

INSTYTUT KONSTRUKCJI I EKSPLOATACJI MASZYN
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Raport Serii PREPRINTY Nr 047(647)/80

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

WPŁYW WARUNKÓW UŻYTKOWANIA
NA NIEZAWODNOŚĆ POJAZDU
NA PRZYKŁADZIE AUTOBUSU MIEJSKIEGO PR110U

Tomasz Nowakowski

Promotor: doc. dr inż. Jerzy Marcinkowski

Słowa kluczowe:
autobus miejski,
użytkowanie,
niezawodność

Wrocław 1980

Wykaz ważniejszych oznaczeń	3
1. Wstęp	6
2. Charakterystyka zagadnienia	6
2.1. Ujęcie problemu	6
2.2. Warunki użytkowania pojazdu	11
2.3. Obiekt badań	20
3. Teza, cel i program pracy	26
4. Model warunków użytkowania pojazdu	28
5. Badanie warunków użytkowania autobusu miejskiego	29
5.1. Metoda pomiaru charakterystyk warunków ruchu autobu- su miejskiego	31
5.2. System pomiarowo-rejestrujący	34
5.3. Przebieg pomiarów	37
5.4. Opracowanie wyników pomiarów	38
5.5. Wyniki badań	43
6. Badanie niezawodności pojazdu	67
6.1. Metoda badań	67
6.2. System zbierania i przetwarzania danych o niezawod- ności pojazdu	70
6.3. Wyniki badań	71
7. Ocena wpływu czynników wymuszających na niezawodność pojazdu	89
7.1. Wybór metody	89
7.2. Procedura obliczeń	90
7.3. Wyniki obliczeń	93
8. Wnioski	112
Spis literatury	114
Załączniki :	
Z1 Podział autobusu miejskiego na układy funkcjonalne . .	121
Z2 Charakterystyki procesów stochastycznych	125
Z3 Rozkłady prawdopodobieństwa	127
Z4 Przegląd metod oceny wpływu warunków eksploatacji na niezawodność obiektu	130

Spis ważniejszych oznaczeń

$a^+ \left[\frac{m}{s^2} \right]$	- przyspieszenie dodatnie ruchu
$a^- \left[\frac{m}{s^2} \right]$	- przyspieszenie ujemne ruchu
a_U	- wskaźnik adaptacji układu U
$b_0, b_1, \dots, b_s$	- estymowane współczynniki funkcji regresji
c_{KK}	- elementy diagonalne macierzy kowariancji
$D^2(T)$	- wariancja zmiennej losowej T
$E(T)$	- wartość oczekiwana zmiennej losowej T
E	- numer środowiska eksploatacji
F	- wartość statystyki F - Snedecora
F_{kr}	- wartość krytyczna statystyki F - Snedecora
$F(t)$	- dystrybuanta zmiennej losowej T
$F^*(t)$	- dystrybuanta empiryczna zmiennej losowej T
$f(t)$	- gęstość prawdopodobieństwa zmiennej losowej T
$f^*(t)$	- empiryczna gęstość prawdopodobieństwa zmiennej losowej T
I [szt.]	- licznosc próby ciągłej
K_T	- macierz kowariancji zmiennej losowej T
L_j [tys.km]	- przebieg j-tego pojazdu
L_{1j} [tys.km]	- przebieg j-tego pojazdu do 1-szego uszkodzenia
L [tys.km]	- losowy przebieg bezawaryjnej pracy pojazdu
l [km]	- badany przebieg pojazdu
$l_{\alpha=0}$ [m]	- długość drogi przejechanej przez pojazd na wprost
$l_{\alpha>0}$ [m]	- długość drogi przejechanej przez pojazd po łuku
$l_{q<50}$ [m]	- długość drogi przejechanej przez pojazd z obciążeniem 25-50% obciążenia dopuszczalnego
$l_{q>100}$ [m]	- długość drogi przejechanej przez pojazd z obciążeniem 100-125% obciążenia dopuszczalnego
l_{ij} [tys.km]	- przebieg między i-tym a i-1 -szym uszkodzeniem j-tego pojazdu
M_{pc}	- elementy metody próby ciągłej
$MTBF$ [tys.km]	- średni przebieg między uszkodzeniami
$MTTF$ [tys.km]	- średni przebieg do pierwszego uszkodzenia
m_j	- moment stopnia j zmiennej losowej
m_{x_i}	- wartość oczekiwana zmiennej losowej X_i
m_i	- liczba zdarzeń zaliczonych do i-tego przedziału klasowego
N_i	- liczba zdarzeń realizacji zmiennej X_i
$N(0)$ [szt.]	- liczba badanych pojazdów na początku badań
N [szt.]	- liczba badanych pojazdów

N_E [szt.]	- liczba badanych pojazdów w środowisku E
N_{MTBF}	- liczba danych o przebiegach między uszkodzeniami
N_{MTTF}	- liczba danych o przebiegach do pierwszego uszkodzenia
n	- ilość pomiarów
n_j	- liczba uszkodzeń j-tego pojazdu
n_{ij}	- i-te uszkodzenie w j-tym pojeździe
$P(X_i)$	- prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia X_i
P_{pc}	- parametry próby ciągłej
Q	- obciążenie wymuszające proces starzenia pojazdu
$Q(t)[\%]$	- obciążenie pojazdu
$q(t)$	- prawdopodobieństwo uszkodzenia
$R(t)$	- niezawodność, funkcja niezawodności
R_{yx}	- współczynniki korelacji między zmiennymi X i Y
R^2	- współczynnik korelacji wielokrotnej
R'^2	-cząstkowy współczynnik korelacji wielokrotnej
R	- ilość serii w ciągu
$R_{XX}(t)$	- funkcja autokorelacji procesu X t
$R_{XY}(t)$	- funkcja korelacji wzajemnej procesów X t i Y t
$r_{n_1, n_2}(\alpha)$	- wartość krytyczna statystyki R
$r(\alpha, \nu)$	- wartość krytyczna współczynnika korelacji
S	- zbiór badanych samochodów
s_{x_i} [tys.km]	-odchylenie standardowe zmiennej losowej X_i
T	- średni przebieg między uszkodzeniami
T_B [dni]	- całkowity czas badań
T [s]	- czas trwania realizacji
t_{n-2}	- statystyka t - Studenta
t_o	- chwila początku badań
t_B	- chwila końca badań
$t_{v=0}$ [s]	- czas postoju
$t_{v>0}$ [s]	czas jazdy
$t_{v>20}$ [s]	- czas jazdy z prędkością $V \geq 20$ km/h
$t_{v>60}$ [s]	- czas jazdy z prędkością $V \geq 60$ km/h
	- macierz warunków eksploatacji
v [$\frac{km}{h}$]	- prędkość jazdy
$X(t)$	- proces ruchu wzdłuż osi X
X_i	- i-ta charakterystyka procesu użytkowania
x_i	- realizacja procesu X_i
$\bar{x}_{ij}$	- iloczyn charakterystyki i, j
x_{im}	- m-ta wartość realizacji procesu X_i

x_{i1}	- środek 1-tego przedziału klasowego zmiennej losowej X_1
$\bar{x}_g$	- górna granica przedziału ufności wartości oczekiwanej
$\bar{x}_d$	- dolna granica przedziału ufności wartości oczekiwanej
$\bar{x}$	- wartość oczekiwana
$Y(t)$	- proces ruchu wzdłuż osi Y
$Z(t)$	- proces ruchu wzdłuż osi Z
Z_B	- planowany do zużycia potencjał eksploatacyjny
$Z(S_j)$	- zapas potencjału eksploatacyjnego w chwili t_0
$Z^*(S_j)$	- zużyty potencjał eksploatacyjny w chwili t_0
α	- poziom istotności
α [deg]	- kąt skreślenia
β	- błąd oszacowania
$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_s$	- rzeczywiste wartości współczynników funkcji
δ [cm/km]	- wskaźnik nierówności nawierzchni
$E(t)$	- proces ruchu wzdłuż osi
η_{eE}	- współczynnik uszkodzalności
λ	- wartość statystyki λ -Koźmogorowa
λ_{kr}	- wartość krytyczna statystyki λ -Koźmogorowa
$\lambda(t)$ [1/tys.km]	- intensywność uszkodzeń
γ_a	- współczynnik zmienności wskaźnika adaptacji
γ_i	- prawdopodobieństwo, że obiekt w czasie eksploatacji znajdzie się w warunkach ω_i
π_U	- wskaźnik jednorodności układu
ρ_{xx}	- unormowana funkcja korelacji
σ_{xi}	- odchylenie standardowe zmiennej losowej X_1
$\Phi(t)$	- proces ruchu wzdłuż osi
$\varphi_{xi}(t)$	- funkcja charakterystyczna zmiennej losowej X_1
$\Psi(t)$	- proces ruchu wzdłuż osi
$\Omega(t)$	- zbiór wymuszeń wynikających z warunków eksploatacji
$\omega_i(t)$	- czynniki wymuszające

1. WSTĘP

Określenie wpływu otoczenia na niezawodność pojazdu pozwala na:

- zmniejszenie intensywności uszkodzeń obiektu przez racjonalny dobór do warunków użytkowania i rodzaju zadań transportowych,
- planowanie technicznie uzasadnionych odnów zapobiegawczych elementów pojazdu,
- planowanie zużycia części zamiennych oraz intensywności ich dostaw (planowanie dynamiczne),
- zwiększenie dokładności informacji o niezawodności obiektu uzyskiwanych z badań modelowych.

Problem ten jest stosunkowo mało poznany.

Badano go w prowadzonych w Instytucie Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej w ramach Problemu Węzłowego 05.14.n.t. "Optymalizacja eksploatacji pojazdów mechanicznych i maszyn w gospodarce narodowej" badaniach eksploatacyjnych autobusu miejskiego Jeloz PR 110 U. Na schemacie (rys.1.[80]) realizowanych zagadnień zaznaczono problemy uwzględnione w niniejszej pracy.

Wstępne wyniki badań [19, 53, 75-78, 89-91] zwróciły uwagę na konieczność szczegółowego zcharakteryzowania procesu użytkowania. W związku z tym podjęta została praca n.t. "Wpływ warunków użytkowania na niezawodność pojazdu na przykładzie autobusu Jeloz PR 110 U".

2. CHARAKTERYSTYKA ZAGADNIENIA

2.1. Ujęcie problemu

Niezawodność obiektu charakteryzowana jest jako:

$$R(t) = 1 - F(t) ; F(t) = P(T \leq t) \quad (1)$$

gdzie: T - zmienna losowa oznaczająca czas bezawaryjnej pracy obiektu.

Intensywność uszkodzeń dana jest znanym wzorem:

$$\lambda(t) = - \frac{R'(t)}{R(t)} \quad (2)$$

Uwzględniając zależność intensywności uszkodzeń od zbioru wymuszeń wynikających z warunków eksploatacji działających na obiekt, $\Omega(t)$:

Program badań niezawodności autobusu		
Kierunki badań		
Badania eksploatacyjne niezawodności	Badania środowisk eksploatacji	Badania specjalistyczne ukierunkowane
Zakres badań		
Opracowanie metodyki badań i kryteriów oceny	Opracowanie metodyki badań	Opracowanie metodyki badań
System zbierania informacji i przetwarzania danych [80, 86, 77]	Ogólna charakterystyka wymuszeń działających na pojazd i jego układ jezdny [93, 94, 95, 97, 98]	Badania: układów napędowych [101]
Określenie zbioru danych do oceny niezawodności	Dynamika procesu hamowania [99, 100]	silników spalinowych [81 ÷ 85]
Opracowanie wyników badań dla producenta i eksploatatora [74 ÷ 79]	Probabilistyczna charakterystyka wymuszeń dróg [96]	przekładni [101]
	Określenie parametrów procesu użytkowania [87, 91]	układu jezdnego [99, 100]
	Identyfikacja struktur organizacyjnych systemu obsługi i użytkowania [88, 89]	układu hamulcowego [102]
	Charakterystyka socjologiczna systemu eksploatacji [90]	układu zawiesznień [95]
		układu konstrukcji nośnej [94, 97]
		elementów układu elektrycznego [91, 92]
		Badania w zakresie oceny systemu technicznego wybranych elementów.

Rys.1. Zakres badań niezawodności autobusu Jelcz PR 110 V.

$$\bigwedge_{t > 0} \bigvee_{\omega_i \in \Omega} R(t) = R[t, \Omega(t)] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R(t) = e^{-\int_0^t \lambda[\tau, \Omega(\tau)] d\tau} \quad (3)$$

Ponieważ

$$\Omega(t) = \{ \omega_1(t), \omega_2(t), \dots \} \quad (4)$$

gdzie: $\omega_i(t)$ - poszczególne czynniki wymuszające
więc

$$\lambda(t) = \lambda[t, \omega_1(t), \omega_2(t), \dots] \quad (5)$$

Zależności (3)-(5) znajdują potwierdzenie w badaniach systemów elektrycznych lub elektronicznych [15,57,73] oraz mechanicznych [2, 25,30,40,62,70].

Przyjmując, że obiekt pracuje w warunkach stacjonarnych ($\lambda(t) = \lambda = \text{const}$) oraz, że poziom wymuszeń działających na badany obiekt w analizowanym przedziale czasu $0, t$ jest stały, niezawodność obiektu można zapisać jako:

$$R[t, \Omega(t)] = e^{-\lambda(\omega_1, \omega_2, \dots) t} \quad (6)$$

gdzie: $\omega_1, \omega_2, \dots$ - czynniki wymuszające mają sens stałych parametrów funkcji niezawodności.

W praktyce nie ma możliwości zbudowania pełnego modelu matematycznego uszkodzeń obiektu [73]. Przyjęto w dalszych rozważaniach następujące założenia upraszczające:

- uszkodzenia są od siebie niezależne,
- tylko niektóre wymuszenia mają istotny wpływ na niezawodność obiektu,
- wymuszenia są wzajemnie niezależne.

Uwzględniając te założenia:

$$\lambda = \lambda(\omega_1, \omega_2, \dots) = \sum_k \lambda_k(\omega_i) \quad (7)$$

gdzie: $\lambda_k(\omega_i)$ - k-ta składowa intensywności uszkodzeń będąca wynikiem oddziaływania i-tego wymuszenia.

Może istnieć kilka składowych określających różne procesy fizyko-chemiczne, zależne od tego samego wymuszenia.

