności do stanu sprawności.
- W czasie oczekiwania na jazdę, żaden z k elementów nie może zmienić stanu niezawodnościowego, ani żadnego z parametrów technicznych.
- Po zakończeniu naprawy, cykl: jazda oczekiwanie na jazdę, oczekiwanie na naprawę i naprawa, powtarza się.
- Czas zdatności pojazdu pomiędzy chwilą zakończenia ostatniej naprawy, a chwilą powstania kolejnego uszkodzenia, wyznacza najkrótszy czas zdatności w danej chwili wybrany spośród czasów zdatności wszystkich elementów.

Ponadto utrzymuje się w mocy założenia i wnioski wynikające z analizy niezawodnościowej obiektu (punkty 5.1. i 5.2.)

3.2.2. Ogólna charakterystyka modelu

W modelu, symulację upływu czasu uzyskuje się metodą kolejnych zdarzeń [43] polegającą na generowaniu nieregularnych, zależnych od stanu obiektu, przyrostów czasu równych różnicom czasów pojawienia się sąsiednich zdarzeń.

Program symulacyjny przeszukuje zbiór wszystkich zdarzeń związanych z aktualną wartością czasu, wybiera najbliższe w czasie zdarzenia i przenosi działanie symulatora do stanu wyznaczonego przez to zdarzenie.

Parametrem sterującym proces symulacji jest przebieg pojazdu obliczany na podstawie generowanego czasu jazdy i średniej dziennej prędkości jazdy. Czas kalendarzowy, będący podstawą obliczeń niektórych charakterystyk ocenowych, jest w modelu parametrem pomocniczym. Danymi wejściowymi do obliczeń są konkretne realizacje zmiennych losowych

wygenerowane w odpowiednich podprogramach. Realizacja modelowego procesu może odbywać się ze zmiennymi losowymi o dowolnych rozkładach prawdopodobieństwa i z różnymi ich parametrami.

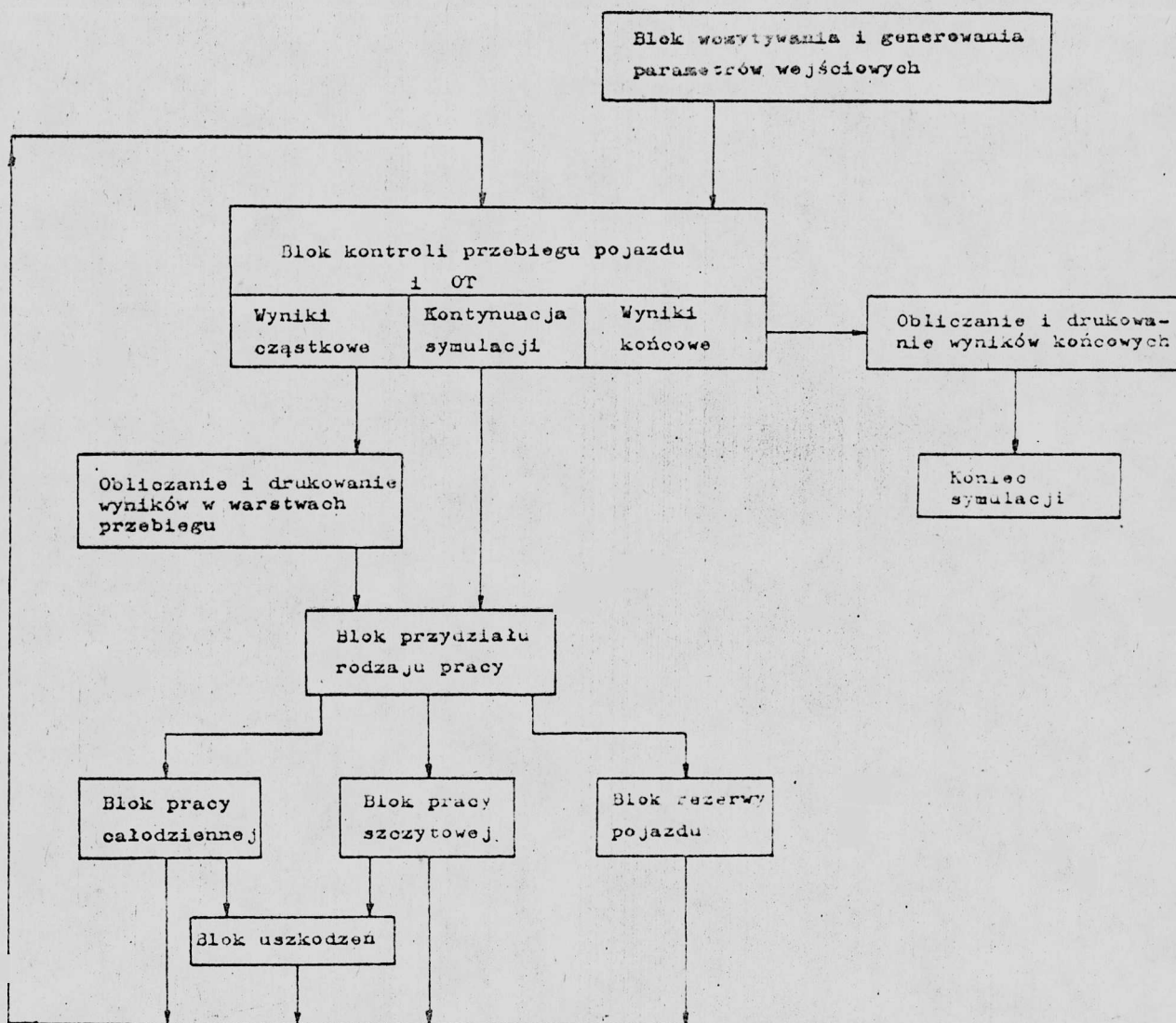
Generowanie zmiennych losowych odbywało się w odrębnych podprogramach w oparciu o metody podane w pracy [70].

Zestawienie tych metod w odniesieniu do użytych w badaniach rozkładów zamieszczono w tabeli 19.

Program symulacyjny napisano w języku FORTRAN 1900, a badania uruchomiono na maszynie cyfrowej ODRA 1325.

8.3. Opis bloków funkcyjnych modelu

Schematyczny układ bloków funkcyjnych w modelu przedstawia rys. 27



Rys. 27. Schemat blokowy modelu symulacyjnego procesu eksploatacji autobusu.

Metody generowania zmiennych losowych o zadanych rozkładach prawdopodobieństwa

Lp	Typ rozkładu zmiennej losowej	Metoda generowania zmiennej losowej o zadanym rozkładzie	Wzór przekształcający zmienną losową R o rozkładzie równomiernym na przedziale (0,1) na zmienną o zadanym rozkładzie
1	Dyskretny $P\{X=k\} = P_k$ $k=1,2,\dots$	Odwracanie dystrybucyj	$X = \min_k \left\{ k : R \leq \sum_{i=0}^k p_i \right\}$
2	Normalny $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy$	W oparciu o centralne twierdzenie graniczne ($n = 48$)	$X = \frac{(R_1 + R_2 + \dots + R_n) - \frac{n}{2}}{\sqrt{\frac{n}{12}}}$
3	Wykładniczy $F(x) = 1 - \exp(-\lambda x)$	Odwracanie dystrybucyj	$X = -\ln R / \lambda$
4	Weibulla $f(x) = \lambda \alpha x^{\alpha-1} \exp(-\lambda x^\alpha)$	Odwracanie dystrybucyj	$X = \exp\left(\frac{1}{\alpha} \ln\left(-\frac{1}{\lambda} \ln R\right)\right)$
5	Beta $f(x) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1}$	Za pośrednictwem zmiennych losowych o rozkładzie potęgowym $F(x)=x^\alpha$	$X = \frac{Y_1}{Y_1 + Y_2}$ $Y = R^{\frac{1}{\alpha}}$ Rozkład beta jest wynikiem scałkowania dwuwymiarowego rozkładu dwóch zmiennych o rozkładach potęgowych z parametrami α i β , względem jednej z tych zmiennych
6	Logarytm-normalny $F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{y \sqrt{2\pi} \sigma_{Lny}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_{Lny}^2} \ln\left(\frac{y}{\sigma_{Lny}}\right)\right]^2 dy$	Przekształcenie zmiennej losowej o rozkładzie normalnym $N(0,1)$	$\tilde{X} = \exp\left(X_{N(0,1)}^2 + \ln \tilde{m}\right)$

3.3.1. Blok wczytywania i generowania parametrów wejściowych

Parametrami początkowymi modelu są wielkości podane w tabeli 20

Tabela 20

Zestawienie danych wejściowych do modelowania statystycznego

Lp.	Nazwa parametru	Symbol parametru w modelu	Sposób nadawania wartości
1	2	3	4
1.	Badany przebieg	LB	Wczytanie instrukcji READ
2.	Liczba elementów struktury niezawodnościowej	IE	" "
3.	Prawdopodobieństwo rodzaju pracy	(P(C), C = 1,3)	" "
4.	Przebieg między obsługą techniczną OT	(LOT(O), O = 1,20)	" "
5.	Koszt OT	(KOT(O), O = 1,20)	" "
6.	Koszt elementu	(KC(NE), NE = 1,IE)	" "
7.	Koszt paliwa $\frac{zl}{dm^3}$	KP	" "
8.	Koszt oleju $\frac{zl}{dm^3}$	KO	" "
9.	Liczba powtórzeń symulacji	LICZAUT	" "
10.	Koszt robocizny $\frac{zl}{rob. h}$	KROB	" "
11.	Przebieg między kolejnymi uszkodzeniami elementów	((LU(NE, NU), NU = 1, IU(NE)), NE = 1, IE) [‡]	Generowanie w podprogramie o nazwie GENLU
12.	Czas oczekiwania na kolejną naprawę elementów	((CONB(NE, NU), NU = 1, IU(NE)), NE = 1, IE)	Generowanie w podprogramie o nazwie GENCONB
13.	Czas trwania kolejnych napraw elementów	((CNB(NE, NU), NU = 1, IU(NE)), NE = 1, IE)	Generowanie w podprogramie o nazwie GENCNB

- IU(NE) - ilość realizacji każdego NE = 1,....., IE

Wartości wszystkich zmiennych i elementów tablic wczytywanych instrukcją READ umieszczone są na kartach maszynowych i przed rozpoczęciem właściwej symulacji wprowadzone do pamięci maszyny. Tablice o nazwach LU, CONB i CNB tworzone są przez odpowiednie podprogramy realizujące generowanie zmiennych o zadanych rozkładach i przesyłane do wolnych pól tychże tablic.

Podprogram GENLU dokonuje generowania długości przebiegu między kolejnymi uszkodzeniami każdego z elementów. Dla każdego elementu wprowadza się typ rozkładu i jego parametry. Ilość realizacji zmiennej uzależniona jest od badanego przebiegu LB i generowanie zmiennych trwa do chwili spełnienia warunku:

$$\bigwedge_i \left(\sum_j LU_{ij} \right) \geq LB$$

$$i = 1, 2, \dots, IE$$

j - numer realizacji zmiennej

Podprogram ustala ilość realizacji zmiennej w badanym przebiegu dla każdego elementu i w chwili spełnienia powyższego warunku podstawia za IU_i wartość j.

Tablica LU (NE, NU) zawiera więc dla każdego elementu ciąg realizacji zmiennej losowej wygenerowanej według zadanego rozkładu prawdopodobieństwa.

Podprogramy GENCONB i GENCNB działają podobnie, z tym, że zmiennymi generowanymi są czasy trwania zdarzeń losowych w minutach i podprogramy nie wyznaczają już ilości realizacji IU_i wykorzystując je z programu GENLU. Wymiary wszystkich tych trzech tablic są identyczne i dowolny element tablicy X_{ij} posiada w tablicy GENLU interpretację przebiegu między j-1 a j-tym uszkodzeniem i-tego elementu pojazdu, w tablicy GENCONB jest to czas oczekiwania na j-tą naprawę i-tego elementu, a w tablicy GENCNB jest to czas j-tej naprawy i-tego elementu.

3.3.2. Blok kontroli przebiegu pojazdu i obsługi technicznej.

Najwcześniejszy zakres symulacji obejmuje cykl jednodniowy, po którym konieczne jest podjęcie decyzji dotyczącej przeprowadzenia obsługi technicznej, dokonania obliczeń cząstkowych w kolejnej warstwie przebiegu lub dokonania obliczeń końcowych. W bloku kontroli porównywany jest aktualny stan przebiegu pojazdu z przebiegiem odpowiadającym jednemu z powyższych działań. Przekroczenie przez symulowany przebieg ustalonych wartości powoduje wybór jednej z trzech możliwości:

- przeniesienie działania programu do bloku generowania rodzaju pracy w następnym dniu eksploatacji
- skierowanie pojazdu do obsługi technicznej w następnym dniu eksploatacji
- przeniesienie działania programu do bloku wydruków wyników cząstkowych w kolejnych warstwach przebiegu

- przeniesienie działania do bloku wydruków wyników cząstkowych w ostatniej warstwie przebiegu, a następnie do bloku wydruków wyników końcowych i zakończenie symulacji dla kolejnego pojazdu.

8.3.3. Blok przydziału rodzaju pracy

Blok przydziału rodzaju pracy generuje według dyskretnego rozkładu prawdopodobieństwa trzy wartości zmiennych losowych, odpowiadających pracy pojazdu w układzie jazd całodziennych szczytowych i rezerwie pojazdu. W zależności od wartości parametru R program realizuje:

- R = 1 jazda całodzienna pojazdu
- R = 2 jazda szczytowa pojazdu
- R = 3 rezerwa pojazdu

8.3.4. Blok jazdy całodzienniej

Realizacja procesu eksploatacji z jazdą całodzienną polega na wyznaczeniu w symulatorze zbioru zmiennych losowych charakterystycznych dla takiego rodzaju pracy i zarejestrowaniu ich w tablicy tworzącej historię procesu eksploatacji.

Generowane zmienne oraz ich symbole w języku modelowym przedstawiono w tabeli 21.

Tabela 21

Zestawienie zmiennych losowych dla jazd całodziennych.

Lp.	Nazwa zmiennej	Symbol zmiennej	Miano zmiennej	Typ rozkładu	Zakres zmienności
1	2	3	4	5	6
1.	Średnie dzienne zużycie paliwa	ZPC	$\text{dm}^3/100 \text{ km}$	Weibulla	28 - 56
2.	Średnie dzienne zużycie oleju	ZOC	$\text{dm}^3/1000 \text{ km}$	normalny	2 - 14
3.	Czas jazdy	JC D	min	beta	570 - 1218
4.	Średnia dzienna prędkość jazdy	SPC	km/min	normalny	0,214-0,424
5.	Czas oczekiwania na użytkowanie w czasie noocy	OCUN	min	równomierny	246-390

Na podstawie powyższych zmiennych obliczane są z kolei:

- przebieg pojazdu w danym dniu pracy $LD=JC(D)SPC$
- czas sprawności w danym dniu pracy $TSP(D)$
- koszt eksploatacji w danym dniu pracy wynikający ze zużycia materiałów eksploatacyjnych $KE(D)=LD \cdot ZPC \cdot KP \cdot ZOC(KO)$
- czas oczekiwania w stanie sprawności od zakończenia pracy do północy $OCU=1440-OCUN-JC(D)$

Każdy przyrost przebiegu pojazdu powoduje przeszukiwanie przebiegów między uszkodzeniami elementów. W przypadku gdy przebieg pojazdu przekroczy aktualnie najbliższy przebieg do uszkodzenia, sygnalizowane jest wystąpienie uszkodzenia i spowodowanie przerwania pracy pojazdu i korekty parametrów procesu użytkowania. Za przebieg pojazdu i czas pracy w dniu, w którym wystąpiło uszkodzenie, podstawione są wartości odpowiadające przebiegowi do chwili uszkodzenia. Zmianie ulegają również wielkości obliczone w tym bloku podane wyżej. Działanie symulatora przekazywane jest do bloku uszkodzeń elementów.

Negatywny wynik poszukiwania uszkodzenia przynosi działanie do bloku kontroli przebiegu i obsługi technicznej.

8.3.5. Blok jazdy szczytowych

Blok jazd szczytowych zbudowany jest z dwóch części: niezależnie dla jazdy szczytowej porannej i popołudniowej.

W części pierwszej i drugiej generowane są zmienne losowe charakteryzujące jazdy szczytowe. W tabeli 22 zamieszczono ich zestaw łącznie dla jazdy szczytowej porannej i popołudniowej.

Obie części bloku realizują czynności identyczne i zgodne z opisem z bloku jazd całodziennych. Różnica między tymi blokami istnieje tylko w równaniu kosztów eksploatacji, gdyż w bloku jazd szczytowych należy uwzględnić okresowo przeprowadzane obsługi techniczne, powiększające dodatkowo koszt eksploatacji w danym dniu roboczym. Stwierdzenie uszkodzenia w czasie jazdy porannej lub szczytowej przenosi działanie do bloku uszkodzeń elementów; brak uszkodzenia, do bloku kontroli przebiegu i OT.

8.3.6. Blok rezerwy pojazdu

W bloku rezerwy dokonuje się jedynie rejestracji czasu trwania tego rodzaju pracy, jako że brak jest przyrostu przebiegu, a w związku z tym zbędna kontrola przebiegu i uszkodzenia.

Tabela 22

Zestawienie zmiennych losowych dla jazd szczytowych

Lp.	Szczyt	Nazwa zmiennej	Symbol zmiennej	Miano zmiennej	Typ rozkładu	Zakres zmienności
1	2	3	4	5	6	7
1.	Dla obu szczytów	średnie dzienne zużycie paliwa	ZPS D	$\frac{\text{dm}^3}{100 \text{ km}}$	Weibulla	28 - 56
2.		średnie dzienne zużycie oleju	ZOS D	$\frac{\text{dm}^3}{1000 \text{ km}}$	normalny	2 - 14
3.		średnia dzienna prędkość jazdy	PS D	km/min	normalny	0,214-0,424
4.	Poranny	czas jazdy	JS1 D	min	normalny	88 - 358
5.		czas oczekiwania na użytkowanie no-one	OCUN D	min	równomierny	246 - 390
6.	Popołudniowy	czas oczekiwania między szczytami	OCS D	min	normalny	49 - 589
		czas jazdy	JS2 D	min	normalny	151 - 451

8.3.7. Blok uszkodzeń

Blok uszkodzeń realizuje różne warianty czasów trwania stanów oczekiwania na naprawę i naprawy. Dla otrzymanych z podprogramu SPRAWLU parametrów uszkodzenia w postaci: numeru uszkodzonego elementu i numeru jego kolejnego uszkodzenia, blok wyznacza czas oczekiwania i czas naprawy i rejestruje te wielkości w tablicy "historii procesu". Po obliczeniu kosztów naprawy działanie przenoszone jest do bloku kontroli przebiegu i OT. Szczegółowy schemat działania przedstawiony jest w algorytmie programu (załącznik 6).

8.3.8 Blok obliczania wyników cząstkowych w warstwach przebiegu

W warstwach przebiegu co 5000 km program oblicza następujące wielkości:

- sumaryczny czas sprawności pojazdów w warstwie ✓
- sumaryczny czas jazdy w szczycie porannym w warstwie
- sumaryczny czas jazdy w szczycie popołudniowym w warstwie
- sumaryczny czas jazd całodziennych w warstwie
- sumaryczny koszt eksploatacji w warstwie
- sumaryczny koszt napraw w warstwie
- ilość uszkodzeń pojazdów w warstwie ✓
- całkowity czas sprawności w przebiegu do danej warstwy
- całkowity czas jazdy w przebiegu do danej warstwy
- koszt całkowity przebiegu do danej warstwy
- ilość dni eksploatacji warstwy
- wartość wskaźnika gotowości w warstwie ✓
- wartość wskaźnika wykorzystania w warstwie
- wartość kosztu jednostkowego w warstwie

Blok wyprowadza wydruk wszystkich tych wielkości, a także numery uszkodzonych w warstwie elementów i numery kolejnych ich uszkodzeń.

8.3.9. Blok wyników końcowych

Blok wyników końcowych wprowadza wydruk "historii" procesu w postaci wartości tablicy HIS. Tablica ta w trakcie całej symulacji uzupełniona jest przy każdej zmianie stanu obiektu nowym wierszem zawierającym kolejno:

D - numer dnia eksploatacji

T - czas trwania danego stanu eksploatacji

ALF - wartość liczbowa stanu eksploatacji:

- 2 - jazda kursowa
- 1 - oczekiwanie na jazdę w stanie zdatności ✓
- 1 - oczekiwanie na naprawę w stanie niezdatności ✓
- 2 - naprawa pojazdu ✓

LW - wielkość dziennego przebiegu pojazdu w km

R - wartość liczbowa rodzaju pracy pojazdu w danym dniu eksploatacji

- 1 - praca całodzienna
- 2 - praca szczytowa
- 3 - rezerwa pojazdu
- 6 - całodziennie oczekiwanie na naprawę
- 7 - oczekiwanie w stanie zdatności na pracę w dniu następnym po naprawie rozpoczętej w poprzednich dniach.

Kolejne wartości czasów trwania czterech wyróżnionych stanów eksploatacji pozwalają na kontrolę poprawności realizacji procesu oraz na prowadzenia analizy badanego procesu na gruncie teorii procesów stochastycznych (badanie autokorelacji procesu, korelacji między przebiegami procesów realizowanych z różnymi parametrami, badanie stacjonarności i ergodyczności). Przykładową realizację symulowanego procesu przedstawiono na str. 84

Kolejnym elementem wyników końcowych jest zestawienie informacji o uszkodzeniach pojazdu w trakcie realizacji symulacji. str. Tabela zestawienia uszkodzeń zawiera dla każdego uszkodzenia:

- numer uszkodzenia pojazdu od początku eksploatacji
- numer uszkodzonego elementu (porównaj z tab. 14)
- numer kolejnego uszkodzenia tego elementu
- przebieg pojazdu od początku eksploatacji do chwili wystąpienia danego uszkodzenia
- przebieg pojazdu od poprzedniego uszkodzenia
- czas oczekiwania na naprawę
- czas naprawy uszkodzenia
- koszt naprawy.