Zmiany intensywności uszkodzeń w zależności od poziomu wymuszeń mogą być różne, dlatego w pracy [73] wprowadzono miarę stabilności intensywności uszkodzeń:

$$\delta_{\lambda_k}(\omega_i) = \frac{\bar{\lambda}_k(\Delta\omega_i) - \lambda_k(\Delta\omega_i)}{\bar{\lambda}_k(\Delta\omega_i)} \quad (8)$$

gdzie:

$\bar{\lambda}_k(\Delta\omega_i)$ - wartość maksymalna k-tej składowej intensywności uszkodzeń od wymuszenia ω_i w przedziale zmienności $\Delta\omega_i$,

$$\Delta\omega_i = \omega_{i \max} - \omega_{i \min},$$

$\lambda_k(\Delta\omega_i)$ - wartość minimalna k-tej składowej intensywności uszkodzeń w przedziale $\Delta\omega_i$.

Intensywność uszkodzeń obiektu zależną od wymuszeń ω_i w przedziale zmienności $\Delta\omega_i$ nazwano [73]:

- stabilną, jeżeli $\delta_{\lambda_k}(\Delta\omega_i) \leq 0,3$,
- quasi-stabilną, jeżeli $0,3 < \delta_{\lambda_k}(\Delta\omega_i) \leq 0,8$,
- niestabilną, jeżeli $\delta_{\lambda_k}(\Delta\omega_i) > 0,8$.

Ze względu na duże trudności ze zbudowaniem modelu matematycznego procesu fizyko-chemicznego uszkodzeń w innych pracach, korzysta się z tzw. współczynnika korekcyjnego współczynnika adaptacji określającego ile razy intensywność przy danym poziomie wymuszeń jest większa od intensywności uszkodzeń w warunkach nominalnych:

$$\lambda = \lambda(\Omega) = \sum_k a_k(\Omega) \cdot \lambda_{kN} \quad (9)$$

gdzie:

$a_k(\Omega)$ - współczynnik korekcyjny wyznaczony dla rzeczywistych wartości zbioru wymuszeń,

λ_{kN} - intensywność uszkodzeń wyznaczona przy nominalnych wartościach wymuszeń.

Dla pojazdu samochodowego warunki nominalne określone są [60] jako praca pojazdu na prostej drodze o nawierzchni asfaltowo-betonowej w dobrym stanie, poziomej, przy obciążeniu 100 %, w temperaturze otoczenia 20°C, ciśnieniu atmosferycznym 1016 hPa itd.

Wpływ poziomu wymuszeń na intensywność uszkodzeń określonych elementów najczęściej bada się empirycznie, bez budowy fizycznych modeli

uszkodzeń. Na podstawie wyników z badań wyznacza się:

- zależności "analityczne" aproksymujące zmiany intensywności uszkodzeń pod wpływem wybranych, najistotniejszych dwóch, trzech wymuszeń ,
- wykresy zmian intensywności uszkodzeń pod wpływem najistotniejszych wymuszeń ,
- tablice lub wykresy współczynników korekcyjnych intensywności uszkodzeń elementów.

Dla obiektów mechanicznych podaje się podobnie zdefiniowany [16] współczynnik zmienności α wskaźnika intensywności uszkodzeń:

$$\alpha_i = \frac{\lambda_{iw}}{\lambda_{iN}} \quad (10)$$

gdzie:

λ_{iw} - intensywność uszkodzeń w warunkach wymaganych ,

λ_{iN} - intensywność uszkodzeń w warunkach nominalnych.

Jednocześnie [16] wprowadzony został współczynnik intensywności uszkodzeń K_{war} zależny od warunków pracy.

K_{war} zmienia się od $K_{war}=1$ dla pracy w warunkach laboratoryjnych do $K_{war} = 1000$ dla urządzeń pokładowych rakiet.

Autorzy prac [26, 30, 40, 64] wyrażają wpływ warunków eksploatacji na intensywność uszkodzeń samochodów za pomocą empirycznego współczynnika intensywności uszkodzeń k_λ . Wartość współczynnika k_λ wyznacza się empirycznie z zależności:

$$k_\lambda = \frac{\Lambda_{rz}}{\Lambda_{opt}} \geq 1 \quad (11)$$

gdzie:

Λ_{rz} - parametr strumienia uszkodzeń pojazdu w warunkach rzeczywistych,

Λ_{opt} - parametr strumienia uszkodzeń pojazdu w najkorzystniejszych dla samochodu warunkach eksploatacji.

Przy wyznaczaniu wartości k_λ proponuje się uwzględnić wpływ:

- warunków terenowo-klimatycznych $k_{\lambda 1}$,
- intensywności użytkowania samochodu $k_{\lambda 2}$,
- sposób użytkowania i obsługi samochodów w danym systemie eksploatacji z uwzględnieniem jakości wykonywania prac obsługowo-naprawczych $k_{\lambda 3}$.

Wobec powyższego:

$$k_{\lambda} = \prod_{i=1}^n k_{\lambda i} \quad ; \quad i = \overline{1, n} \quad (12)$$

Autorzy prac [60,61,71] do oceny wpływu otoczenia na niezawodność obiektu posługują się pojęciem adaptacji. Przez adaptację rozumie się zdolność obiektu do wykonywania nałożonych zadań w warunkach eksploatacji różnych od warunków nominalnych.

Przy eksploatacji obiektu w warunkach różnych od nominalnych te parametry zmieniają się. Im lepszy jest wskaźnik adaptacji obiektu tym mniejsza jest zmiana parametru wyjściowego.

W [61,71] wprowadzono dwa wskaźniki adaptacji:

- współczynnik adaptacji $a = y/y_0$
- poprawkę na adaptację $s = y - y_0$

Przedstawiają one ilościowe charakterystyki określające zmianę parametru wyjściowego y w porównaniu do wartości optymalnej nominalnej tego parametru y_0 .

Przykłady podane w wyżej omówionych pracach, jak i w [37,55,56] dotyczą parametrów y rozumianych jako wielkości ruchowo-eksploatacyjne zużycie paliwa, prędkość jazdy, przyspieszenia itp. Modeli tych nie weryfikuje się w odniesieniu do zagadnień niezawodnościowych, w których wielkości wyjściowe dotyczą niezawodności, funkcji odnowy, strumienia uszkodzeń itp.

Jednocześnie analiza wpływu otoczenia na niezawodność obiektu ograniczona jest do przypadków stałości intensywności uszkodzeń w czasie. Dla obiektów mechanicznych jest to często założenie zbyt mocne. Współczynniki korekcyjne określają tylko względne zmiany intensywności uszkodzeń. Nie uwzględniają one losowości warunków otoczenia i rodzaju funkcji niezawodności.

Sprecyzowania wymaga pojęcie warunków eksploatacji oraz określenie zbioru charakterystyk warunków eksploatacji.

2.2. Warunki użytkowania pojazdu

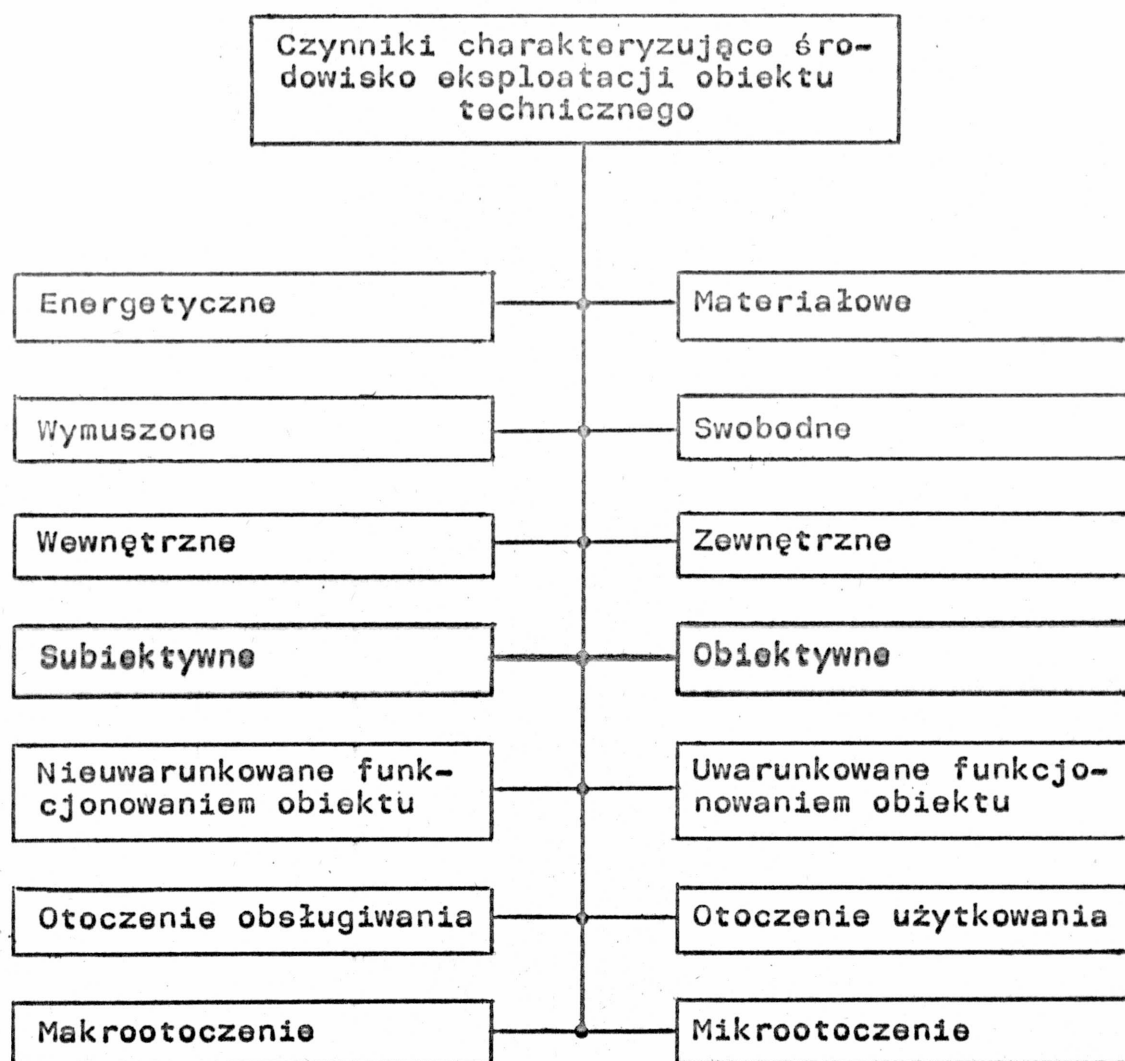
Klasyfikacja

Zmienne warunki fizyczne, w których działa obiekt techniczny nazywa się ogólnie otoczeniem [14], środowiskiem [24] lub warunkami eksploatacji [73].

Ścisłe zdefiniowanie omawianego pojęcia jest o tyle trudne, że

zawierają się w nim warunki techniczne, klimatyczno-meteorologiczne, organizacyjne i socjologiczne. Za [73,69] przyjęto, że przez warunki eksploatacji rozumie się wszelkie warunki w jakich znajduje się obiekt techniczny po wyprodukowaniu, a więc podczas transportu, magazynowania, obsługi technicznej i użytkowania.

Ze względu na różnorodne kryteria można czynniki charakteryzujące otoczenie obiektu technicznego sklasyfikować w sposób pokazany na rys.2.



Rys.2. Klasyfikacja czynników charakteryzujących środowisko eksploatacji obiektu technicznego

Środowisko materiałowe [24] obejmuje wszystkie materiały, które otaczają obiekt i nie stanowią jego części. Większość obiektów jest poddana działaniu stosunkowo ograniczonego środowiska.

Takimi czynnikami środowiska są np. skład atmosfery, stężenie pyłów itd. Środowisko energetyczne obejmuje wszystkie postacie energii, które mogą przepływać do wewnątrz lub na zewnątrz obiektu. Obejmuje ono energię, które są związane z materiałami środowiska (ciepło otoczenia), jak również energie innego rodzaju, niezależne od materiałów (pole magnetyczne).

Środowisko swobodne jest ustalone przez procesy naturalne. Nie można go sterować. Środowisko wymuszone ustalają inne obiekty sztucznie wytworzone.

Subiektywne warunki eksploatacji [14,73] tzw. wpływy antropotechniczne wynikają ze świadomej lub nieświadomej działalności człowieka. Należą do nich takie wymuszenia jak: umiejętność organizacji procesu eksploatacji, kwalifikacje, doświadczenie, sumienność i staranność przejawiana w toku wszelkich przedsięwzięć eksploatacyjnych. Wpływy antropotechniczne trudno jest ująć w postaci analitycznej. Aby je ocenić wprowadza się niekiedy pojęcie niezawodności własnej obiektu oraz niezawodności operacyjnej uwzględniającej wpływ działalności człowieka.

Inne dwa zasadnicze zbiory czynników to [64]: uwarunkowane i nieuwarunkowane funkcjonowaniem obiektu. Czynniki uwarunkowane funkcjonowaniem obiektu czynniki robocze wynikają z czynności wykonywanych przez obiekt. Ich wyeliminowanie nie jest możliwe, gdyż występowanie ich jest nierozłącznie związane z procesami fizycznymi zachodzącymi w obiekcie w czasie pracy.

Czynniki nieuwarunkowane funkcjonowaniem obiektu oddziałują na obiekt w wyniku samej swojej obecności w otoczeniu nawet wtedy, gdy system swoich funkcji nie wykonuje. Niektóre z tych czynników można całkowicie lub przynajmniej częściowo usunąć przez odpowiednie rozwiązania konstrukcyjne obiektu i zastosowanie właściwych środków przeciwdziałających.

Kolejnym podstawowym podziałem czynników charakteryzujących warunki eksploatacji jest rozróżnienie czynników zewnętrznych i wewnętrznych.

Do czynników zewnętrznych zaliczyć można np. wpływ atmosfery, naturalnego podłoża, współpracujących obiektów itp., a do czynników wewnętrznych procesy mechaniczne, mechaniczno-fizyczne, fizykochemiczne występujące w trakcie funkcjonowania i przechowywania obiektu.

Przyjmując elementarny układ eksploatacji urządzenia [34,35] można otoczenie układu podzielić na otoczenie łańcucha użytkowania i otoczenie łańcucha obsługiwanego. Zatem na urządzenie oddziałują czynniki środowiska użytkowania, jeżeli dane urządzenie jest pośrednikiem lub elementem pośrednika działania, albo czynniki środowiska obsługiwanego, jeżeli dane urządzenie jest przedmiotem lub elementem przedmiotu działania.