Wyniki symulacji procesu eksploatacji dla jednego pojazdu kończą się podaniem wartości i wykresów trzech funkcji: gotowości, wykorzystania i kosztu jednostkowego w badanym przebiegu w warstwach o szerokości 5000 km (str. 84)

Po zakończeniu symulacji dla grupy pojazdów wyprowadzane są w funkcji badanego przebiegu (również co 5000 km) następujące wielkości wraz z wykresami:

- liczba uszkodzeń w kolejnych warstwach przebiegu (bez wykresu)
- częstotliwość uszkodzeń

W Y N I K I K O N T R O L U

REALIZACJA PROCESU EKSPLOATACJI T AUTOBUSU

CZAS TRWANIA STANÓW EKSPLOATACYJNYCH PODANO W MINUTACH
 ALF JEST OZNACZENIEM STANU EKSPLOATACYJNEGO
 SYMBOLE CYFROWE STANÓW EKSPLOATACJI :

- 1 - JAZDA KURSOWA
- 1 - OCZEKIWANIE NA JAZDĘ W STANIE ZDALNOSCI
- 1 - OCZEKIWANIE NA NAPRAWĘ W STANIE NIEZDALNOSCI
- 2 - NAPRAWA USZKODZENIA

LP.	DZIEŃ EKSPLOAT.	CZAS TRWANIA STANU	ALF	PRZEBIEG DZIENNY POJAZDU	RODZAJ PRACY
1	1	250	1	49	1
2	1	483	1	2	1
3	1	60	-1	1	1
4	1	20	-2	1	1
5	1	25	1	1	1
6	1	176	1	2	1
7	1	423	1	1	1
8	1	1440	1	1	5
9	1	259	1	1	2
10	1	228	1	2	1
11	1	277	1	1	1
12	1	117	1	2	1
13	1	550	1	1	1
14	1	1600	1	1	3
15	1	564	1	1	2
16	1	291	1	2	1
17	1	232	1	1	1
18	1	344	1	2	1
19	1	207	1	1	1
20	1	342	1	1	2
21	1	195	1	2	1
22	1	176	1	1	1
23	1	253	1	2	1
24	1	471	1	1	1
25	1	350	1	1	2
26	1	154	1	2	1
27	1	363	1	1	1
28	1	274	1	2	1
29	1	286	1	1	1
30	1	260	1	1	2

*	LP	STWA	I	KG	I	KM	I	KJ	*

*		1	I	0.9984	I	0.4209	I	6.8424	*
*		2	I	0.9936	I	0.3951	I	6.1764	*
*		3	I	0.9724	I	0.4753	I	8.4248	*
*		4	I	0.9377	I	0.4042	I	5.7044	*
*		5	I	0.9858	I	0.3726	I	6.3234	*
*		6	I	0.9969	I	0.3917	I	6.8842	*
*		7	I	0.9960	I	0.4176	I	6.5340	*
*		8	I	0.9891	I	0.4558	I	5.8268	*
*		9	I	0.9853	I	0.4851	I	6.8622	*
*		10	I	0.9857	I	0.4553	I	7.3384	*
*		11	I	0.9925	I	0.4708	I	5.9310	*
*		12	I	0.9374	I	0.4236	I	6.2740	*
*		13	I	0.9823	I	0.4429	I	7.2040	*
*		14	I	0.9941	I	0.3763	I	6.1216	*
*		15	I	0.9850	I	0.4433	I	6.0876	*
*		16	I	0.9922	I	0.4627	I	6.7596	*
*		17	I	0.9965	I	0.4712	I	5.7532	*
*		18	I	0.9437	I	0.3608	I	6.8862	*
*		19	I	0.9737	I	0.3447	I	6.7400	*
*		20	I	0.9759	I	0.4177	I	7.8190	*

CHARAKTERYSTYKI UCENOWE PROCESU EKSPLOATACJI

WAR	LICZBA	ISTRUMIEN	ISTRUMIEN	WSKAZNIK	WSKAZNIK	WSKAZNIK	WSKAZNIK	KOSZT	KOSZT	WAR											
I	USZKODZENI	I	USZKODZENI	I	IGOTOWOSCII	I	IGOTOWOSCII	I	WYKORZYST	I	JEDNOSTK.	I	USZKODZENI	I	USZKODZENI	I	USZKODZENI	I	USZKODZENI	I	USZKODZENI
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
1	1	12	1	0.0255	1	1.0000	1	0.9963	1	0.9963	1	0.4211	1	0.4211	1	6.1630	1	6.1630	1	2	
2	1	13	1	0.0277	1	0.5200	1	0.9950	1	0.9957	1	0.4266	1	0.4253	1	6.1523	1	6.1477	1	2	
3	1	18	1	0.0363	1	0.4166	1	0.9874	1	0.9931	1	0.4646	1	0.4364	1	6.6240	1	6.3681	1	3	
4	1	21	1	0.0447	1	0.3281	1	0.9890	1	0.9920	1	0.4135	1	0.4305	1	6.4515	1	6.3440	1	4	
5	1	25	1	0.0532	1	0.2809	1	0.9892	1	0.9915	1	0.4063	1	0.4235	1	6.6362	1	6.4634	1	5	
6	1	17	1	0.0562	1	0.1604	1	0.9909	1	0.9914	1	0.4308	1	0.4264	1	6.5580	1	6.4273	1	6	
7	1	15	1	0.0519	1	0.1260	1	0.9924	1	0.9915	1	0.4302	1	0.4269	1	6.3696	1	6.4191	1	7	
8	1	25	1	0.0553	1	0.1769	1	0.9899	1	0.9913	1	0.4431	1	0.4289	1	6.5856	1	6.4397	1	8	
9	1	24	1	0.0511	1	0.1404	1	0.9904	1	0.9912	1	0.4086	1	0.4265	1	6.5814	1	6.4559	1	9	
10	1	22	1	0.0463	1	0.1160	1	0.9893	1	0.9910	1	0.4512	1	0.4270	1	6.5175	1	6.4616	1	10	
11	1	23	1	0.0489	1	0.1065	1	0.9828	1	0.9903	1	0.4478	1	0.4263	1	6.7275	1	6.4852	1	11	
12	1	22	1	0.0468	1	0.0924	1	0.9894	1	0.9902	1	0.4375	1	0.4295	1	6.1166	1	6.4540	1	12	
13	1	22	1	0.0463	1	0.0846	1	0.9866	1	0.9900	1	0.4716	1	0.4324	1	6.4900	1	6.4572	1	13	
14	1	25	1	0.0489	1	0.0813	1	0.9887	1	0.9899	1	0.4094	1	0.4308	1	6.5527	1	6.4641	1	14	
15	1	21	1	0.0447	1	0.0691	1	0.9879	1	0.9898	1	0.4568	1	0.4324	1	6.2591	1	6.4491	1	15	
16	1	18	1	0.0363	1	0.0559	1	0.9929	1	0.9900	1	0.4222	1	0.4318	1	6.5393	1	6.4454	1	16	
17	1	19	1	0.0404	1	0.0557	1	0.9885	1	0.9899	1	0.4320	1	0.4318	1	6.5484	1	6.4397	1	17	
18	1	31	1	0.0660	1	0.0633	1	0.9246	1	0.9859	1	0.4124	1	0.4307	1	7.5588	1	6.5017	1	18	
19	1	41	1	0.0672	1	0.0993	1	0.9794	1	0.9856	1	0.4123	1	0.4297	1	6.8652	1	6.5210	1	19	
20	1	57	1	0.1213	1	0.1213	1	0.9748	1	0.9850	1	0.5856	1	0.4272	1	6.4525	1	6.5170	1	20	

ZESTAWIENIE USZKODZONYCH ELEMENTÓW 1 POJAZDU W PRZEBIEGU 0 - 100000 KM.

NUMER	NUMER	NUMER	PRZEBIEG	PRZEBIEG	CZAS	CZAS	KOSZT	WYKON								
USZKODZ.	ELEMENT	USZKODZ.	PRZY	MIĘDZY	LOCZEKIV.	INAPRAWY	INAPRAWY	PO								
I	I	ELEMENT	USZKODZ.	USZKODZ.	INAPR.	I	I	INAPR.								
1	1	41	1	1	2647	1	2647	1	0	1	62	1	4531	1	0	*
2	1	37	1	1	3421	1	2774	1	0	1	60	1	1416	1	0	*
3	1	18	1	1	6614	1	1593	1	60	1	50	1	30	1	0	*
4	1	39	1	1	7366	1	552	1	0	1	50	1	75	1	0	*
5	1	46	1	1	10119	1	2753	1	0	1	59	1	89	1	0	*
6	1	6	1	1	10591	1	362	1	0	1	46	1	523	1	0	*
7	1	27	1	1	11086	1	585	1	0	1	65	1	122	1	0	*
8	1	11	1	1	13584	1	2478	1	480	1	209	1	6620	1	0	*
9	1	26	1	1	14498	1	934	1	0	1	174	1	4987	1	0	*
10	1	15	1	1	16653	1	2155	1	0	1	480	1	456	1	0	*
11	1	6	1	2	20640	1	3987	1	0	1	59	1	519	1	0	*
12	1	27	1	2	21486	1	846	1	60	1	65	1	112	1	0	*
13	1	16	1	1	23109	1	1623	1	0	1	70	1	111	1	0	*
14	1	17	1	1	23225	1	116	1	0	1	271	1	1025	1	0	*
15	1	30	1	1	23956	1	751	1	0	1	50	1	115	1	0	*
16	1	8	1	1	24735	1	839	1	0	1	60	1	57	1	0	*
17	1	20	1	2	26158	1	1572	1	0	1	78	1	4959	1	0	*
18	1	6	1	3	26920	1	2762	1	0	1	47	1	523	1	0	*
19	1	41	1	2	31591	1	2671	1	0	1	99	1	4549	1	0	*
20	1	27	1	3	31836	1	295	1	60	1	73	1	116	1	0	*

- częstotliwość uszkodzeń skumulowana do danej warstwy
- funkcja gotowości
- funkcja gotowości skumulowana
- funkcja wykorzystania
- funkcja wykorzystania skumulowana
- funkcja kosztu jednostkowego
- funkcja kosztu jednostkowego skumulowana.

Wartości skumulowane wyróżnionych funkcji charakteryzują stabilizację w czasie symulowanego procesu oraz dążenie funkcji do swych asymptotycznych wartości (str. 25)

8.4. Realizacja badań symulacyjnych

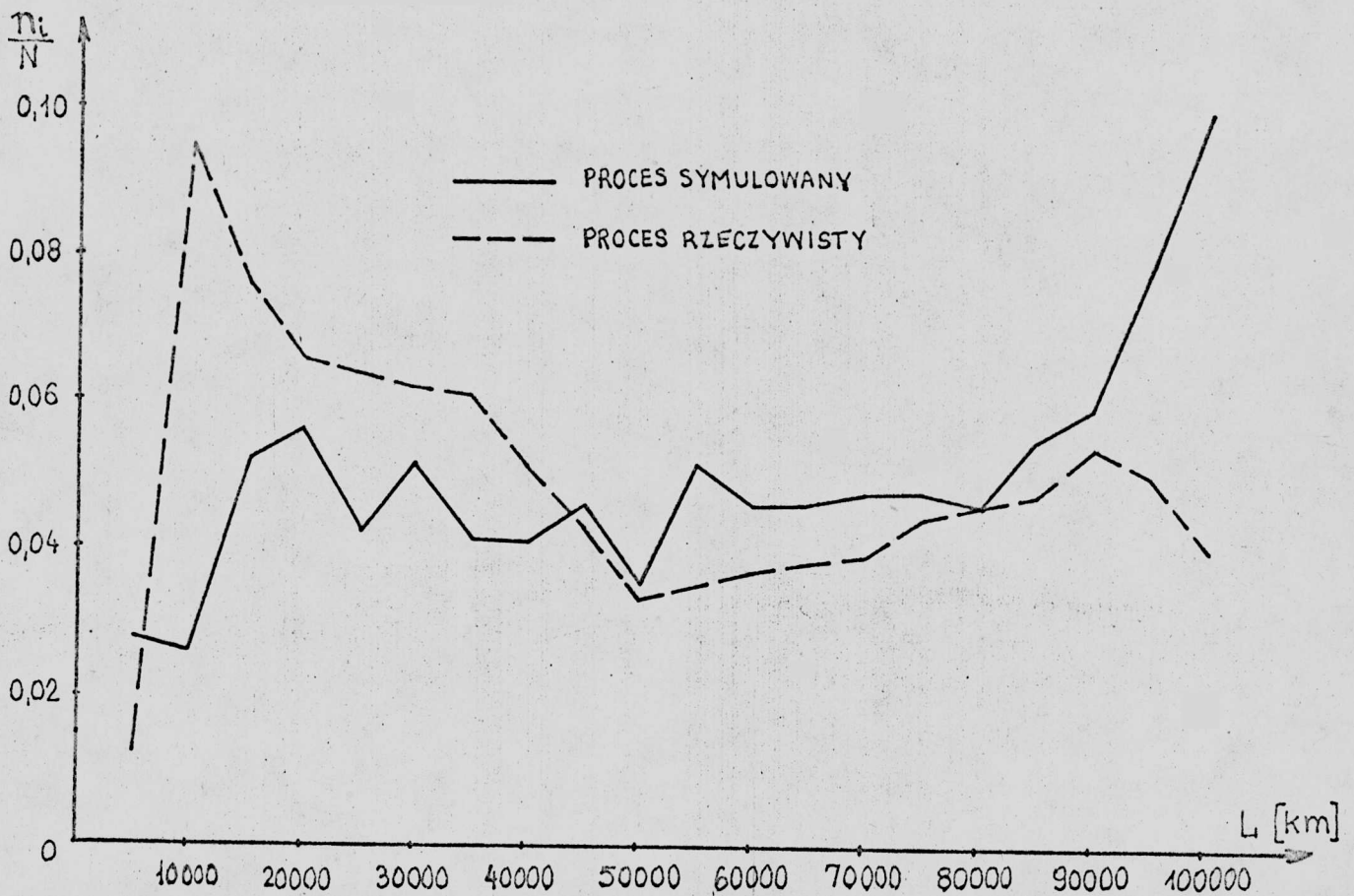
Końcowy etap niniejszej pracy wiązał się z uruchomieniem programu symulacyjnego i testowaniem proponowanego modelu. Sprawdzenie poprawności funkcjonowania modelu przeprowadzono w dwóch etapach - wstępna weryfikacja dla dwóch pojazdów i przebiegu 10 000 km miała wykazać błędy merytoryczne i błędy programowania, drugi etap realizowany dla grupy pojazdów w przebiegu do 100 000 km, porównywalnym z badaniami eksperymentalnymi miał potwierdzić zbieżność charakterystyk ocenowych procesu eksploatacji, świadczące o wierności odwzorowania rzeczywistego procesu w warunkach modelowych. Badania mogą być realizowane dla dowolnej liczby pojazdów i w dowolnym przebiegu, przy założeniu, że uzyskane wcześniej parametry niezawodnościowe wyróżnionych elementów, mogą być ekstrapolowane na przebieg powyżej 100 000 km, do którego realizowano badania eksploatacyjne.

Czas obliczeń symulacyjnych dla jednego pojazdu zależny jest od zakładanego przebiegu badań i dla maksymalnej wartości 100 000 km wynosi około 10 minut (wliczając w to wydruki wyników symulacji). Przeprowadzenie obliczeń na innej maszynie cyfrowej (badania wykonywano na maszynie ODRA 1325) może znacznie skrócić ten czas, pozwalając na analizę większej liczby pojazdów (większa dokładność wyników badań).

Weryfikację poprawności modelu symulacyjnego i zgodność z rzeczywistym procesem eksploatacji zbadano dla 5 pojazdów w przebiegu 0-100 000 km. W tabeli 25 zestawiono charakterystyki procesu użytkowania i obsługi analogiczne do p. 4.3, 7.1, 7.2, a uzyskane w trakcie symulacji cyfrowej. Natomiast rysunek 28 przedstawia porównanie strumienia uszkodzeń pojazdów rzeczywistego procesu eksploatacji i strumienia uzyskanego na drodze symulacji.

Charakterystyki ocenowe
symulowanego procesu eksploatacji

Lp.	Nazwa wskaźnika opisującego badany proces eksploatacji	Wartość wskaźnika
1.	Intensywność użytkowania $\left[\frac{\text{km}}{\text{dzień}}\right]$	181
2	Wskaźnik gotowości technicznej	0,9675
3	Wskaźnik wykorzystania	0,4189
4	Wskaźnik postoju pojazdu w systemie obsługi	0,0201
5	Wskaźnik efektywnego postoju pojazdu w systemie obsługi	0,6321
6	Średni czas oczekiwania na obsługę [min]	470
7	Średni czas obsługi [min]	130



Rys. 28. Strumienie uszkodzeń procesu rzeczywistego i uzyskanego na drodze symulacji.

Porównanie charakterystyk liczbowych obu procesów wskazuje na zbieżność przedstawionych wartości, podobną analogię kształtu i wartości w poszczególnych zakresach przebiegu wykazują przedstawione strumienie uszkodzeń.

Porównawcza weryfikacja modelu potwierdza więc wierność odwzorowania przez niego rzeczywistego procesu eksploatacji.

8.5. Wyniki badań symulacyjnych

Przykładowego wykorzystania modelu dokonano w oparciu o obliczone wartości wskaźnika istotności uszkodzeń (p. 7.3).

W tabeli 14 podano wartości wskaźnika WI, oraz kolejność elementów uszeregowanych rosnąco ze względu na kryterium WI. Ze zbioru 50 elementów wybrano dziesięć o najwyższych wartościach wskaźnika, znacznie odbiegających od wartości WI dla pozostałych elementów, oraz dziesięć elementów o największej częstotliwości uszkodzeń w badanym przebiegu. W stosunku do tych 19 elementów (element nr 20 pojawił się w obu rozpatrywanych zbiorach), przeprowadzono analizę postaci i przyczyn uszkodzeń oraz typów rozkładów przebiegów do I uszkodzenia i między uszkodzeniami. W tabeli 26 zestawiono niezbędne informacje o wyróżnionych elementach, a także przedstawiono kierunki działań zmierzające do poprawy jakości tychże elementów.

W celu uzyskania potwierdzenia o pozytywnym wpływie przedstawionych zmian przeprowadzono symulację pracy 5 pojazdów w przebiegu do 100 000 km.

Wynik tego postępowania pokazano w tabeli 27 (str. 90) oraz na rysunkach 29, 30 (str. 91, 92) w zestawieniu z procesem bez żadnych zmian. Obserwuje się wzrost wartości funkcji gotowości technicznej zarówno w poszczególnych warstwach przebiegu jak i stabilizację jej skumulowanej wartości na znacznie wyższym poziomie. Podobnie kształtuje się zmiana wskaźnika wykorzystania. Funkcja kosztu jednostkowego przebiega dla zmienionego procesu niemal w całym zakresie poniżej wartości dla procesu podstawowego, a jej wartość skumulowana ustala się na niższym poziomie już po przebiegu 40 000 km. Wprowadzone zmiany nie wpłynęły istotnie na kształt funkcji strumienia uszkodzeń, natomiast spowodowały one sumarycznie niższą liczbę uszkodzeń.

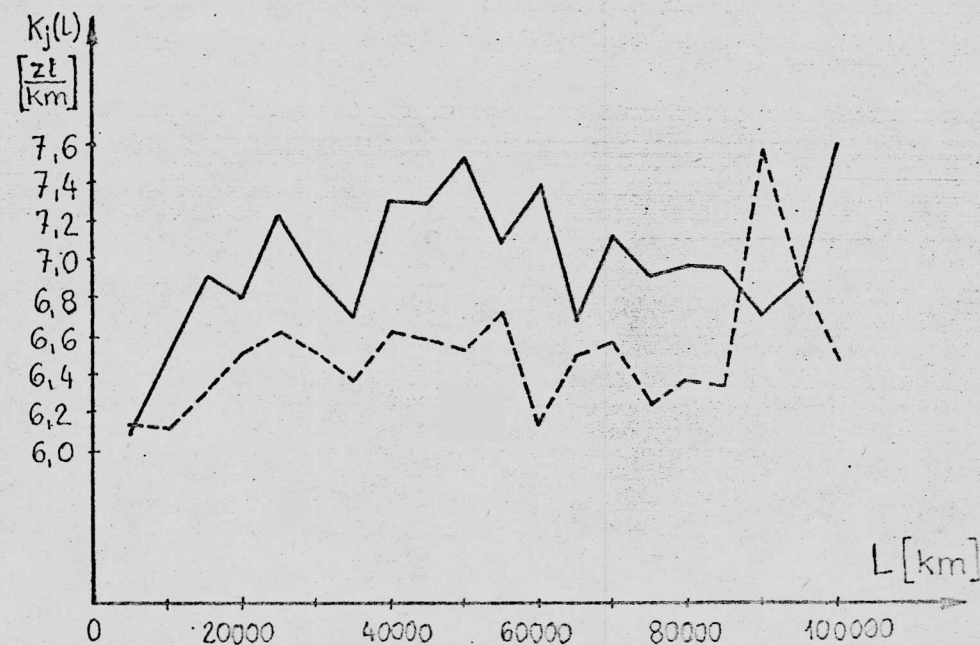
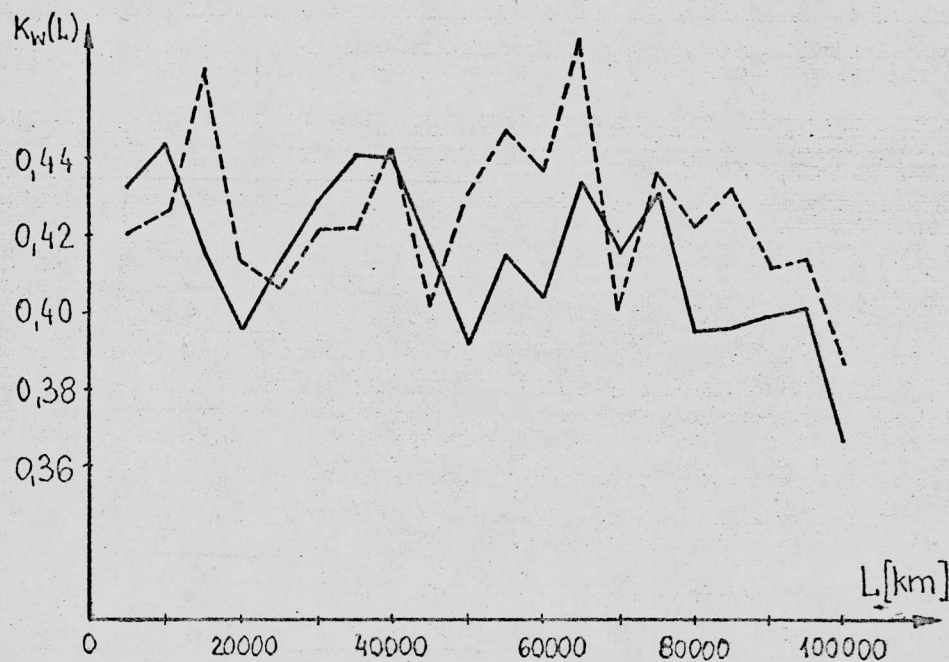
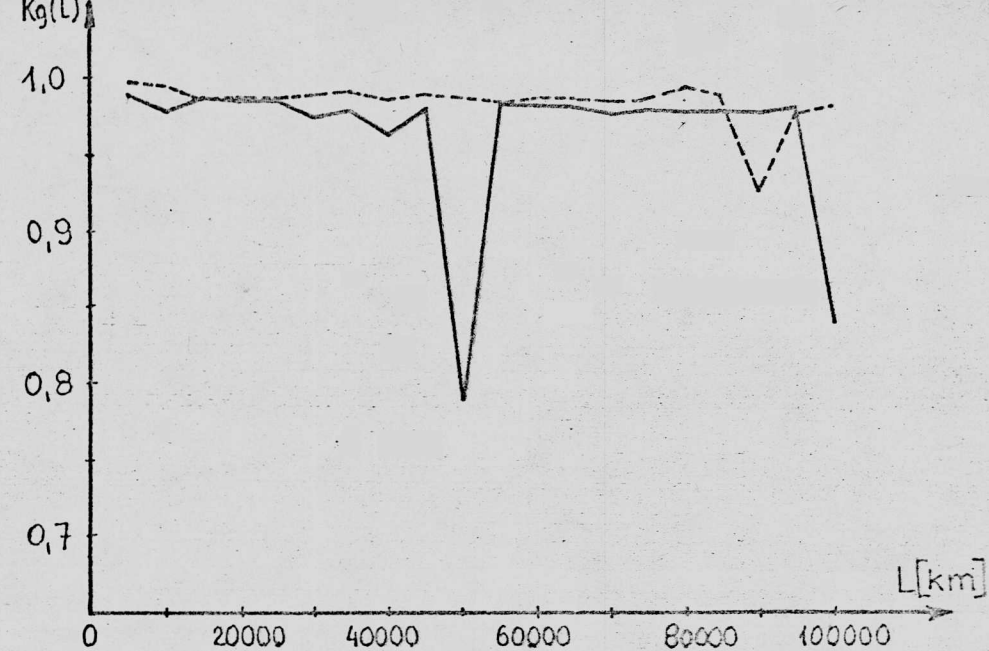
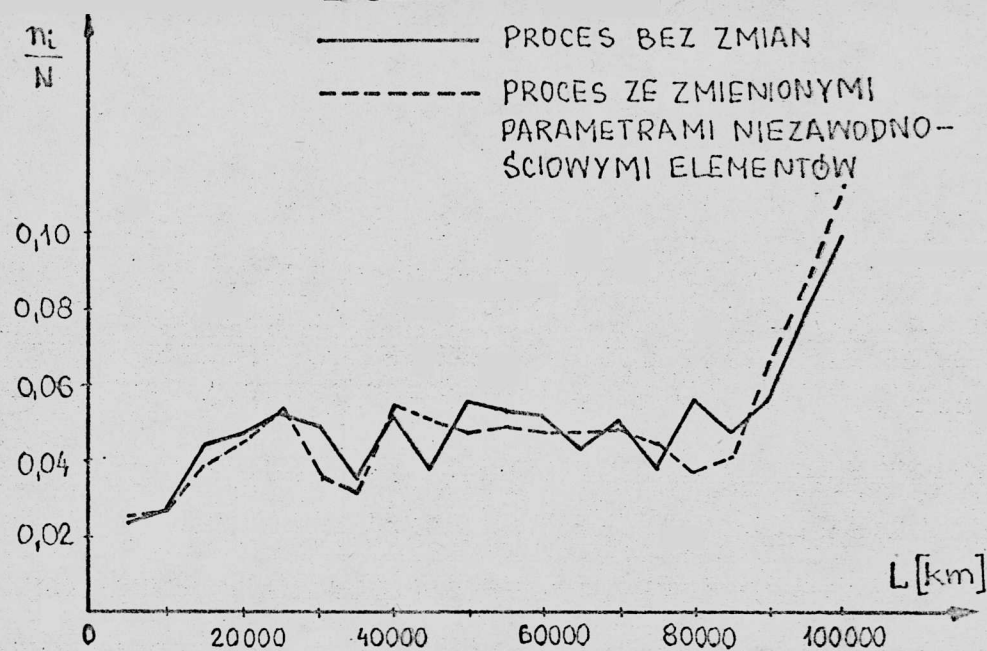
Opis zmian parametrów niezawodnościowych niektórych elementów