W pracach [26,24] wprowadza się dodatkowo pojęcie mikro- i makrootoczenia. Przez mikrootoczenie łańcucha użytkowania samochodu rozumie się zbiór czynników charakteryzujących jego użytkowanie, determinowanych zadaniami operacyjnymi przedsiębiorstwa transportowego. Do makrootoczenia zalicza się natomiast zbiór czynników terenowo-klimatycznych, na którym znajduje się baza transportu samochodowego.

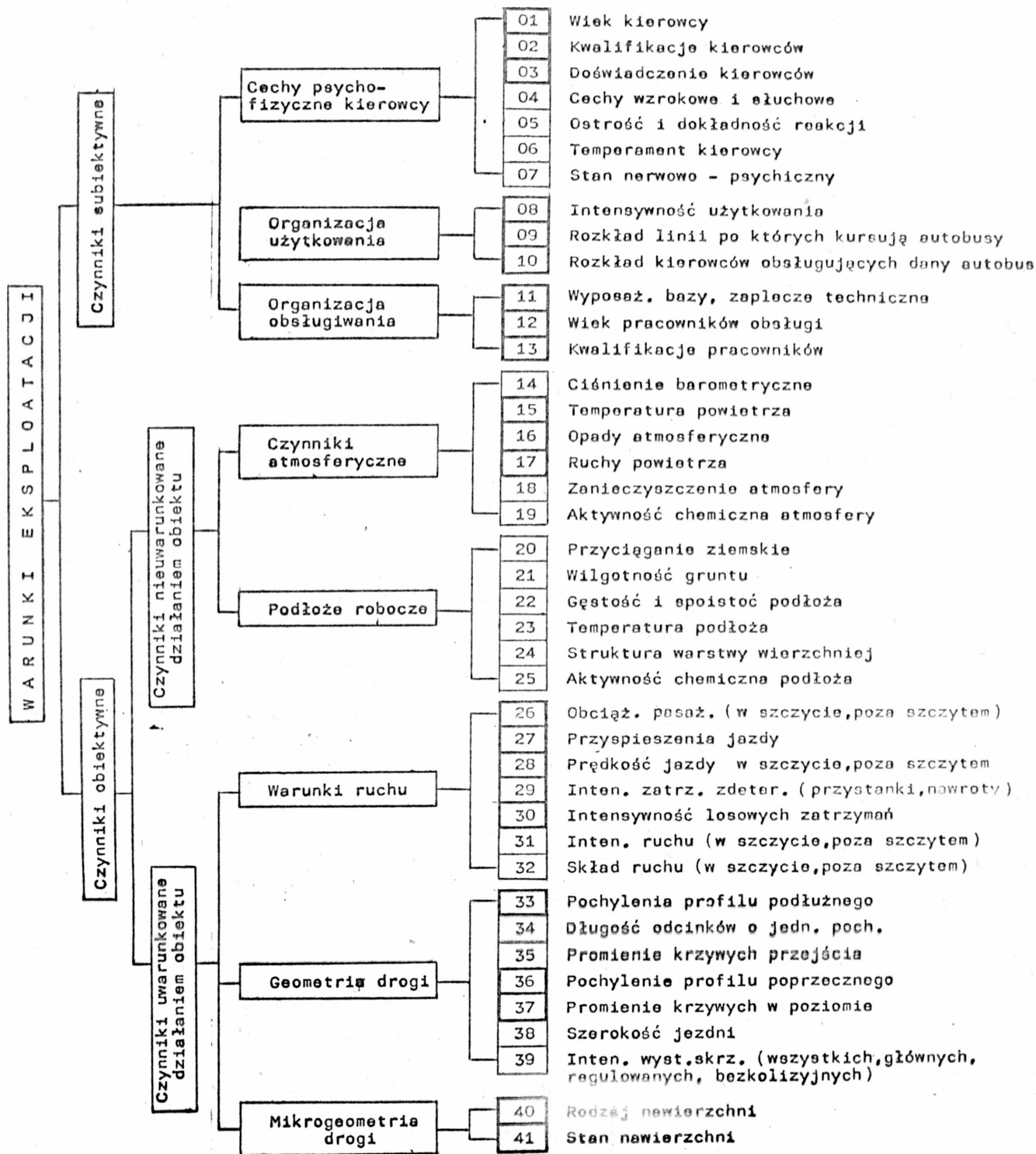
Podane definicje i klasyfikacje obejmują bardzo dużą i różnorodną liczbę czynników oddziałujących na eksploatowane urządzenie. Biorąc pod uwagę zasadniczy cel pracy, którym jest określenie wpływu warunków użytkowania na niezawodność pojazdu, w dalszych rozważaniach skupiono się na obiektywnych, wymuszonych, zewnętrznych, uwarunkowanych funkcjonowaniem obiektu charakterystykach mikrootoczenia procesu użytkowania.

Czynniki działające na pojazd samochodowy

W literaturze zagadnienia spotyka się wiele grup czynników charakteryzujących warunki eksploatacji pojazdu, dobieranych ze względu na cel prowadzonych badań. Wpływ warunków klimatyczno-atmosferycznych określają prace [1,25,30,37,64,62,72] .

W pracy [48] analizowano ruch pojazdu w warunkach górskich. Bardziej ogólne zbiory czynników wymuszających formułują prace [60,61,64,71]. Własności eksploatacyjne pojazdu uzależnia się od systemu: pojazd-droga-kierowca-otoczenia atmosferyczno-klimatyczne-obciążenie-warunki ruchu oraz od potencjalnych charakterystyk pojazdu. Prace [9,12,33,51,55,66] dotyczą warunków ruchu autobusu w mieście. Przyjmuje się, że podstawową wielkością opisującą warunki eksploatacji pojazdu na danym obszarze jest średnia prędkość poruszania się pojazdu. Najszerszą analizę warunków eksploatacji przeprowadzono w [52] .

W oparciu o przeprowadzoną wcześniej klasyfikację warunków eksploatacji uporządkowano czynniki wymuszające działające na pojazd i przedstawiono je schematycznie na rys.3. Wyróżniono czynniki poś-



- czynniki pośrednio lub bezpośrednio analizowane w pracy.

Rys.3. Czynniki oddziałujące na pojazd samochodowy w czasie eksploatacji.

rednio lub bezpośrednio analizowane w niniejszej pracy. Skupiono się głównie na czynnikach obiektywnych uwarunkowanych działaniem obiektu.

Warunki klimatyczno-atmosferyczne oraz czynniki subiektywne uwzględniono w niniejszej pracy na podstawie literatury [59] i badań prowadzonych przez inne zespoły badawcze [88,89,90] .

Badania warunków użytkowania prowadzono w 3 środowiskach wielkomiejskich: Warszawie, Katowicach i Wrocławiu. W katowickim wyróżniono 3 bazy Przedsiębiorstw Komunikacyjnych: w Gliwicach, Gołonogu i Tychach. Podane miejscowości wybrano ze względu na prowadzoną w nich kontrolowaną eksploatację autobusu miejskiego Jelcz PR 110 U.

Warunki klimatyczno-atmosferyczne

Podstawowe charakterystyki klimatyczno-atmosferyczne badanych środowisk zebrano w tabeli 1 i 2 [59] . Na podstawie przedstawionych danych i innych badań dotyczących wpływu warunków klimatyczno-atmosferycznych na uszkodzalność pojazdów [30,40,62,72] oraz uwzględniając specyficzne warunki użytkowania autobusu miejskiego, założono, że między badanymi środowiskami nie występują istotne różnice atmosferyczno-klimatyczne. Przyjęto, że wymienione czynniki w jednaki sposób wpływają na zużycie potencjału eksploatacyjnego pojazdu w poszczególnych środowiskach.

T a b e l a 1

Charakterystyki geograficzne badanych środowisk

Miasto	Dzielnica klimatyczna	Szer. geograf.	Dł. geograf.	Wys. n.p.m.
Wrocław	Doliny i pojezierza zachodniej Polski	51°08' N	16°59' E	116 m
Warszawa	Dolina Wisły	52°17' N	20°58' E	101 m
Katowice	Wyżyna Małopolska	50°18' N	19°03' E	236 m

T a b e l a 2

Charakterystyki klimatyczne badanych środowisk

Miasto	Średnie dobowe temp. w miesiącach		Prędkość średnia	Suma opadów	Liczba dni z opadami	Liczba dni z mgłą
	IV - IX	X - III				
	°C	°C	m/s	mm		
Warszawa	12,2	0,7	3,7	493,8	157	44
Wrocław	13,7	2,1	3,4	567,6	163	41
Katowice	13,9	-0,7	2,8	655,5	166	38

Organizacja procesu obsługiwaniania i użytkowania

Badania dotyczące analizy stanu organizacyjnego systemów użytkowania i obsługiwaniania autobusów Jelcz PR 110 U przedstawiono w pracach [89,90] . Ogólną charakterystykę warunków użytkowania taboru jezdneego podano w tabeli 3 [45] .

Z danych wynika, że pod względem ilości mieszkańców wyróżnia się środowisko katowickie 2947 tys.osób , pod względem ilości przewożonych pasażerów wyraźnie dominuje środowisko warszawskie 1 468 920 tys.osób na rok , a długość obsługiwanianych tras w środowisku katowickim 2287 km przewyższa znacznie długości obsługiwanianych tras w innych środowiskach. Najniekorzystniej przedstawia się nasycenie tras taborem w katowickim 0,9 wozu na 1 km trasy w stosunku do Warszawy 4,6 wozu na 1 km trasy . Największa praca przewozowa wykonywana jest w katowickim $1.672 \cdot 10^9$ pasażerokm . Tam także największa praca przypada na 1 autobus 777674 pas.km/wóz wobec średniej krajowej 5231492 pas.km/1 wóz .

W analizie porównawczej systemów eksploatacji autobusu Jelcz PR 110 U [90] uwzględniono grupy zagadnień dotyczące:

- struktur organizacyjnych badanych przedsiębiorstw,
- organizacji procesu użytkowania autobusów Jelcz PR 110 U ,
- stanu i zakresu wyposażenia zaplecza technicznego ,
- zaopatrzenia w materiały i części zamienne,
- procesu obsługowo-naprawczego autobusów Jelcz PR 110 U,
- wykorzystania elektronicznego przetwarzania danych w procesie eksploatacji autobusów Jelcz PR 110 U ,
- propozycji usprawnień w ocenie kierownictwa badanych środowisk.

W analizie organizacji procesu użytkowania uwzględniono dobieranie tras przewozowych najbardziej odpowiednich ze względu na wymagania odnośnie do konstrukcji i eksploatacji autobusu, stosowanie zasady doboru kierowców o najwyższych kwalifikacjach, przyporządkowanie kierowców do autobusu, analizowanie użytkowania pojazdu przy pomocy zapisów fachografów.

Wyniki analizy zestawiono w tabeli 4. Za [89,90] można przyjąć, że w badanych środowiskach z wyjątkiem początkowego okresu wprowadzania autobusów autobusy Jelcz PR 110 U traktowane są w procesie użytkowania i obsługiwaniania na tych samych zasadach.

T a b e l a 3

Ogólna charakterystyka warunków użytkowania taboru jezdnego
w przedsiębiorstwach komunikacji

Srodowisko	Ilość obsługi wanych miesz - kańców	Przewóz pasażerów	Praca przewozowa	Ilość wozów */	Długość tras ogółem	Nasyce - nie tras taboru	Ilość miesz - kańców na w wóz	Praca przewo - zowa na 1 wóz
	tys.osób	tys.osób	pas.x km	szt	km	szt/km	osób/ aut.	pas. x km/aut.
Kraj	14891	6855339	$890,4 \times 10^2$	17020	12989	1,3	875	$5,23 \times 10^6$
Warszawa	1574	1468920	$9,99 \times 10^8$	3114	680	4,6	505	$0,32 \times 10^6$
Wrocław	592	346174	$1,32 \times 10^8$	823	382	2,1	719	$0,16 \times 10^6$
Katowice	2947	731117	$16,72 \times 10^8$	2150	2287	0,9	1371	$0,78 \times 10^6$

*/ według stanu inwentarzowego na 31.12.1977 r.

T a b e l a 4

Stopień realizacji postulatów dotyczących
organizacji użytkowania autobusów

Lp.	Wyszczególnienie	Środowisko				
		Wro- cław	W-wa	Gołó nóg	Tychy	Gliwi ce
1	Dobieranie trasy	-	-	-	-	-
2	Dobieranie kierowców	-	-	-	-	-
3	Badanie potoków pasażerskich	-	+	-	-	-
4	Badanie tachografów	-	-	-	-	-
5	Przypisanie kierowcy do aut.	-	-	-	-	-
6	Pełne zatrudnienie	-	-	+ -	+ -	+ -

"+" - oznacza "występuje"

Czynnik ludzki

Problem wpływu cech psycho-fizycznych pracowników na niezawodność autobusu rozpatrzono w pracy [91]*. Z przeprowadzonych badań wynika m.in., że sposób doboru i szkolenia kandydatów na kierowców autobusów Jelcz PR 110 V jest wszędzie podobny. Z reguły kandydaci na kierowców przechodzą odpowiednie kursy w macierzystych ośrodkach szkoleniowych. Struktura zatrudnienia kierowców w analizowanych zakładach w odniesieniu do ogółu zatrudnionych przedstawia się następująco:

Wrocław	- 62,9 %
Warszawa	- 55,3 %
Gołonóg	- 47,4 %
Tychy	- 51,9 %

Analizując strukturę społeczno-demograficzną kierowców i pracowników obsługi w poszczególnych zakładach komunikacji brano pod uwagę takie cechy jak: płeć, stan cywilny, wiek, pochodzenie społeczne, przynależność do organizacji społ.-politycznych, miejsce zamieszkania, poziom wykształcenia i rodzaj kwalifikacji zawodowych, kate-

*w pracy [91] nie analizowano bazy w Gliwicach.

gorie prawa jazdy (dotyczy kierowców), staż pracy, grupę osobistego zaszeregowania, czas pracy.

Stwierdzone podczas badań zależności potwierdziły słusność hipotezy, że niezawodność autobusów Jelcz PR 110 U zależy nie tylko od czynnika technicznego, lecz również od czynnika ludzkiego.

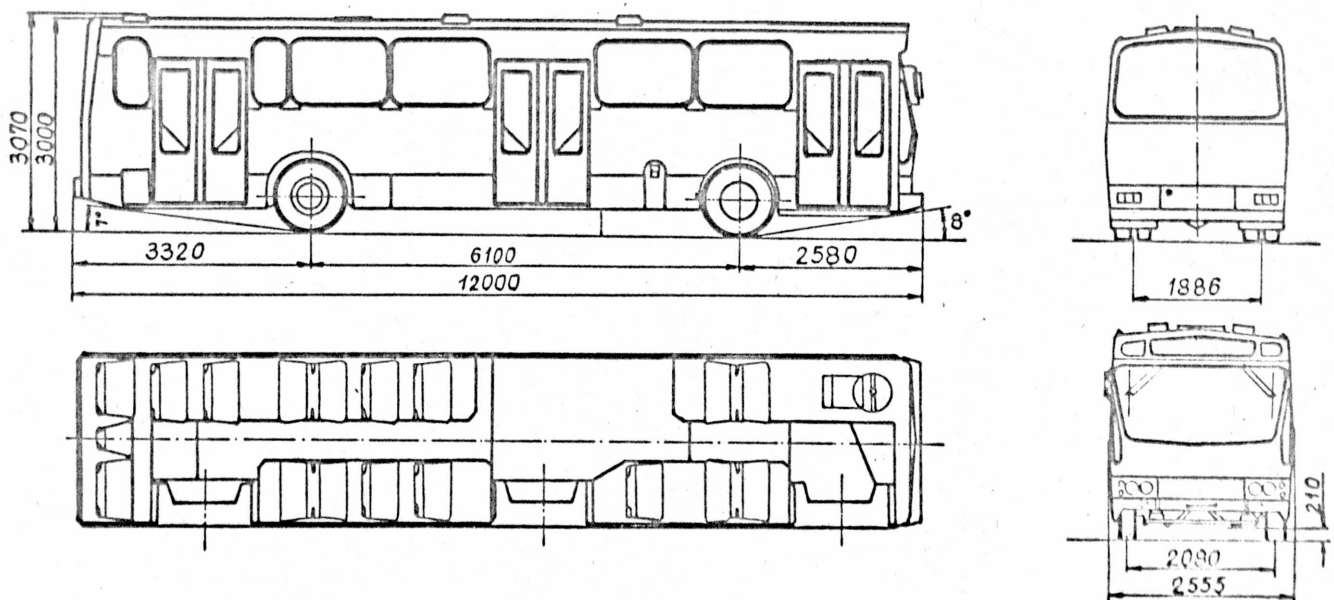
Jednocześnie wykazały one brak istotnych różnic analizowanych cech między poszczególnymi środowiskami. Tylko staż pracy związany z obsługą PR 110 jest bardzo różny w obserwowanych zakładach, gdyż zależy od terminu dostawy tych autobusów do zakładów komunikacyjnych.

Wobec dużej zgodności omawianych czynników w badanych środowiskach, w niniejszej pracy założono, że o istotnych różnicach niezawodności pojazdu decydują warunki ruchu i obciążenie pojazdu oraz że te wymuszenia najlepiej charakteryzują warunki użytkowania autobusu miejskiego.

2.3. Obiekt badań

Autobus Jelcz PR 110 U jest pojazdem przeznaczonym do komunikacji miejskiej. Produkowany jest przez Jelczańskie Zakłady Samochodowe w Jelczu k. Oławy na licencji firmy Berliet.

Zasadnicze dane techniczne [28,31] autobusu zebrano w tabeli 5 i na rys. 4,44,45.



Rys.4. Autobus miejski Jelcz PR 110 U

Dane techniczne autobusu Jelcz PR 110 U

Kod układu	Charakterystyka
07	Sprzęgło: jednotarczowe suche wspomagane pneumatycznie
08	Skrzynia biegów: typ - ZF S4-95 ilość przełożeń - 4 sterowanie - mechaniczne
10	Mosty tylny: - hypoidalny, zwolnice w kołach typ konstrukcji - Banjo wykonane z żeliwa sferoidalnego
11	Układ hamulcowy /schemat - rys. 43/ hamulec główny - pneumatyczny, dwuobwodowy hamulec postojowy - pneumatyczny na tylnych kołach hamulec bezpieczeństwa - zahamowany przy braku ciśnienia w układzie hamulcowym
12	Koła jezdne: - bliźniacze z tyłu, pojedyncze z przodu ogumienie - 20 - 7,50 /10.00 R 20
13	Układ kierowniczy: wspomaganie - hydrauliczne ZF typ 80.65 Nr 9552 19
14	Zawieszenie i stabilizacja przednia: typ - koła niezależne rodzaj zawieszenia - resory powietrzne typu rękaw z osłoną + resory stalowe śrubowe kompensacja wysokości zawieszenia - 2 zawory poziomujące f-my WABCO WESTINGHOUSE /lewy i prawy/
15	Zawieszenie i stabilizacja tylna: rodzaj zawieszenia - resory powietrzne typu rękaw z osłoną + resory stalowe piórowe kompensacja wysokości zawieszenia - 1 zawór poziomujący firmy WABCO WESTINGHOUSE
18	Ogrzewanie i wentylacja /schemat - rys. 44/ : ogrzewanie - wodno-powietrzne, instalacja wodna włączona w układ chłodzenia silnika + podgrzewacz spalinowy typu Sirocco, 3 nagrzewnice wnętrza, , 3 nagrzewnice stopni, nagrzewnica szyby przedniej, wietrzenie - oknami, 2 nawiewy czołowe + 6 wentylatorów elektrycznych nawietrzających, 2 klapy dachowe nawiewne

Identyfikacja kodowa układów autobusu
Jelcz PR 110 U wraz z tablicami wg katalogów
silnika i autobusu

Nr układu	Nazwa układu	Numery tablic
01	Silnik - całość	001 - 079
02	Zespoły główne silnika	001 - 027
03	Zespół zasilania	028 - 047
04	Układ smarowania	048 - 068
05	Układ chłodzenia	069 - 077
06	Układ wydechu	078 - 079
07	Sprzęgło	080 - 085
08	Skrzynia biegów	086 - 092
09	Oś przednia	093 - 095
10	Tylny most	098 - 103
11	Układ hamulcowy	096, 097, 104, 105 107 - 117, 136
12	Koła jezdne	106
13	Układ kierowniczy	118 - 126
14	Zawieszenie i stabilizacja przednia	127 - 130
15	Zawieszenie i stabilizacja tylna	131 - 133
16	Wał napędowy	134
17	Układ pneumatyczny	136 - 137
18	Ogrzewanie i wentylacja	138 - 141, 168 - 170
19	Układ elektryczny	142 - 149, 177 - 179
20	Nadwozie	150 - 167, 171 - 176
21	Szkielet	

Podział autobusu Jelcz PR 110 U na układy funkcjonalne przedstawiono w załączniku Z1.

Zastosowano kod oznaczenia elementu składający się z:

- 3 cyfrowego numeru tablicy "katalogu części zamiennych" ,
- 2 cyfrowego numeru układu,
- 2 cyfrowego numeru części w tablicy "katalogu części zamiennych".

Do kodowania elementów adaptowano katalogi części zamiennych:

- silnika SW 680/H ,
- autobusu miejskiego PR 110 U.

W pracy założono, że uszkodzenie dowolnego elementu powoduje uszkodzenie samochodu identyfikowane jako utrata stanu zdolności.

Przyjęto, że:

- uszkodzenie dwóch lub więcej elementów przy tym samym przebiegu stanowi jedno uszkodzenie układu,
- uszkodzenie dwóch lub więcej układów przy tym samym przebiegu stanowi jedno uszkodzenie pojazdu,
- równoczesna naprawa dwóch lub więcej elementów układu stanowi jedną naprawę tego układu,
- równoczesna naprawa dwóch lub więcej układów stanowi jedną naprawę pojazdu.

Model niezawodności pojazdu

Ocena niezawodności pojazdu w eksploatacji opiera się na zmianie wartości wskaźników niezawodności w zależności od przebiegu samochodu, układów i elementów. Ilościowa ocena niezawodności pojazdu rozpatrywana jest w sposób probabilistyczny, jako prawdopodobieństwo spełnienia określonych wymagań systemu eksploatacji.

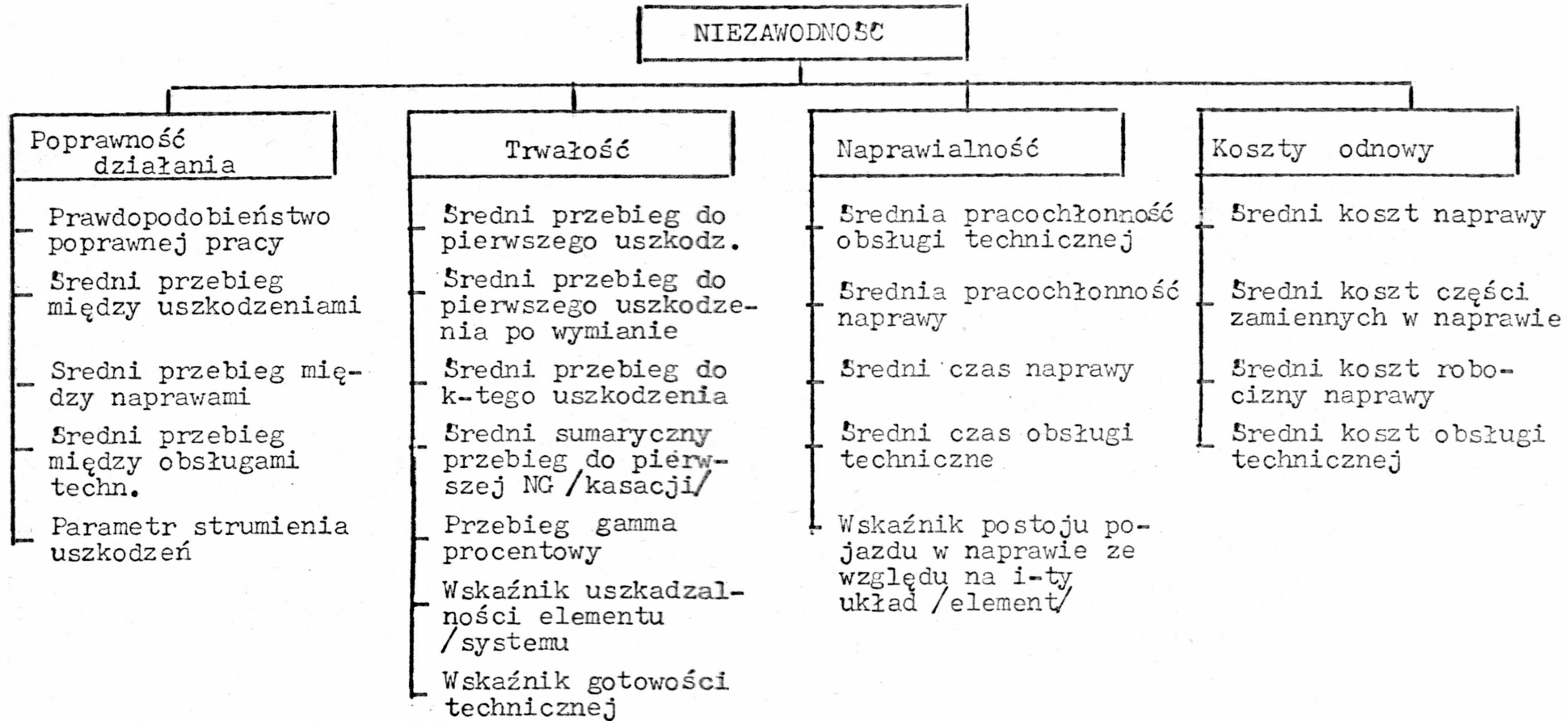
Uszkodzalność samochodu i jego elementów w eksploatacji charakteryzowana jest przede wszystkim przez [26] :

- poprawność działania ,
- trwałość ,
- naprawialność.

W oparciu o prowadzone badania [70-87] i literaturę zagadnienia [6,10,20,39,42,36,58,64] zbudowano zbiorczą tabelę charakterystyk niezawodności pojazdu (tabela 7) . W zbiorze charakterystyk wydzielono 4 klasy wskaźników niezawodności. Proces użytkowania określają: trwałość i poprawność działania, a proces obsługiwanie - naprawialność i koszty odnowy.

Omówiony w p.6,2 system zbierania i przetwarzania informacji o eksploatacji pojazdu umożliwia obliczenie wszystkich podanych w tabeli 7 charakterystyk.

Charakterystyki niezawodności pojazdu

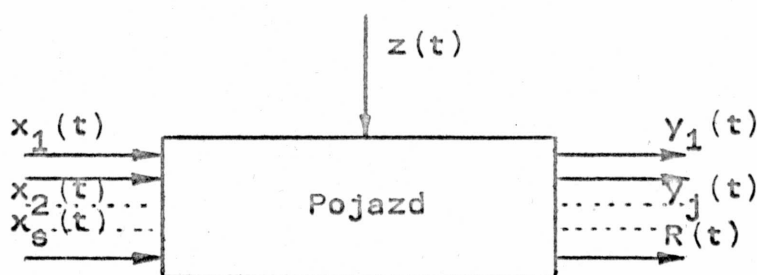


3. TEZA , CEL I PROGRAM PRACY

W oparciu o przesłanki teoretyczne i przeprowadzone rozeznanie problemu sformułowano tezę pracy:

Warunki użytkowania autobusów komunikacji miejskiej w Polsce różnią się obiektywnie w środowiskach eksploatacji oraz mają istotny wpływ na niezawodność pojazdu.

W celu udowodnienia tezy przyjęto, że na badany pojazd działa s wymuszeń $x_1(t), \dots, x_s(t)$ charakteryzujących warunki użytkowania pojazdu oraz niemierzalne zakłócenie $z(t)$. (rys.5) . Odpowiedzią systemu są wyjścia $y_1(t), \dots, y_p(t)$, z których jedno ma sens niezawodności obiektu, a funkcja $R(t) = f [x_1(t), \dots, x_s(t), z(t)]$ określa wpływ warunków użytkowania na niezawodność pojazdu.