Lp.	Nr el.	Nazwa elementu	Charakterystyka przeważających uszkodzeń	Kierunki zmian poprawiających jakość elementu	Założone nowe parametry niezawodn.
ELEMENTY O WYSOKIEJ WARTOŚCI WSKAŹNIKA WI					
1	1	Uszczelka głowicy	Przepalenie; wymiana	Poprawienie zaopatrzenia w części zamienne, skrócenie czasu oczekiwania i czasu naprawy	$T_{ocz}=720 \text{ min}$ $T_{NB}=1440 \text{ min}$
2	2	Sprężarka	Złamanie korbowodów	Obniżenie kosztu, podniesienie trwałości przez zastosowanie lepszych materiałów	$\bar{L}_I=175 \text{ 000 km}$ $\bar{L}_U=50 \text{ 000 km}$
3	36	Rozrusznik	Niska trwałość elementów składowych	Obniżenie kosztu, podniesienie trwałości przez zastosowanie lepszych materiałów	$\bar{L}_I=100 \text{ 000 km}$ $\bar{L}_U=100 \text{ 000 km}$
4	20	Opona	Przegrzewanie bębna hamulcowego	Modernizacja bębnow hamulcowych, stosowanie opon regen.	$\bar{L}_U=\bar{L}_I$
5	22	Zawór hamulcowy	Nieszczelności, uszkodzenia mechaniczne	Likwidacja uszkodzeń katastroficznych	$\bar{L}_U: N(175000, 87500)$
6	41	Alternator	Niska trwałość elementów składowych	Wzrost trwałości, obniżenie kosztu alternatora	$\bar{L}_I=175 \text{ 000 km}$ $\bar{L}_U=100 \text{ 000 km}$
7	11	Chłodnica	Pęknięcia, powstawanie nieszczelności	Stosowanie odpowiednich płynów chłodzących	$\bar{L}_I=175 \text{ 000 km}$ $\bar{L}_U=100 \text{ 000 km}$
8	25	Resor	Znaczne obniżenie trwałości po małym przebiegu	Stosowanie lepszych materiałów, dokładna obróbka cieplna	$\bar{L}_U=\bar{L}_I$
9	12	Sprzęgło wentylatora	Niska trwałość elementów składowych	Podniesienie trwałości, stosowanie lepszych materiałów	$\bar{L}_I=175 \text{ 000 km}$ $\bar{L}_U=100 \text{ 000 km}$
10	13	Tarcza cierna	Szybkie zużycie materiału tarczy	Stosowanie do regeneracji lepszych materiałów, przetaczanie tarcz dociskowych	$\bar{L}_U=\bar{L}_I$
ELEMENTY O DUŻEJ CZĘSTOTLIWOŚCI USZKODZEŃ					
11	21	Dętka	Przegrzewanie bębna hamulcowego	Modernizacja bębnow hamulcowych	$\bar{L}_I=\bar{L}_U$; rozkład wykł. n.
12	40	Pas klinowy	Niska trwałość pasów, wysoka temp. pracy	Stosowanie lepszych materiałów lub zwiększenie liczby pasów	$\bar{L}_I=\bar{L}_U$; rozkład normalny
13	6	Papierowy element filtrujący	Przedwczesne zabrudzenie filtrów	Modernizacja układu zasysania powietrza, obniżenie kosztu filtra (filtr mokry)	koszt ~500 zł $\bar{L}_I=\bar{L}_U=10 \text{ 000 km}$
14	19	Okładzina hamulcowa	Szybkie zużywanie materiału ciernego	Poprawa jakości materiału ciernego, prowadzenie wymian jednoczesnych wszystkich kół	$\bar{L}_I=\bar{L}_U$; rozkład normalny $N(50000, 25000)$
15	16	Okładzina hamulcowa	Szybkie zużywanie materiału ciernego	Poprawa jakości materiału ciernego, prowadzenie wymian jednoczesnych wszystkich kół	$\bar{L}_I=\bar{L}_U$; rozkład normalny $N(50000, 25000)$
16	44	Przewody powietrzne	Utrata szczelności na połączeniach przew.	Zmiany konstrukcyjne połączeń i mocowania przewodów	$\bar{L}_I=\bar{L}_U=100 \text{ 000 km}$
17	23	Mocowanie amortyzatora tylnego	Częste poluzowanie amortyzatora	Wprowadzenie zabezpieczeń nakrętek amortyzatora	$\bar{L}_I=\bar{L}_U=50 \text{ 000 km}$ rozkl. wykł. n.
18	8	Uszczelka filtra paliwa	Niska trwałość uszczelek i filtrów paliwa	Zastosowanie lepszego materiału na uszczelki	$\bar{L}_I=\bar{L}_U=50 \text{ 000 km}$ rozkl. wykł. n.
19	3	Przewód przelewowy wewnętrzny	Utrata szczelności na połączeniach, przetarcia	Zmiany konstrukcyjne połączeń i mocowania przewodów	$\bar{L}_I=\bar{L}_U$; rozkład normalny $N(65000, 43000)$

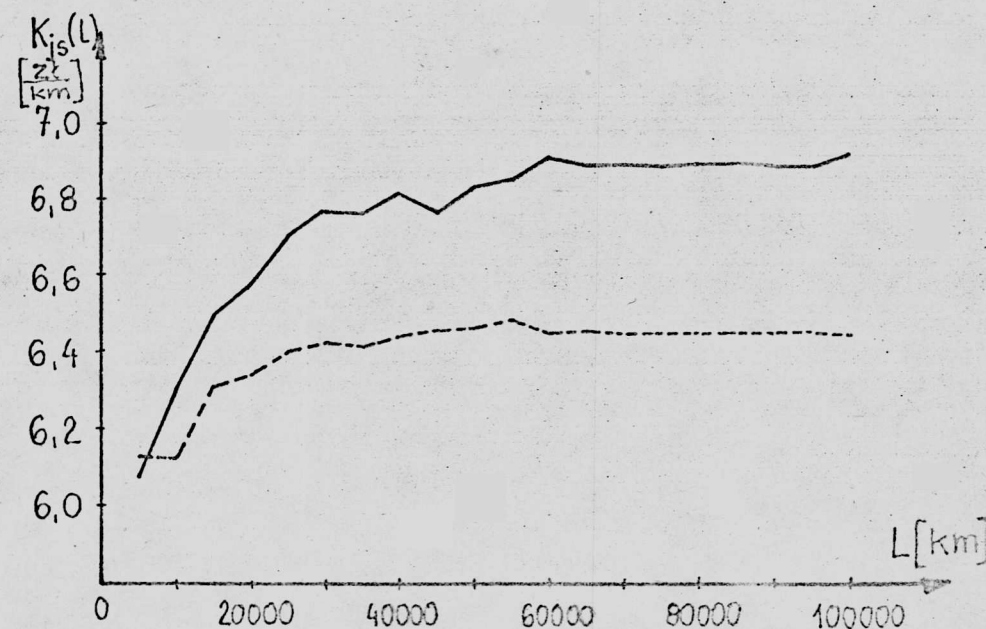
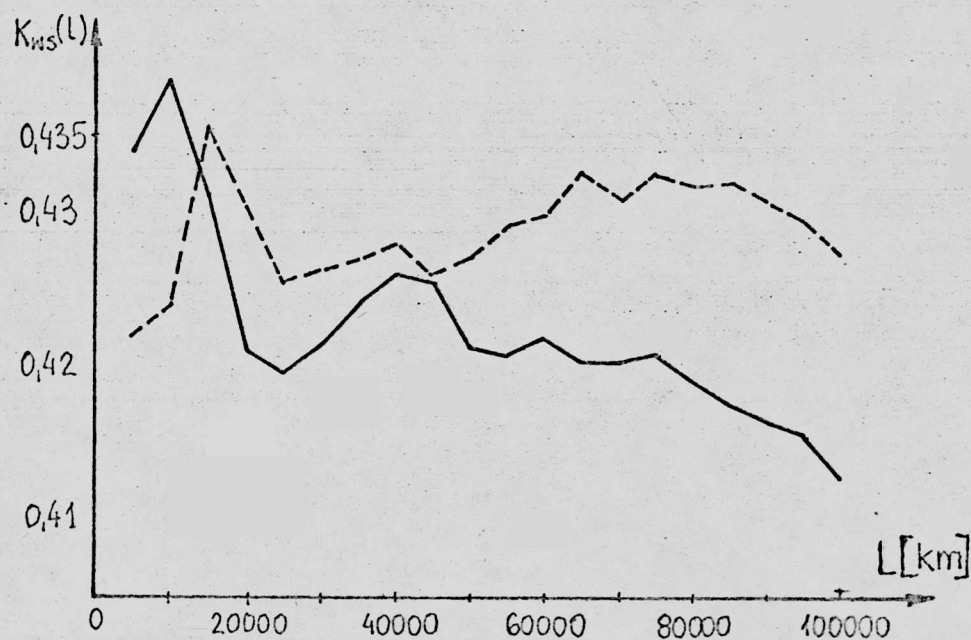
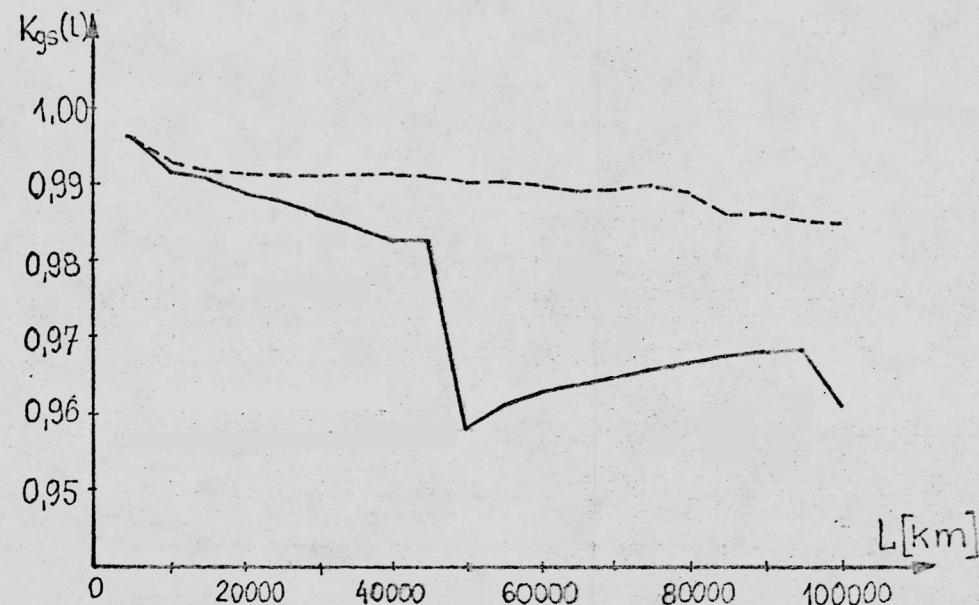
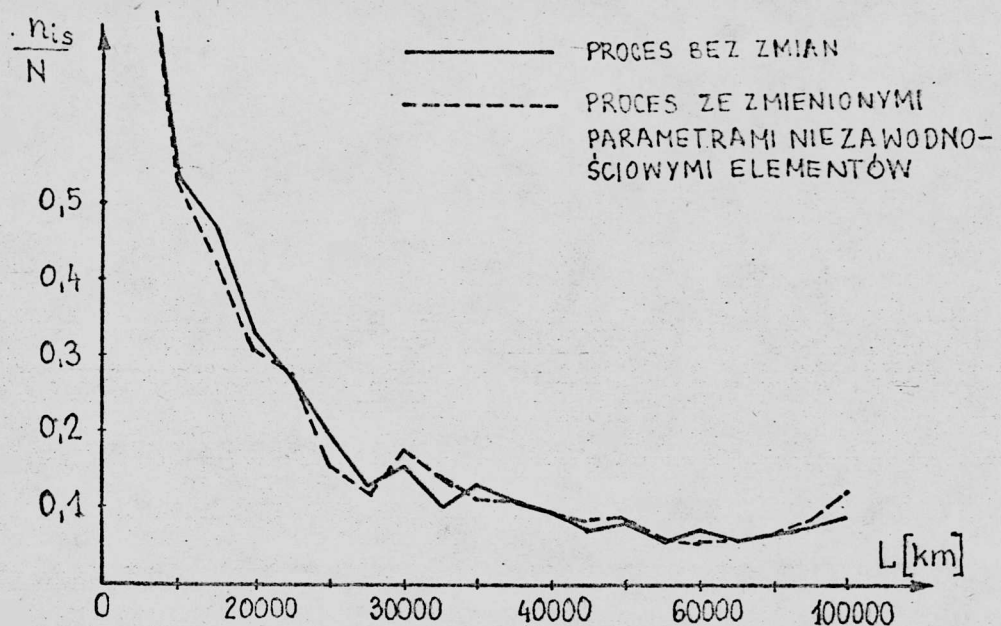
T a b e l a 27

Charakterystyki ocenowe symulowanego procesu eksploatacji z wprowadzonymi zmianami parametrów niezawodność

Lp.	Nazwa wskaźnika opisującego badany proces eksploatacji	Wartość wskaźnika
1	Intensywność użytkowania $\left[\frac{\text{km}}{\text{dzień}}\right]$	152
2	Wskaźnik gotowości technicznej	0,9856
3	Wskaźnik wykorzystania	0,4303
4	Wskaźnik postoju pojazdu w systemie obsługi	0,0144
5	Wskaźnik efektywnego postoju pojazdu w systemie obsługi	0,7053
6	Średni czas oczekiwania na obsługę [min]	416
7	Średni czas obsługi [min]	123



Rys. 29. Porównanie procesu ze zmianami parametrów niezawodnościowych z procesem podstawowym bez tych zmian. Zestawienie strumieni uszkodzeń, funkcji gotowości, funkcji wykorzystania i funkcji kosztu jednostkowego.



Rys. 30. Porównanie procesu ze zmianami parametrów niezawodnościowych z procesem podstawowym bez tych zmian. Zestawienie skumulowanych: strumieni uszkodzeń, funkcji gotowości, funkcji wykorzystania i funkcji kosztu jednostkowego.

9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W toku badań eksploatacyjnych zebrano materiał dokumentacyjny pozwalający na wyznaczenie rozkładów prawdopodobieństwa badanych zmiennych.

Wyznaczono typy rozkładów oraz ich parametry dla następujących zmiennych losowych charakteryzujących:

a) proces użytkowania:

- czas oczekiwania na użytkowanie
- czas jazdy w szczycie porannym, popołudniowym i dla jazdy całodziennego autobusu
- czas oczekiwania na użytkowanie między szczytami komunikacyjnymi
- średnia prędkość ruchu
- średnie zużycie paliwa i oleju

b) proces uszkodzalności elementów i odnowy

- przebieg pojazdu do I uszkodzenia danego elementu
- przebieg pomiędzy uszkodzeniami elementów
- czas oczekiwania na naprawę
- czas naprawy.

Podano metodę wyboru elementów oddziałujących w sposób istotny na proces użytkowania opierającą się na czasie niezdatności pojazdu i koszcie odnowy spowodowanym uszkodzeniem danego elementu. Przeprowadzono analizę systemu eksploatacji badanego obiektu, dokonując identyfikacji parametrów opisujących ten system.

W oparciu o powyższą analizę zbudowano model odwzorowujący badany system w procesie symulacji cyfrowej. Zaproponowany model odtwarza czterostanowy proces eksploatacyjny o następujących stanach: pracy, oczekiwania w stanie zdadności, oczekiwania w stanie niezdatności, stan odnowy. Czasy trwania poszczególnych stanów są potraktowane jako zmienne losowe i są generowane w trakcie symulacji. Zmiana parametrów użytkowych i niezawodnościowych może być prowadzona zarówno ilościowo jak i jakościowo (zmiana typów rozkładów). Model symulacyjny służy jako narzędzie w podejmowaniu decyzji dotyczących zmian konstrukcyjnych urządzenia i sposobu jego eksploatacji. Funkcjami kryterialnymi otrzymywanymi wprost z modelu są: funkcja gotowości technicznej, funkcja wykorzystania i kosztu jednostkowego oraz strumień uszkodzeń w zależności od badanego przebiegu. Wyprowadzane wydruki w postaci tabelarycznej pozwalają ponadto na: dokonanie analizy stochastycznej procesu eksploatacji, badanie rozkładów przebiegów pomiędzy kolejnymi uszkodzeniami pojazdu i elementów, badanie strumienia

uszkodzeń grupy pojazdów jako strumienia wejściowego do systemu odnowy. Wykazano zbieżność charakterystyk ocenowych procesu eksploatacji uzyskanych w toku symulacji z odpowiednimi charakterystykami rzeczywistego procesu.

Przeprowadzone badania eksperymentalne oraz badania na modelu symulacyjnym pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Czterostanowy model eksploatacji jest dobrym odwzorowaniem jego rzeczywistego wzorca, zachowującym jednocześnie zasadnicze własności tego procesu w sferze użytkowania i obsługi.
2. W strumieniu uszkodzeń badanych pojazdów dominujący udział ilości uszkodzeń, czasu oczekiwania na naprawę i czasu naprawy zajmuje zbiór 50 elementów, tj. około 22 % wszystkich uszkodzonych elementów (tab. 14). Uszkodzenia tych elementów stanowią ~75 % ilości uszkodzeń, czasu oczekiwania na NB i czasu napraw.
3. Zmienne losowe wyodrębnione w procesie użytkowania można z dużą dokładnością opisać typowymi rozkładami prawdopodobieństwa - normalnym, logarytmiczno-normalnym, Weibulla, beta i równomiernym. W pracy podano sposób uzyskania tych rozkładów oraz opisujące je parametry (tab. 8).
4. Dla tego samego elementu, przebiegi do I uszkodzenia opisuje inny rozkład niż przebiegi między uszkodzenia, co świadczy o różnych mechanizmach wywołujących kolejne uszkodzenia elementów.
5. Czasy oczekiwania na obsługiwane opisane zostały rozkładem dyskretnym. Jest to następstwo zbyt małej liczności próbki tej zmiennej, a także dużym rozrzutem kolejnych realizacji dla danego elementu.
6. Model symulacyjny, w którym odwzorowano cztery stany eksploatacyjne i dwa stany niezawodnościowe, a wielkości opisujące te stany są zmiennymi losowymi o zadanych rozkładach w wysokim stopniu przybliża rzeczywisty proces i może służyć jako narzędzie do badania wpływu zmian parametrów niezawodnościowych elementów konstrukcyjnych na podstawowe wskaźniki eksploatacyjne.
7. Z porównania symulowanych procesów eksploatacji wynika, że proponowane zmiany parametrów niezawodnościowych wybranych elementów powodują pozytywne zmiany wskaźników kryterialnych, potwierdzając celowość podejmowania działań nad poprawą ich jakości.
8. Model symulacyjny procesu eksploatacji urządzenia obniża koszty badań niezawodnościowych skracając czas praktycznego zastosowania wyników badań (symulacja eksploatacji grupy 39 pojazdów, jak w badaniach eksperymentalnych, trwałaby około 7 godzin w porównaniu z dwoma latami badań rzeczywistych).

9. Model symulacyjny umożliwia przeprowadzenie planowanego eksperymentu dla kilku czynników, zapewniając jednocześnie krótki czas badań i uzyskanie wiarygodnych wyników (podobne działanie w systemie rzeczywistym byłoby praktycznie niemożliwe).