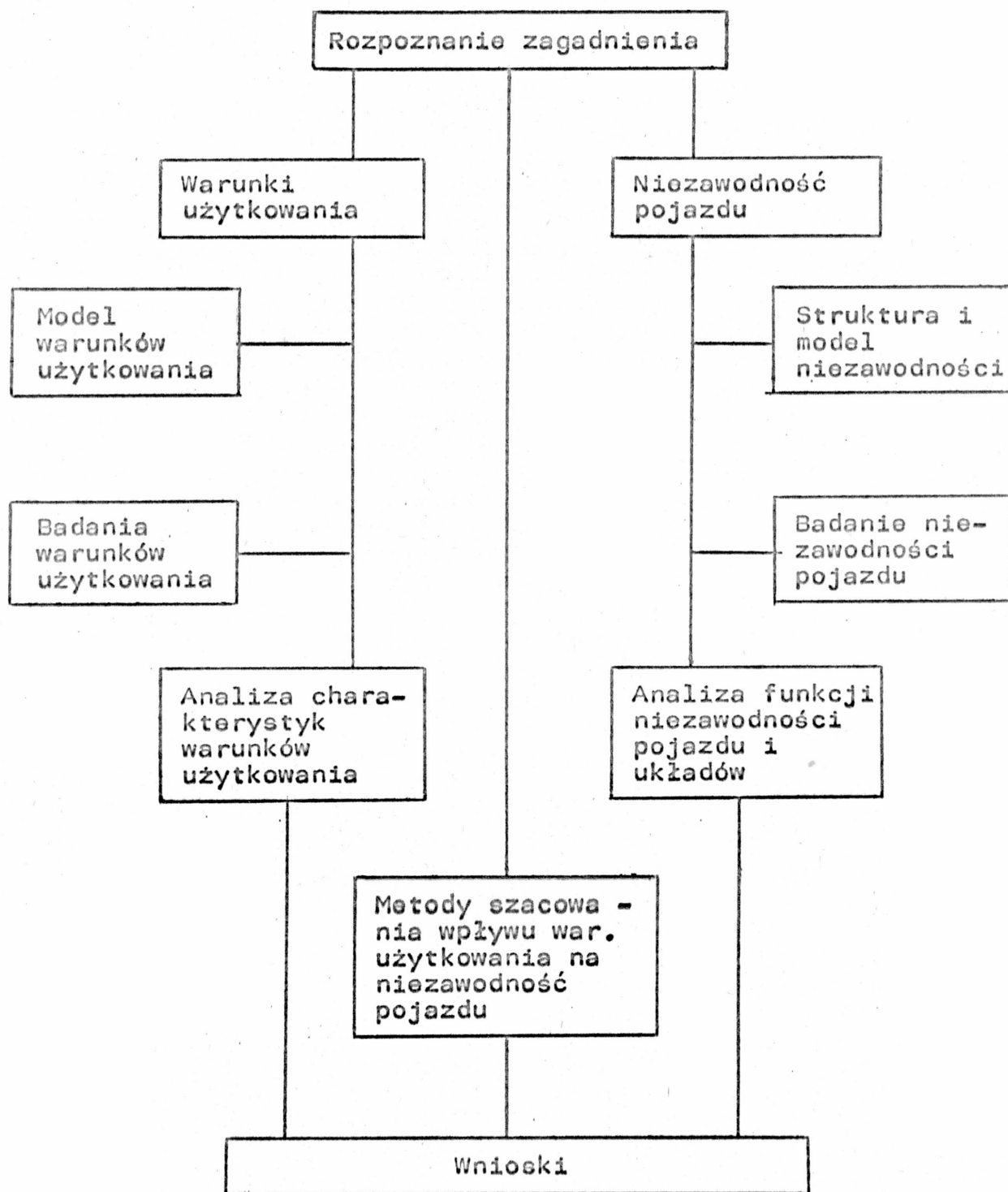


- $x_1(t), x_2(t), \dots, x_s(t)$ - charakterystyki warunków użytkowania
 $y_1(t), \dots, y_j(t)$ - charakterystyki wyjściowe modelu poza
 obzarem zainteresowań
 $R(t)$ - funkcja niezawodności pojazdu
 $z(t)$ - zakłócenia niemierzalne

Rys.5. Sformułowanie problemu.

Na podstawie tak sformułowanego problemu przyjęto program pracy przedstawiony na rys.6 . W programie wyróżniono 3 podstawowe zagadnienia wymagające rozwiązania:

- zcharakteryzowanie warunków użytkowania pojazdu,
- określenie niezawodności pojazdu, jego układów i elementów,
- oszacowanie wpływu warunków użytkowania pojazdu na jego uszkodzalność.



Rys.6. Program pracy

Postawiono następujące cele pracy:

- opracowanie modelu warunków użytkowania pojazdu,
- opracowanie metody pomiaru charakterystyk warunków użytkowania,
- przeprowadzenie odpowiednich pomiarów,
- wnioskowanie o różnicach między warunkami użytkowania w środo-

- wiskach eksploatacji,
- opracowanie systemu zbierania i przetwarzania danych o eksploatacji pojazdów,
 - zebranie danych o niezawodności pojazdu,
 - określenie teoretycznych rozkładów niezawodności pojazdu, jego układów i elementów,
 - oszacowanie wpływu warunków użytkowania na niezawodność pojazdu.

4. MODEL WARUNKÓW UŻYTKOWANIA POJAZDU

W pracy przyjęto, że na warunki użytkowania pojazdu składają się warunki ruchu pojazdu, obciążenie zewnętrzne pojazdu, warunki klimatyczno-atmosferyczne oraz czynniki subiektywne wynikające z działalności człowieka.

Na podstawie przeprowadzonego rozeznania założono podobieństwo czynników subiektywnych w badanych środowiskach i analizowano wyłącznie czynniki obiektywne.

Aby przeanalizować warunki ruchu pojazdu skorzystano z opisu ruchu pojazdu w przestrzennym układzie współrzędnych x_0, y_0, z_0 [29, 48]. Układ x_0, y_0, z_0 jest układem stałym, natomiast układ x, y, z jest związany na stałe z nadwoziem, jego początek znajduje się w punkcie środka ciężkości (rys.7). Założono, że warunki ruchu pojazdu można przedstawić w postaci procesów stochastycznych $X(t)$, $Y(t)$, $Z(t)$, $\Phi(t)$, $\Psi(t)$, $E(t)$. Interpretacje tych procesów przedstawiono w tabeli 8.

Warunkami ruchu $W(t)$ nazwano więc zbiór realizacji chwilowych procesów stochastycznych poszczególnych czynników wymuszających $x_i(t)$:

$$W(t) = \{x_i(t)\} = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)] \quad (13)$$

W celu opisanie procesu stochastycznego $X(t, \gamma)$ w n dowolnych chwilach czasu $t_1, t_2, \dots, t_n$ wprowadza się n -wymiarowe rozkłady prawdopodobieństwa zdefiniowane wzorem [63] :

$$F_x(x_1, \dots, x_n, t_1, \dots, t_n) \stackrel{\text{def}}{=} P \left[\left\{ \gamma : x(t_1, \gamma) < x_1, \dots, x(t_n, \gamma) < x_n, \right. \right. \\ \left. \left. t_1, \dots, t_n \in T \right\} \right] \quad (14)$$

Ponieważ posługiwanie się wielowymiarowymi rozkładami gęstości jest zbyt skomplikowane, najczęściej stosuje się [53,74] prostsze charakterystyki procesu stacjonarnego, które jednak na ogół nie wyznaczają rozkładów n-wymiarowych procesu. Są nimi momenty różnych rzędów, z których najważniejszymi ze względu na zastosowania są momenty pierwszego i drugiego rzędu. Ponadto bardzo istotnymi właściwościami procesów stochastycznych są ich stacjonarność i ergodyczność.

Użyte w pracy charakterystyki procesów podano w załączniku Z2.

W oparciu o charakterystyki procesu stochastycznego założono, że pełny opis warunków ruchu pojazdu dla procesów stacjonarnych i ergodycznych zawiera macierz postaci:

$$W = \begin{bmatrix} \bar{x} & \sigma_x & R_{XX}(\tau) & R_{XY}(\tau) & R_{XZ}(\tau) & R_{X\psi}(\tau) & R_{X\Phi}(\tau) & R_{XE}(\tau) \\ \bar{y} & \sigma_y & R_{YY}(\tau) & R_{YZ}(\tau) & R_{Y\psi}(\tau) & R_{Y\Phi}(\tau) & R_{YE}(\tau) & \\ \bar{z} & \sigma_z & R_{ZZ}(\tau) & R_{Z\psi}(\tau) & R_{Z\Phi}(\tau) & R_{ZE}(\tau) & & \\ \bar{\psi} & \sigma_\psi & R_{\psi\psi}(\tau) & R_{\psi\Phi}(\tau) & R_{\psi E}(\tau) & & & \\ \bar{\Phi} & \sigma_\Phi & R_{\Phi\Phi}(\tau) & R_{\Phi E}(\tau) & & & & \\ \bar{E} & \sigma_E & R_{EE}(\tau) & & & & & \end{bmatrix} \quad (15)$$

Uwzględniając specyfikę ruchu autobusu miejskiego, poziomy przekrój poprzeczny i podłużny ulic i pomijając ruchy szkodliwe, można macierz zawęzić do:

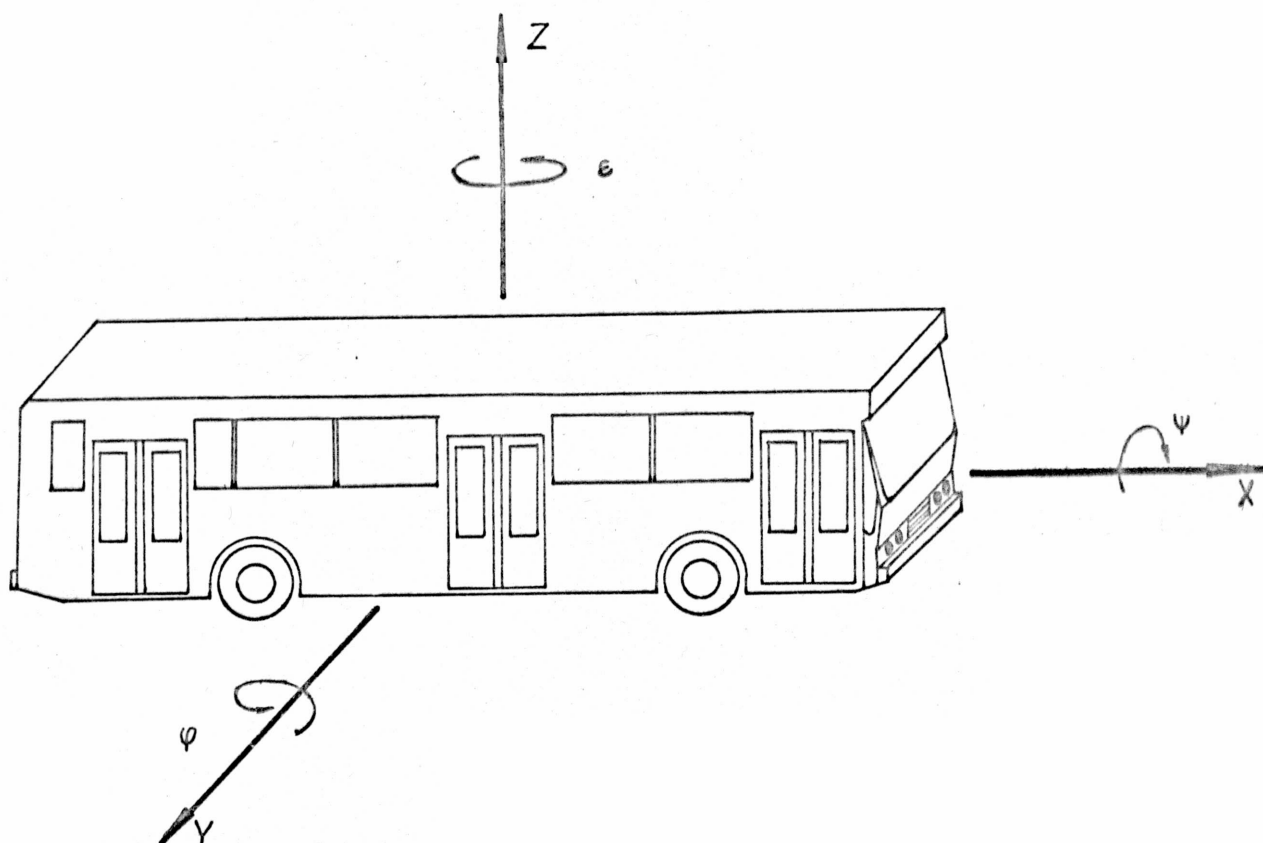
$$W' = \begin{bmatrix} \bar{x} & \sigma_x & R_{XX}(\tau) & R_{XZ}(\tau) & R_{XE}(\tau) \\ \bar{z} & \sigma_z & R_{ZZ}(\tau) & R_{ZE}(\tau) & \\ \bar{E} & \sigma_E & R_{EE}(\tau) & & \end{bmatrix} \quad (16)$$

5. BADANIE WARUNKÓW UŻYTKOWANIA AUTOBUSU MIEJSKIEGO

Badane środowiska eksploatacji zakodowano liczbami 11,21,31,32, 33. Podana kolejność kodów nie jest zgodna z kolejnością nazw środowisk podaną poprzednio. Ze względu na cel pracy, przedstawione dalej badania warunków użytkowania autobusu i ich wyniki dotyczą tylko badanej grupy pojazdów, a nie całego środowiska miejskiego.

Interpretacja procesów charakteryzujących warunki
ruchu procesów

Proces	Interpretacja
$X(t)$	jazda na wprost, prędkość jazdy, przyspieszenie ruchu, opory ruchu
$Y(t)$	poślizgi boczne, odchylenie od kierunku jazdy
$Z(t)$	unoszenie i opadanie pojazdu, drgania pionowe pojazdu
$\Psi(t)$	kołysanie poprzeczne, pochylenie nadwozia wywołane poprzecznym przekrojem drogi lub siłą bezwładności
$\Phi(t)$	kołysanie podłużne, unoszenie lub opadanie wywołane przekrojem podłużnym drogi lub siłą bezwładności
$E(t)$	skręcanie z kierunku jazdy, zarzucanie przy poślizgu kół na jezdni



Rys.7. Układ współrzędnych ruchu pojazdu

5.1. Metoda pomiaru charakterystyk warunków ruchu autobusu miejskiego

Warunki ruchu pojazdu zbadano wprowadzając do systemu eksploatacji w poszczególnych środowiskach specjalnie wyposażony autobus pomiarowy [88,92] . Podczas pomiarów przyjęto zasadę możliwie wier- nego odtworzenia rzeczywistych warunków użytkowania. Na podstawie [46] założono, że warunki użytkowania autobusu miejskiego w danym środowisku zależą od:

- trasy autobusu,
- okresu kalendarzowego (dzień, miesiąc) ,
- pory dnia ,
- kwalifikacji kierowcy.