LITERATURA

- 1 Adamkiewicz K., Czuchra W., Jędrzejowicz P. - Symulacja cyfrowa jako narzędzie projektowe na przykładzie systemu eksploatacji floty morskiej Prace Naukowe ICT Wrocław, 1975
- 2 Afanasjew L.L., Cukerberg S.M. - Przewozy samochodowe WKiŁ, Warszawa 1975
3. Becker P.W., Jensen F., - Design of System and Circuits for Maximum Reliability or Maximum Production Yield
Mc Graw - Hill Book Company New York 1977
- 4 Beichelt F. - Problemy niezawodności i odnowy urządzeń technicznych WNT Warszawa 1974
- 5 Benjamin J.R., Cornet C.A. - Rachunek prawdopodobieństwa statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów WNT; Warszawa 1972
- 6 Bronshtein I.N., Siemiendiajew I.A. - Matematyka - Poradnik encyklopedyczny PWN Warszawa 1970.
- 7 Chwalibóg M., Kowalski A. - Metodyka badania niezawodności maszyn włókienniczych Materiały na Szkołę Zimową 73 OPT Katowice 1973
- 8 Czervonyj A.A., Łukjaszczenko, W., Kotin L.W. - Nadieżność złożonych sistem Masinostrojenie Moskwa, 1976
- 9 Czuchra W., Jędrzejowicz P., Żółkiewicz - Techniki symulacji cyfrowej w badaniach eksploatacyjnych Materiały IV Krajowego Symopzjum Eksploatacji Urządzeń Technicznych 77
OPT Katowice 1977.
- 10 Dudziński P., Młyńczak M., Nowakowski T., - Metoda prognozowania trwałości ogumienia samojezdných maszyn górniczych; Raport 499 Politechniki Wrocławskiej; Wrocław 1979
- 11 Dwiliński L., Gadał S.P., Pabis S., Pawlik A., Powierża L., Supronowicz R. - Metodyka badania niezawodności maszyn rolniczych, Materiały na Szkołę Zimową 73 OPT Katowice 1973
- 12 Gołąbek A. - Metoda określania struktury zaplecza technicznego obsługi samochodu na podstawie intensywności uszkodzeń.
Praca doktorska IKiEM Politechnika Wrocławska 1975
- 13 Gołąbek A., Kuśmidrowicz J. - Badania eksploatacyjne silnika SW680/56 Raport 492 Politechniki Wrocławskiej 1978
- 14 Gołąbek A., Kuśmidrowicz J. - Kryteria oceny słabych ogniw pojazdu samochodowego, Technika Motoryzacyjna 8/78
- 15 Gołąbek A., Kuśmidrowicz J., Kiljańczyk R., Młyńczak M., Nowakowski T., Tuzinkiewicz S. - Badania eksploatacyjne autobusu Jelcz PR110U

cz.I Raport 455 Politechnika Wrocławska 1977

- 16 Gołąbek A., Kuśmidrowicz J., Stolarek E.T. Badania eksploatacyjne autobusów PR110U Raport 392 Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1977
- 17 Gołąbek A., Nowakowski T., Stolarek E., - Badania parametrów procesu użytkowania autobusu miejskiego, Raport 569 Politechnika Wrocławska, Wrocław 1977
- 18 Gołąbek A., Stolarek E., Młyniczak M., Nowakowski T. - Projekt systemu zbierania informacji i przetwarzania na EMC danych o eksploatacyjnej niezawodności autobusów samochodów ciężarowych i pochodnych. Część I, Dokumentacja badań, algorytmy obliczeń, Raport 545 Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1978
- 19 Gołąbek A., Stolarek E., Młyniczak M., Nowakowski T. - Raport 549 Politechniki Wrocławskiej. Część II, Programy na EMC, Wrocław 1980
- 20 Gerobach I.B., Kordonski CH.B. - Modele niezawodnościowe obiektów technicznych WNT Warszawa 1968
- 21 Gordon G. - Symulacja systemów; WNT Warszawa 1974
- 22 Gniedenko B., Bielażew K., Sołowiew A. - Metody matematyczne w teorii niezawodności WNT Warszawa 1968
- 23 Greń J. - Statystyka matematyczna modele i zadania PWN Warszawa 1975
- 24 Grzesiak K., Kołodziejcki J., Netzel Z. - Badania trwałościowe obiektów technicznych. Tablice rozkładu Weibulla WNT Warszawa 1968
- 25 Hajduk J. - Zarys pomiarów maszyn. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Poznańskiej, Poznań 1973
- 26 Hanzel Z., Ziemia S., - Fizyczne aspekty trwałości i niezawodności obiektów technicznych PWN, Warszawa-Poznań 1976
- 27 Haviland R.P. - Niezawodność urządzeń technicznych, PWN Warszawa 1968
- 28 Hebda M., Janicki D. - Trwałość i niezawodność samochodów w eksploatacji; WKiŁ Warszawa 1977
- 29 Hebda M., Mazur T., Pawlik I., Sakowicz A. - Modele badania procesów eksploatacji pojazdów, Materiały IV Krajowego Symozjum Eksploatacji Urządzeń Technicznych 77 OPT Katowice 1977
- 30 Hebda M., Mazur T., Pelc H., - Teoria eksploatacji pojazdu WKŁ Warszawa 1978
- 31 Hellwig Z. - Elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej PWN Warszawa 1965

- 32 Instrukcja prowadzenia dokumentacji badawczej
- 33 Instrukcja obsługi autobusu Jelcz PR110U berliet
- 34 Janicki D. - Eksploatacyjne badania niezawodności samochodu Star A-29 metodą prób warstwowych. Praca doktorska Instytut Eksploatacji Pojazdów Mechanicznych WAT Warszawa 1974
- 35 Janicki D. - Sformalizowany opis metody próby ciągłej badań niezawodności urządzeń technicznych
Zagadnienia Eksploatacji Maszyn Nr 3/76
- 36 Janicki D. - Wybór metody eksploatacyjnych badań niezawodności - Eksploatacja Maszyn WCT NOT Nr 8/1973
- 37 Jazdoń A., Wojciechowski B., Zwierzchowski S. - Metodyka badania niezawodności motorowerów, Materiały na Szkołę Zimową 73 OPT Katowice 1973
- 38 Jaźwiński J., Lewitowicz J., Migdalski J., Wieremiejczyk Wł. - Badania eksploatacyjne systemów o dużej niezawodności, Materiały na Szkołę Zimową 73 OPT Katowice 1973
- 39 Jaźwiński J., Pabis S., Wieremiejczyk Wł. - Symulacyjny model zbioru i transportu ziarna zbóż, Materiały IV Krajowego Sympozjum Eksploatacji Urządzeń Technicznych 77 OPT Katowice 1977
- 40 Juran I.M., Gryna F.M., I.R - Jakość projektowania, analiza WNT Warszawa 1974
- 41 Katalog części zamiennych autobusu PR110U
Katalog części zamiennych silnika SW 680 H
- 42 Kącki E., Bareła K. - Ocena niezawodności systemów odnawialnych metodami modelowania statystycznego
Materiały na Szkołę Zimową 77 OPT Katowice 1977
- 43 Kondratowicz L. - Modelowanie symulacyjne systemów WNT Warszawa 1978
- 44 Konieczny J. - Podstawy eksploatacji urządzeń Wydaw. MON 1975
- 45 Konieczny J. - Sterowanie eksploatacją maszyn urządzeń, Warszawa PWN 1975
- 46 Kopociński B. - Zarys teorii odnowy i niezawodności PWN Warszawa 1973
- 47 Korogodskij M.W. - Metodologičeskie osnovy optimizacii nađieżnosti avtomobilja Wyższa Szkoła Kijev 1976
- 48 Kuśmidrowicz J., Gołąbek A., Młyńczak M. - Analiza procesu starzenia silnika SW 680 H Preprint 200 Politechnika Wrocławska Wrocław 1979

- 49 Kuzniecov E., C., - Obespieczenie nadieznosti avtomobiliej MAZ w eksploatacji Moskva Transport 1977
- 50 Kuzniecov P.I, Pezelincew L.A. Bajdienko W.S. - Optymalizacja diagnostyki systemów; PWN Warszawa 1972
- 51 Langlois - Berthelot R.- Trwałość, niezawodność, funkcjonalność wyrobów przemysłowych WNT Warszawa 1972
- 52 Leszczyński J. - Modelowanie symulacyjne w transporcie kolejowym, WKiŁ, Warszawa 1973
- 53 Madeyski M., Lissowska E. - Badania analityczne transportu samochodowego WKiŁ Warszawa 1975
- 54 Mańczak K. - Technika planowania eksperymentu; WNT Warszawa 1976
- 55 Oprządkiewicz J. - Metodyka badania niezawodności narzędzi zmechanizowanych. Materiały na Szkołę Zimową OPT Katowice 1973
- 56 Pankiewicz, Broniecki - Eksploatacyjne badania niezawodności samochodów Star A-29 metodą próby ciągłej. Praca doktorska
- 57 Pieruschka E. - Principles of Reliability 1963 by Prentice - Hall, Inc. Engelwood Cliffs, N.J.
- 58 Polska Norma PN/N-03010 - Przepisy losowego wyboru sztuk do próbek
- 59 Praca zbiorowa pod redakcją H.Steinhausa - Elementy nowoczesnej matematyki dla inżynierów PWN, Warszawa-Wrocław 1971
- 60 Praca COBiRTK z.68/69 - Ustalanie słabych ogniw lokomotywy spalinowej ST 43
- 61 Raczkowski A., Żółtowski J. - Modelowanie procesu eksploatacji obrabiarki, Materiały na Szkołę Zimową 77. OPT Katowice 1977
- 62 Reszetow D.N. - Rabotospasobnost i nadeznost dietaliei masin Wyssza Szkoła Moskva 1974
- 63 Smalko Z. - Podstawy projektowania niezawodnych maszyn i urządzeń mechanicznych PWN Warszawa 1972
- 64 Smalko Z. - Przegląd niektórych węzłowych zagadnień metodyk badania niezawodności maszyn i urządzeń. Materiały na Szkołę Zimową 73 OPT Katowice 1973
- 65 Sztarski M.- Niezawodność i eksploatacja urządzeń elektronicznych WKiŁ; Warszawa 1972
- 66 Szymczyk J. - Optymalizacja obsługi profilaktycznych metodą modelowania statystycznego. Materiały IV Krajowego Sympozjum Eksploatacji Urządzeń Technicznych cz. 4 Katowice 1977
- 67 Węgierski J., Kucharczyk J. - Metody probablistyczne w projektowaniu transportu szynowego WKiŁ; Warszawa 1971

- 68 Wolszczan J - Zastosowanie teorii masowej obsługi w transporcie samochodowym WKiŁ; Warszawa 1970
- 69 Zieliński R - Generatory liczb losowych WNT Warszawa 1979
- 70 Zieliński R. - Tablice statystyczne PWN Warszawa 1972
- 71 Zóltowski J. - Metodyka badania niezawodności obrabiarek sterowanych numerycznie. Materiały na Szkołę Zimową 73 OPT Katowice 1973

Karta informacyjna autobusu

3	Sr.	Nr.aut	Nrkar.	M-c	Rok

Dzień m-ca		Stan licznika na koniec dnia robocz.					Czas pracy		Zużycie paliwa		Zuż. oleju		Uwagi	
1		2					3		4		5		6	
0	0													
0	1													
0	2													
0	3													
0	4													
0	5													
0	6													
0	7													
0	8													
0	9													
1	0													
1	1													
1	2													
1	3													
1	4													
1	5													
1	6													
1	7													
1	8													
1	9													
2	0													
2	1													
2	2													
2	3													
2	4													
2	5													
2	6													
2	7													
2	8													
2	9													
3	0													
3	1													

	Podpis	Data
Wypełnił :		
Sprawdził :		

KARTA USZKODZEŃ I NAPRAW - OBSŁUGI SAMOCHODU

CZĘŚCI. Dane ogólne i warunki eksploatacyjne samochodu

01			02			03	04		05	06	07		08	09		10	11	12	13	14	15
KOD KARTY			DATA			RZECZYWISTY PRZEBIEG km	CZAS NAPRAWY		CZAS OCZEKIWANIA NA NAPRAWĘ godz.	CZAS OBSŁUGI MODERNIZACJI	CZAS PRZESTOJU SUMARYCZNY		ILOŚĆ OSÓB DOKON. OBSŁ.	OBSŁUGI TECHNICZNE I MODERNIZACJE		TERENOWE WARUNKI UŻYTK.	PRZECIWOY. SAMOCHODU	DROGOWE WAR. UŻYTK.	NAMIERZCZANIA DROG	DOMINUJĄCY RODZ. ŁADUNK.	LICZBA USZK.
Sr	Nr autob.	Nr karty	Dzień	M-c	Rok		godz.	min.			godz.	min.									
	5		10			15	20		25	30		35		40	45	50			55		
1																					

CZĘŚC II. Charakterystyka uszkodzeń i napraw z wykazem części (zespołów) uszkodzonych.

01	02				03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
NAZWA KATALOGOWA CZĘŚCI (ZESPOŁU)	KOD KARTY				NR TABLICY z katalogu	KOD CZĘŚCI (ZESPOŁU) z katalogu	MODYFIKACJA	ILOŚĆ SZTUK CZĘŚCI	POSTAĆ USZKODZENIA	PRZYCZYNA USZKODZENIA	SPOŚÓB USUNIĘCIA USZKODZENIA	PRZYCZYNY OCZEKIWANIA	RODZAJ USZKODZENIA	USZKODZENIE NIE USUNĄŁ kto gdzie	CZAS NAPRAWY CZĘŚCI (ZESPOŁU) godz. min.	KOSZT CZĘŚCI ZAMIENNEJ zł.	KOSZT ROBOCIZNY zł.
	Sr	Nr autob.	Nr karty	lp													
		5															
	2			1													
	2			2													
	2			3													
	2			4													
	2			5													
	2			6													
	2			7													

poz.	Okręślenie	Kod
09	OT zakres I OT zakres II OT zakres III OT zakres IV OT zakres V obal.szczeniowa zimowa obal.szczeniowa letnia modernizacja	01 02 03 04 05 06 07 08
10	teren równinny teren nadmorski teren górski	09 10 11
11	garaż ogrzewany garaż nieogrzewany włata plac niezaduszony	12 13 14 15
12	przewozy międzymiastowe przewozy miejskie przewozy terenowe	16 17 18
13	asfaltowa brukowana nieutwardzona bezdroża	19 20 21 22
14	przewóz osób materiały sypkie materiały sztukowe materiały poza gabarytowe materiały korezyjne bez ładunku	23 24 25 26 27 28

poz.		Określenie	Kod
07	Postać uszkodzenia	złamanie - ścięcie	29
		zgięcie	30
		skręcenie	31
		peknienie	32
		zawalenie	33
		złuszczenie powierzchni	34
		uszk. powierzchni /zatarcie, porynow./	35
		rozdarcie	36
		przebite /np. ogumienia/	37
		uszk. izolacji	38
		ustrata szczelności /wyciek/	39
		przepalenie	40
		brak wskazań	41
08	Przyczyna uszkodz.	rozregulowanie /polaz., odkręć./	42
		korozyja	43
		inne /na odwrócie karty podać jak/	44
		wada materiałowa	45
		niewłaściwa regulacja	46
		wada konstrukcyjna	47
		niewłaściwe użytkowanie	48
09	Sposób osunięcia uszkodzenia	złe wykonanie	49
		zatarcie	50
		niewłaściwy montaż	51
		inne /na odwrócie karty podać jak/	52
		wymiana zespołu /części na nowy/	53
		wymiana zesp. /części/ na regener.	54
		regulacja, dokręcenie	55
		regulacja /obróbka mechan., spawanie,	
		napawanie, galvanizacja, pokrywanie twor.	
		zstuczonymi itp./	56
		naprawa przez zastosowanie wynalazów naprow.	57
10	Przy- czyny uszkodzeń, bezakw.	zamrowanie	58
		nie usunięto - nie przetrw. eksplo.	
		/uszkodz. nieistotne/	59
		nie usunięto - nie przetrw. eksplo.	
		/uszkodz. istotne/	60
11	Rodzaj uszkodz. bezakw.	inne /na odwrócie karty podać jak/	61
		brak części zespołu/ zamien.	62
		brak stanowisk roboczych	63
		brak specjalistów	64
12	Rodzaj uszkodz. bezakw.	brak decyzji gwaranta	65
		pierwotne	66
		wtórne /na odwrócie karty podać lp. części	
		1 nr karty uszkodz. tab.2 dot. części, której uszkodzenie pierwotne było przyczyną danego uszkodz. wtórnego/	67
13	Rodzaj uszkodz. bezakw.	kierownik	68
		specjaliści	69
		w drodze	70
		w warsztacie	71

உயிரினம் உயிரினம் உயிரினம் - 60

IDENTYFIKACJA USZKODZEN

[illegible]

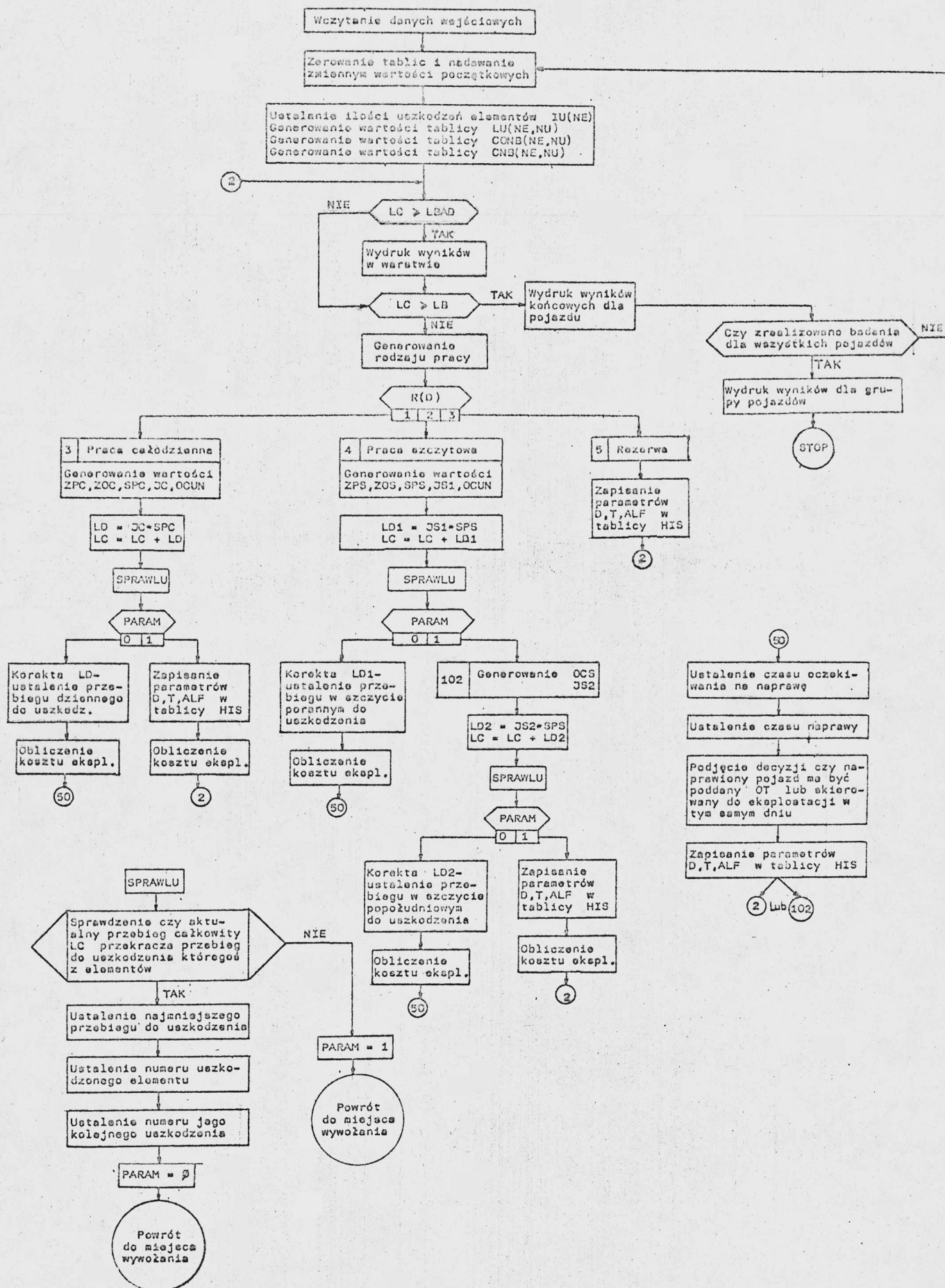
Liczba uszkodzeń
elementu

Numer pojazdu, w którym
wystąpiło uszkodzenie

Przebieg pojazdu w chwili
wystąpienia uszkodzenia

88	09.12840	19.21051	01.126599	02.25526	07.26702	10.2338	12.24304	14.27593
	25.28417	31.23075	35.122627	37.224463	38.28291	01.31460	04.21598	05.30840
	06.30114	16.33231	21.132965	24.30858	25.32528	33.31190	03.40668	05.37699
	14.33623	17.28383	18.133817	20.35824	23.36728	30.33706	31.37057	35.34461
	06.39858	07.39219	09.40898	10.40342	12.41018	14.38831	20.44353	27.40876
	05.64332	17.57346	18.163364	23.66535	29.61444	30.57402	31.61178	34.58953
	35.60617	37.60066	08.170961	10.69783	12.70573	20.73802	01.77968	03.75570
	13.73422	16.82546	19.163897	26.39466	32.74169	38.76176	39.74743	02.79484
	13.79420	22.82601	36.168718	06.88494	24.88485	25.88591	07.94157	24.94940
	31.91528	04.97375	09.07175	28.97608	10.99560	12.93284	34.94521	05.98215
	22.97821	26.72989	31.09064	39.89070	22.30665	28.30639	29.34308	34.30746
19	05.15280	05.15530	08.119440	05.15130	09.13000	38.31233	17.44856	11.59707
	37.54366	27.60358	29.168887	06.73662	08.86179	18.92802	38.84526	18.94136
	02.12388	03.15910	17.169689					
48	09.05465	15.06101	08.108249	04.07705	04.10065	03.15500	05.17639	06.18973
	13.17504	14.16985	15.119736	18.16945	33.15261	39.12816	01.23401	06.20726
	33.18039	27.29333	33.135753	33.38842	38.38916	07.43788	14.44401	25.48127
	31.47842	36.34535	01.153709	14.50493	34.46422	37.47750	38.57116	39.57571
	05.61509	30.61153	22.177506	33.77308	18.79168	26.43599	37.75981	03.92233
	11.89040	35.85609	36.172762	04.88546	28.92289	05.87832	33.95801	34.46422

Przykładowy zbiór danych o przebiegach w chwili uszkodzenia
elementu.



Mgr inż. Marek Młynczak

Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn
Politechniki Wrocławskiej

Pracę złożono w Redakcji Instytutu KEM 4.07.80

ODBIORCY:

1. Biblioteka i Ośrodek Informacji Inst. KEM	1
2. Biblioteka Główna PWr	1
3. Promotor - doc. dr inż. Jerzy Marcinkowski	1
4. Recenzenci	2
5. Autor	2