W celu uzyskania podstaw do porównywania warunków użytkowania i wnioskowania na podstawie wyników pomiarów, wprowadzono następujące kryteria [88] :

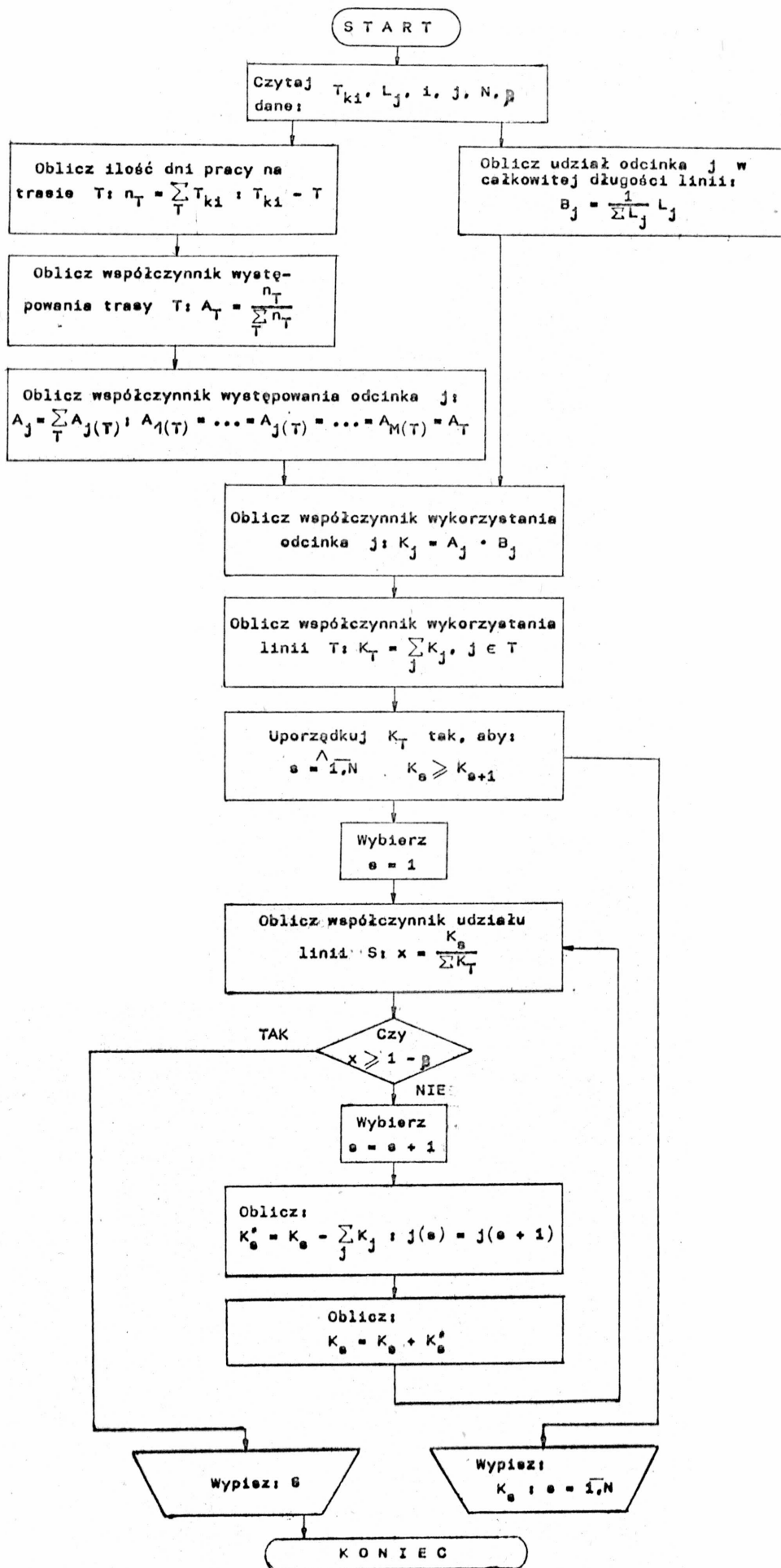
- kryterium wyboru trasy,
- kryterium wyboru okresu kalendarzowego,
- kryterium wyboru pory dnia,
- kryterium wyboru kierowcy.

Kryterium wyboru trasy

Do określenia linii reprezentatywnych w danym środowisku eksploatacji zbudowano algorytm wyboru tras pomiarowych (rys.8) . W algo- rytmie tym korzysta się z następujących danych:

- T_{ki} - numer trasy komunikacyjnej obsługiwanej przez k-ty autobus w i-tym dniu badań,
- L_j - długość j-tego odcinka trasy, na której użytkowane są auto- busy objęte programem badań,
- N - ilość badanych linii,
- i - numer dnia, w którym prowadzono badania,
- j - numer odcinka trasy,
- β - założony błąd pomiaru.

Algorytm wyboru trasy opiera się na zasadzie pomiaru odcinków linii obsługiwanych przez badane autobusy z największą intensywnością. Każdemu odcinkowi j trasy T przyporządkowano wsp. występowania odcinka A_j i współczynnik udziału odcinka B_j . Na ich podstawie obli- czono współczynnik wykorzystania linii T K_T . Do badań wybrano linie komunikacyjne o największym współczynniku K_T .



Rys. 8 . Algorytm wyboru trasy pomiarowej autobusu miejskiego.

Przez błąd pomiaru rozumiano stosunek sumy wsp. K_T nie objętych badaniami do sumy wsp. K_T wszystkich analizowanych tras.

Algorytm pozwala na określenie tras pomiarowych w oparciu o łatwo dostępne dane np. karty drogowe bez konieczności prowadzenia dodatkowych badań. Jego stosowanie umożliwia specyficzna organizacja procesu użytkowania w przedsiębiorstwach komunikacji miejskiej polegająca na przyporządkowaniu każdemu zakładowi określonego zbioru linii.

Kryterium wyboru okresu kalendarzowego

Termin badań ustalono biorąc pod uwagę:

- porównywalność wyników tzn. prowadzenie pomiarów w zbliżonym okresie czasu w poszczególnych środowiskach, w najczęściej spotykanych warunkach atmosferycznych, przy typowej strukturze strumieni pasażerskich,
- zagadnienia organizacji badań.

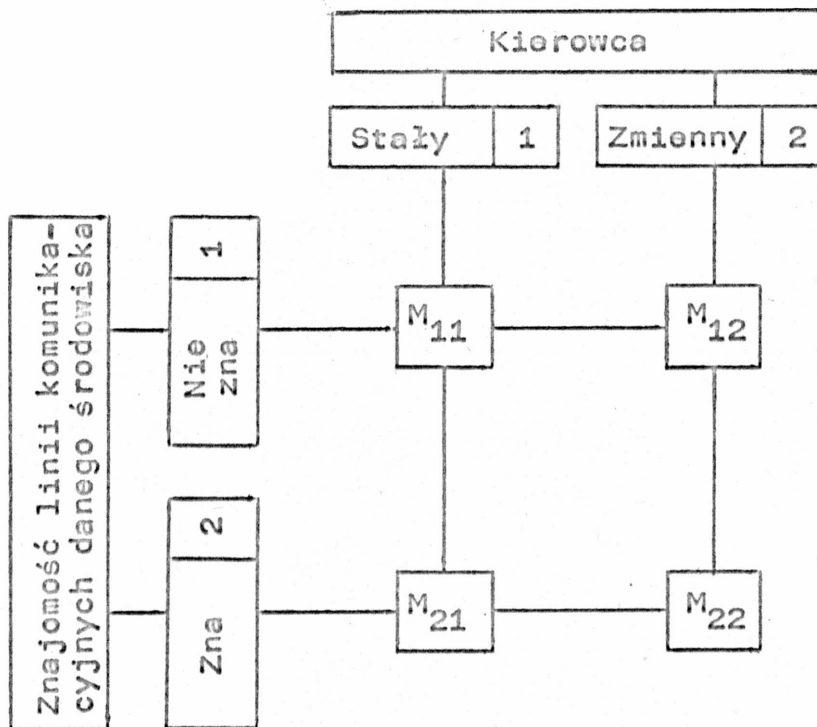
Kryterium wyboru pory dnia

Ze względu na istotne zróżnicowanie intensywności ruchu pojazdów i wielkości strumieni pasażerskich w okresie szczytu komunikacyjnego i poza nim, postanowiono każdą linię pomiarową badać dwukrotnie: w okresie szczytu i poza nim. Ponieważ pomiar warunków ruchu w szczycie popołudniowym jest łatwiejszy (szczyt ten trwa dłużej i jest mniej "ukierunkowany" niż ranny), zdecydowano się na prowadzenie pomiarów między szczytami i w szczycie popołudniowym.

Kryterium wyboru kierowcy

W badaniach należało wyeliminować wpływ kierowcy na inne charakterystyki procesu użytkowania. Rozpatrzono cztery możliwości wyboru kierowcy, uwzględniając znajomość przez niego tras komunikacyjnych w danym środowisku i zmienność kierowcy obsługującego autobus pomiarowy. Możliwości wyboru $M_{i,j}$ ($i = 1,2$; $j = 1,2$) przedstawiono na rys.9.

Najkorzystniejsza możliwość $M_{2,1}$ jest praktycznie nie do zrealizowania. Z możliwości $M_{1,1}$ i $M_{2,2}$, po wstępnych badaniach i ustaleniach w Przedsiębiorstwach Komunikacyjnych, wybrano możliwość $M_{2,2}$. Zdecydowano, że w poszczególnych środowiskach autobus będzie prowadził jeden i ten sam kierowca, wysokokwalifikowany, z dużym stażem pracy, pracujący w przedsiębiorstwie komunikacyjnym jako instruktor.



Rys.9. Możliwości wyboru kierowcy do autobusu pomiarowego.

5.2. System pomiarowo-rejestrujący

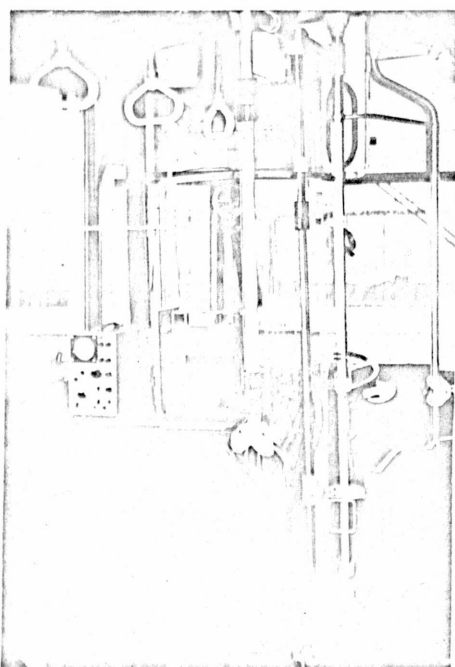
W celu prowadzenia pomiarów parametrów użytkowania wyposażono w aparaturę pomiarowo-rejestrującą autobus PR 110 U fazy B, eksploatowany w rzeczywistych warunkach użytkowania i obsługi w środowisku 11. Przebieg autobusu przed pomiarami wynosił około 120 000 km. Pojazd był w stanie zdatności. Przystosowanie autobusu do badań polegało na:

- zbudowaniu kabiny pomiarowej po lewej stronie autobusu, za przedziałem kierowcy (rys.10),
- zainstalowaniu w kabinie specjalnego stolika aparatury pomiarowo-rejestrującej (rys.11),
- zbudowania w autobusie odpowiednich czujników i połączeniu ich z blokiem przetworników,
- wmontowaniu za fotelem kierowcy dodatkowej baterii akumulatorów.

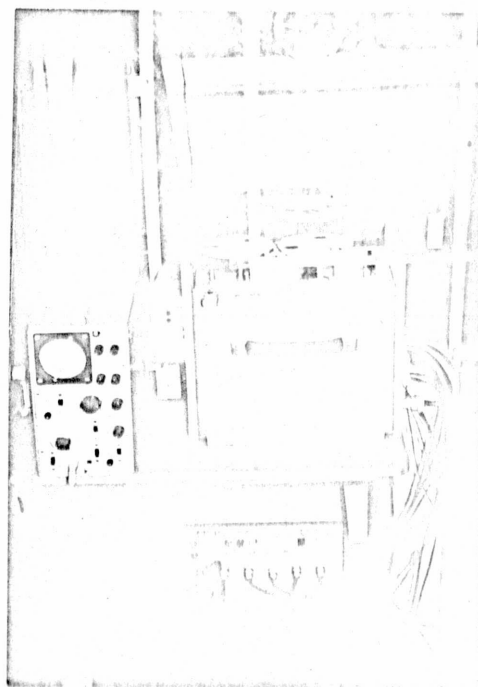
Schemat systemu pomiarowo-rejestrującego przedstawiono na rys.12.

Układ pomiarowy umożliwiał rejestrację następujących przebiegów :

- 1 - czasu pomiaru ,
- 2 - drogi przejechanej przez pojazd,
- 3 - prędkości jazdy ,



Rys.10. Kabina pomiarowa



Rys.11. Aparatura rejestrująca

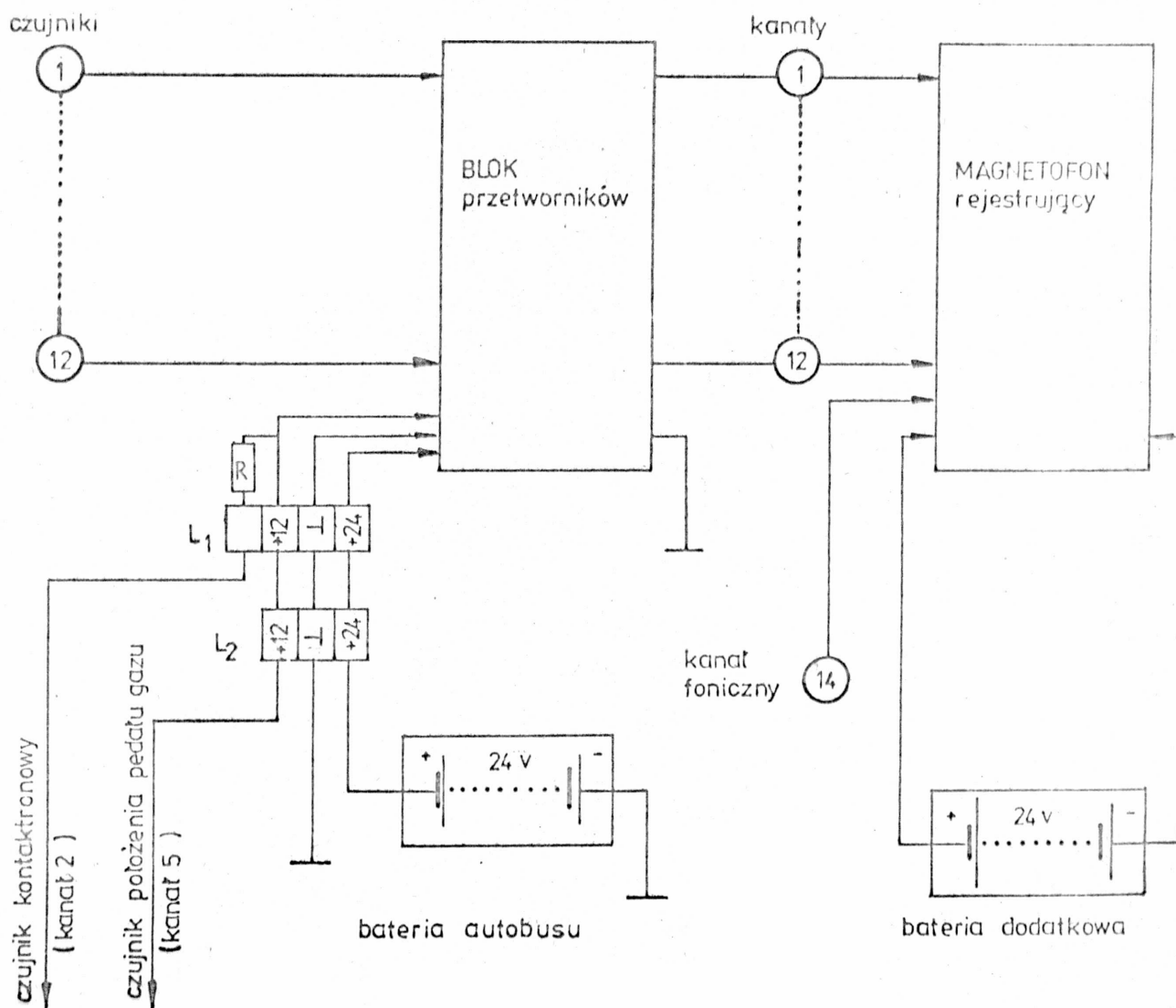
- 4 - obciążenia pojazdu,
- 5 - rodzaju i stanu nawierzchni po której porusza się pojazd,
- 6 - krętości trasy ,
- 7 - prędkości obrotowej silnika,
- 8 - położenia pedału przyspiesznika,
- 9 - ciśnienia oleju,
- 10 - ciśnienia hamowania,
- 11 - temperatury cieczy chłodzącej,
- 12 - temperatury oleju,
- 13 - temperatury spalin.

Stan i rodzaj nawierzchni kodowano według zasad podanych w tabeli 9. Osoba prowadząca pomiary rejestrowała informacje na kanale fonicznym magnetofonu kanał 14 , rys.12 .

Schematy układów pomiarowych omówiono szczegółowo w [92] , a rozmieszczenie i skalowanie czujników podano w [88 i 92] .

Sposób kodowania stanu nawierzchni drogi

Kod	Stan nawierzchni	% zużycia	Wygląd nawierzchni	
			z kostki kamiennej i klinkieru	bitumicznej
5	dobry	0 - 10	nawierzchnia równa, naroża kamieni regularne	nawierzchnia bez pęknięć i uszkodzeń
4	zadawalający	10- 30	naroża kamieni zaokrąglone z uwypukloną częścią środkową, brak widocznych wybojów	nawierzchnia popękana, lecz bez widocznych wybojów
3	niezadawalający	30- 40	widoczne wyboje, kamienie tracą regularny kształt, częściowa deformacja warstwy nośnej	nawierzchnia popękana, warstwa nośna częściowo osiadła, widoczne nieduże wyboje
2	zły	40- 60	profil zniekształcony, znaczna deformacja warstwy nośnej	liczne wyboje w nawierzchni, częściowa deformacja warstwy nośnej
1	bardzo zły	powyżej 60	zupełna deformacja profilu, warstwa nośna osiadła i uległa zniszczeniu	nawierzchnia zniszczona, warstwa nośna osiadła i uległa deformacji



Rys.12. Schemat systemu pomiarowo-rejestrującego

5.3. Przebieg pomiarów

Pomiary przeprowadzono według następujących zasad:

- pomiary prowadzono w dni powszednie ,
- każdego dnia badano inną linię autobusową,
- każdą trasę badano czterokrotnie (2 razy, w godz. 10⁰⁰-12⁰⁰ i 2 razy w godz. 15⁰⁰-17⁰⁰) . W środowiskach katowickich, ze względu na duże długości linii, wykonano po jednym przejeździe w szczycie i poza nim,
- autobus wyposażony był w normalne tablice informacyjne, kasowniki, obsługę itp.,
- rejestracji parametrów dokonano podczas normalnej jazdy kursowej. W miejsce autobusu kursowego włączono na końcówce linii

do ruchu autobus pomiarowy,

- w danym środowisku autobus prowadził jeden i ten sam kierowca -
- instruktor z dużym stażem pracy (15-22 lata),
- autobus obsługiwany był w zajezdni, w której aktualnie był użytkowany.

Łączny czas badań wynosił około 35 godzin, a długość tras pomiarowych prawie 1000 km. Przykładowy wynik pomiaru (nr 44) pokazano na rys.13.

Przeprowadzono go na odcinku trasy o jezdni dwupasmowej i nawierzchni asfaltowej w dobrym stanie. Podczas pomiaru rejestrowano parametry 1-10.

5.4. Opracowanie wyników pomiarów

Wyniki badań uzyskano w postaci wykresów zmian parametrów $\{X_i\}$ ($i=1, \dots, 7$) w funkcji czasu:

$$X_i = X_i(t)$$

Analizę wyników prowadzono w celu uzyskania rozkładu prawdopodobieństwa cechy X_i :

$$F(x_i) = P(X_i > x_i) \quad (17)$$

oraz rozkładu prawdopodobieństwa czasu t lub drogi l przy ustalonych wartościach lub przedziałach wartości zmiennej losowej X_i :

$$F(t_{X_i(t)=x_i}) = P(T > t / X_i(t) = x_i) \quad (18)$$

lub

$$F(l_{X_i(t)=x_i}) = P(L > l / X_i(t) = x_i) \quad (19)$$

Analizowano następujące parametry charakteryzujące:

- proces jazdy autobusu $X(t)$:

$x_1(t)$ - prędkość jazdy ($v(t)$),

x_{11} - czas postoju ($t_{v=0}$),

x_{12} - czas jazdy ($t_{v>0}$),

x_{13} - czas jazdy z prędkością $V \geq 20$ km/h ($t_{v>20}$)

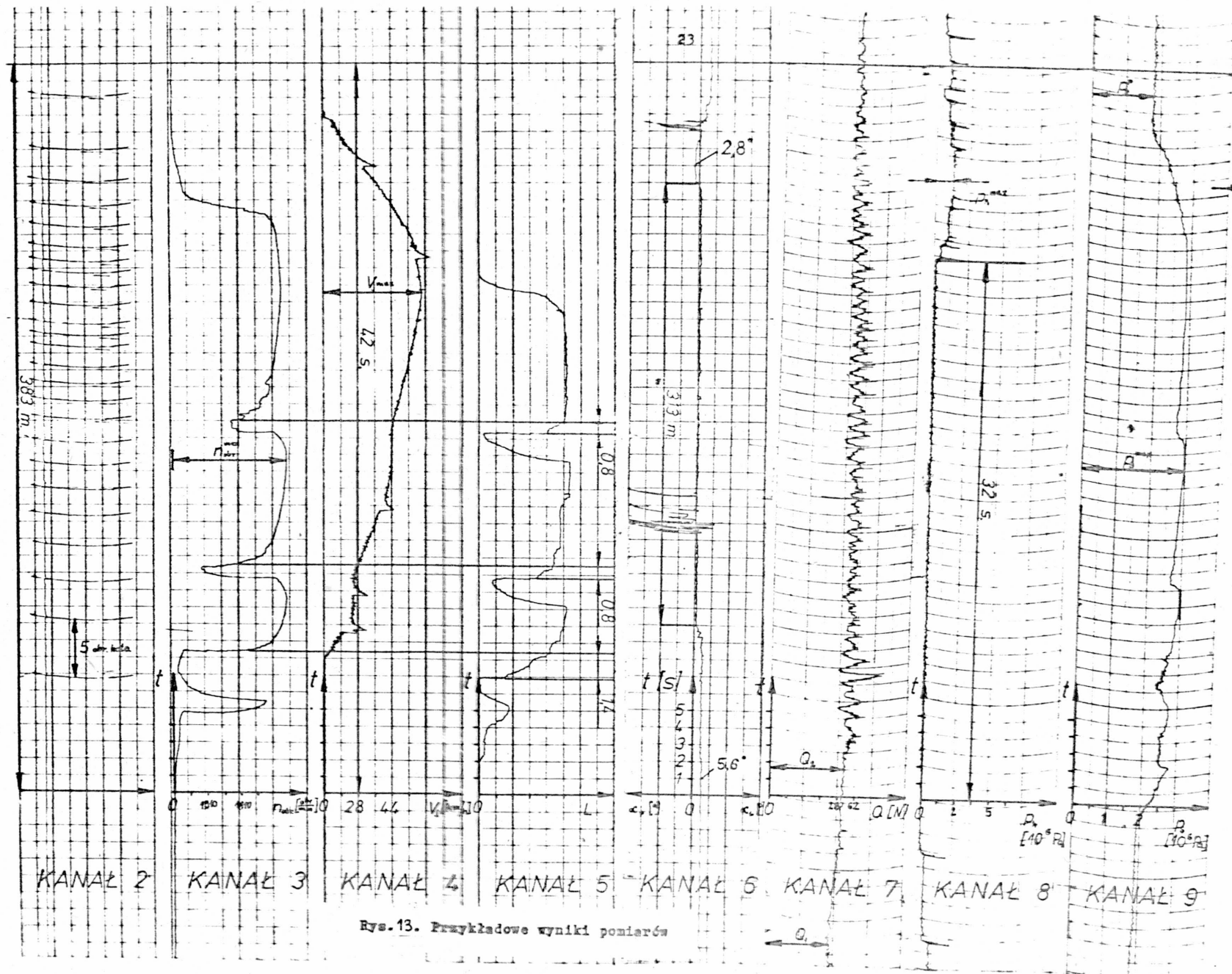
x_{14} - czas jazdy z prędkością $V \geq 60$ km/h ($t_{v>60}$)

x_{21} - przyspieszenie dodatnie jazdy (a^+),

x_{22} - przyspieszenie ujemne jazdy (a^-),

- wymuszenia pionowe ruchu $Z(t)$:

$x_3(t)$ - stan i rodzaj nawierzchni ($\delta(t)$),



- proces skrętu $E(t)$:

$x_4(t)$ - kąt skrętu kół przednich autobusu ($\alpha(t)$),

x_{41} - droga przejechana na wprost ($1_{\alpha=0}$),

x_{42} - droga przejechana po łuku ($1_{\alpha>0}$),

- obciążenie pojazdu $Q(t)$:

$x_5(t)$ - obciążenie względne pojazdu ($q(t)$),

x_{51} - droga przejechana z obc. 25-50% Q_{dop} ($1_{q<50}$),

x_{52} - droga przejechana z obc. 100-125% Q_{dop} ($1_{q>100}$).

Statystyczne opracowanie wyników pomiarów wymagało:

- dyskretyzacji ciągłej funkcji losowej,
- budowy szeregu rozdzielczego danych z badań i wykreślenia odpowiednich histogramów,
- weryfikacji hipotezy o rozkładzie badanej cechy w populacji generalnej,
- estymacji parametrów rozkładu,
- budowy przedziałów ufności rozkładu,
- weryfikacji hipotezy o stacjonarności procesu,
- weryfikacji hipotezy o ergodyczności procesu,
- analizy równości średnich.

Wybór przedziału dyskretyzacji funkcji losowej ciągłej

Wyznaczenie charakterystyk statystycznych ciągłych funkcji losowych wymaga przedstawienia procesu w postaci zbioru wartości dyskretnych. Ilość informacji o procesie zależy od przyjętego przedziału Δt , którym dyskretyzuje się proces. W niniejszym opracowaniu skorzystano z twierdzenia Kotelnikowa [14]. Wynika z niego, że w przedziale o długości równej jednemu okresowi harmonicznej o największej częstotliwości zaobserwowanej w zapisie badanego procesu powinno znaleźć się co najmniej kilka 6-8 punktów x_{im} .

Budowa szeregu rozdzielczego danych z badań i wykreślenie histogramów

W celu wnioskowania o rozkładzie badanych cech zbudowano metodą równych przedziałów [17,21,43] szeregi rozdzielcze i wykreślono histogramy. W oparciu o histogramy obliczono wartość średnią $\bar{x}_i$ i odchylenie standardowe s_{x_i} według wzorów:

$$\begin{aligned} \bar{x}_i &= \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt = \frac{1}{N_i} \sum_{m=1}^{N_i} x_{im} = \frac{1}{N_i} \sum_{l=1}^{k_i} \Delta \hat{x}_{il} \cdot m_l = \\ &= \sum_{l=1}^{k_i} f^*(\Delta x_{il}) \Delta \hat{x}_{il} \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
 s_{x_i}^2 &= \frac{1}{T} \int_0^T [x_i(t) - \bar{x}_i]^2 dt = \frac{1}{N_i-1} \sum_{m=1}^{N_i} (x_{im} - \bar{x}_i)^2 = \\
 &= \frac{1}{N_i} \sum_{l=1}^{k_i} (\Delta \hat{x}_{il} - \bar{x}_i)^2 m_l = \sum_{l=1}^{k_i} f(\Delta x_{il}) (\Delta x_{il} - \bar{x}_i)^2
 \end{aligned} \tag{21}$$

gdzie:

- N_i - całkowita liczba zdarzeń realizacji cechy X_i ,
- $f(\Delta x_{il})$ - empiryczna gęstość prawdopodobieństwa w przedziale klasowym l ,
- m_l - liczba zdarzeń zaliczonych do l -tego przedziału klasowego,
- x_{im} - m -ta wartość realizacji cechy X_i ,
- $\Delta \hat{x}_{il}$ - środek l -tego przedziału klasowego zmiennej losowej X_i .

Weryfikacja hipotezy o rozkładzie badanej cechy w populacji generalnej

Hipotezę o rozkładzie badanej cechy weryfikowano metodą graficzną opartą na zastosowaniu testu zgodności Kołmogorowa [18].

Skorzystano z siatek rozkładów:

- równomiernego,
- wykładniczego,
- normalnego,
- logarytmowo-normalnego,
- Weibulla,

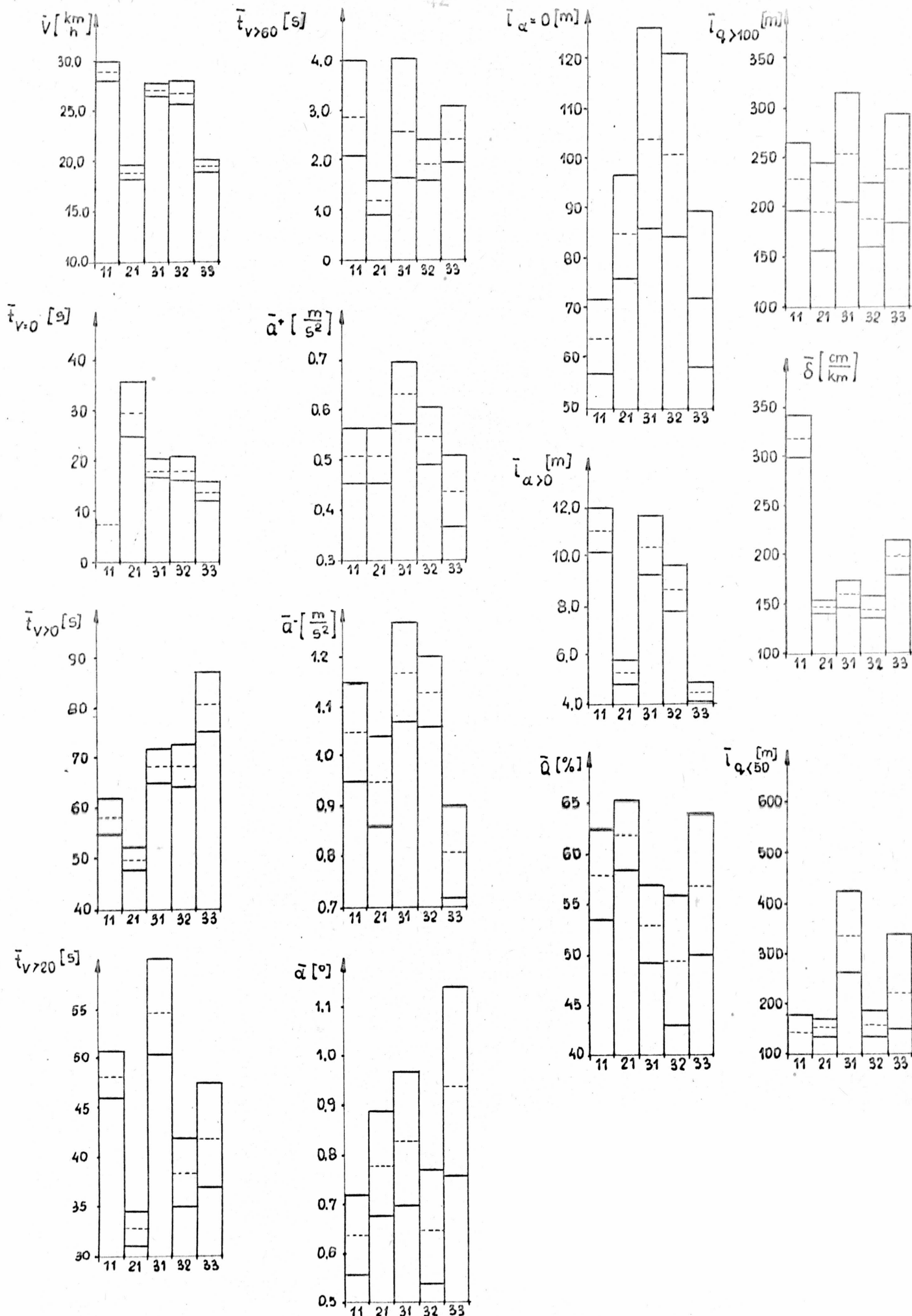
Przyjęto [69], że jeżeli wartość statystyki Kołmogorowa

$$\lambda = D\sqrt{n} < 0,89 = \lambda_\alpha (\alpha = 0,4)$$

to nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 o kształcie rozkładu i można zaniechać dalszych badań. Parametry rozkładów szacowano z siatek rozkładów prawdopodobieństwa [47]. Wzory użytych w pracy rozkładów zebrano w załączniku Z3.

Przedział ufności rozkładu

Przedziały ufności dla wartości oczekiwanej określono dla poszczególnych rozkładów zgodnie z [68].



Rys.14. Przedziały ufności wartości oczekiwanej parametrów warunków użytkowania w środowiskach eksploatacji.

Poziom ufności α przyjęto jako:

$$\alpha = P(\bar{x}_d \leq x \leq \bar{x}_g) \quad (22)$$

W pracy założono poziom ufności $\alpha = 0,05$. Wartości górnej i dolnej granicy przedziału ufności zebrano w tabelach 10-23 i przedstawiono na rys.14.

5.5. Wyniki badań

Dystrybuanty rozkładu prędkości jazdy $F(v)$ w badanych środowiskach eksploatacji zebrano w tabeli 10 i przedstawiono na rys.15. Aproksymowano je złożonymi rozkładami Weibulla. Pierwszy przedział dystrybuanty w zakresie prędkości od 0 do 18-29 km/h opisano rozkładem o parametrze kształtu $\delta < 1$ (0,17 - 0,35). Drugi przedział w zakresie prędkości od ~20 do ~38 km/h rozkładem zbliżonym do rozkładu wykładniczego ($\delta = 0,84 - 1,25$). Przy prędkościach większych od 40 km/h rozkład prędkości jest zbliżony do normalnego ($\delta = 2,22 - 3,65$). Rozkład wykładniczy prędkości jazdy charakteryzuje wymuszony pojazd występujący podczas jazdy w strumieniu pojazdów [12]. Kierowca musi dostosować prędkość autobusu do prędkości pojazdów poprzedzających. Rozkładem normalnym opisuje się [54] ruch swobodny autobusu występujący podczas jazdy między postojami w czasie której wpływ ruchu innych pojazdów na jego prędkość może być pominięty. Kierowca może dowolnie kształtować przebieg prędkości w funkcji drogi. Zakłada się dodatkowo [9], że warunkiem ruchu swobodnego jest znajomość przez kierowcę miejsca następnego postoju już w chwili rozpoczęcia jazdy. Ruch swobodny występuje przy małych intensywnościach strumienia ruchu pojazdów.

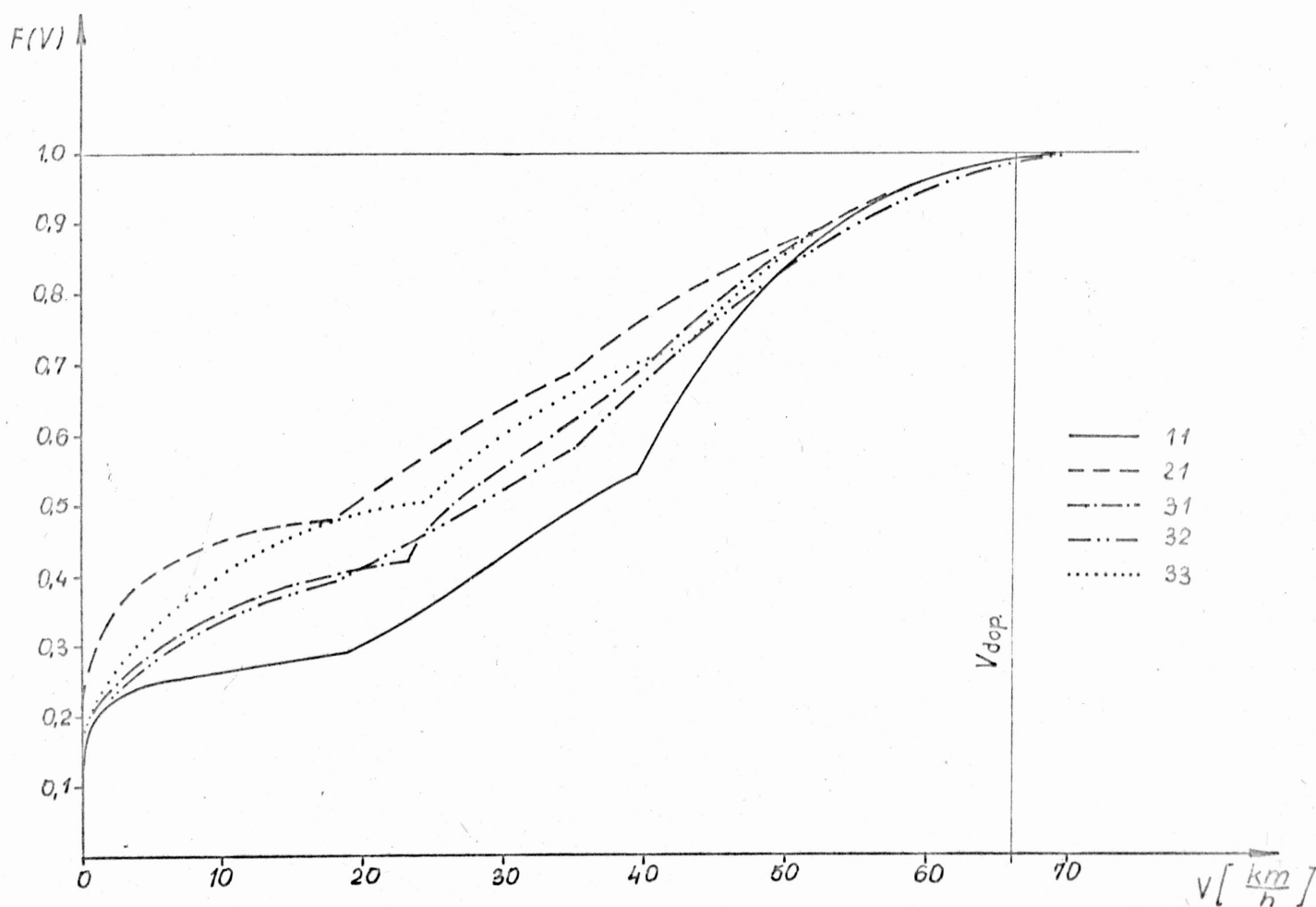
Największy udział ruchu wymuszonego w segmencie jazdy i najmniejszą średnią prędkość jazdy ~19 km/h zaobserwowano w środowiskach 21 i 33. Największe prędkości jazdy występujące w 11, 31 i 32 (27,0 - 29,2 km/h) spowodowane są znacznym udziałem ruchu swobodnego na liniach podmiejskich.

Dystrybuanty rozkładu czasu postoju $F(t_{v=0})$ podano w tabeli 11. Najkrótszy średni czas zatrzymania 7,7s charakteryzuje linie środowiska 11. Rozkład czasu postoju zaaproksymowano rozkładem Weibulla o parametrze kształtu $\delta = 0,81$, co świadczy o dużym udziale bardzo krótkich (2 - 3 sek.) zatrzymań.

T a b e l a 10

Dystrybuanty rozkładu prędkości jazdy w środ. ekspl.
F (v)

Srodo- wisko	F(x)	$\bar{x}$	S_x	$\bar{x}_g$	$\bar{x}_d$
11	0 ; $x < 0$ $1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{4,48} \right)^{0,17} \right]$; $0 \leq x < 19$ $1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{90,02} \right)^{1,2} \right]$; $19 < x < 39$ $1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{770296} \right)^{3,65} \right]$; $39 \leq x < 100$ 1 ; $100 \leq x$	29,2	17,7	30,0	28,3
21	0 ; $x < 0$ $1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{2,46} \right)^{0,19} \right]$; $0 \leq x < 18$ $1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{188,7} \right)^{1,6} \right]$; $35 \leq x < 52$ $1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{3935310} \right)^{4,05} \right]$; $52 \leq x < 100$ 1 ; $x \geq 100$	19,1	28,5	19,7	18,6
31	0 ; $0 > x$ $1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{4,95} \right)^{0,35} \right]$; $0 \leq x < 23$ $1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{81,5} \right)^{1,25} \right]$; $23 \leq x < 40$ $1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{9667} \right)^{2,5} \right]$; $40 \leq x < 100$ 1 ; $100 \leq x$	27,8	21,2	28,8	26,8
32	0 ; $x < 0$ $1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{4,48} \right)^{0,31} \right]$; $0 \leq x < 18$ $1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{24,05} \right)^{0,84} \right]$; $18 \leq x < 35$ $1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{3161,6} \right)^{2,22} \right]$; $35 \leq x < 100$ 1 ; $100 \leq x$	27,0	21,2	28,2	25,8
33	0 ; $x < 0$ $1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{4,05} \right)^{0,29} \right]$; $0 \leq x < 18$ $1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{19,01} \right)^{0,8} \right]$; $18 \leq x < 36$ $1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{6404,2} \right)^{2,4} \right]$; $36 \leq x < 100$ 1 ; $100 \leq x$	19,6	18,8	20,2	18,9



Rys.15. Dystrybuanty rozkładu prędkości jazdy autobusu miejskiego w środowiskach eksploatacji

W pozostałych środowiskach omawiana zmienna losowa opisana została rozkładem logarytmo-normalnym. Najdłuższy średni czas postoju w Warszawie (29,9 s) i największy współczynnik wariancji tego czasu wywołują postoje autobusu w tzw. "korkach".

Średni czas jazdy (tabela 12) jest najdłuższy w środowisku 33 (81,0 sek.) ze względu na małą średnią prędkość jazdy. W 21 odległości między przystankami są małe, stąd krótki czas jazdy - 50,3 sek. Najdłuższe odległości międzyprzystankowe występują na liniach komunikacyjnych środowisk 32 i 31, co potwierdza stosunkowo długi średni czas jazdy i wysoka średnia prędkość jazdy.

Porównanie średniego czasu jazdy z prędkością $V \geq 20$ km/h (tabela 13) i średniego czasu jazdy wskazuje na znacznie większy udział w segmencie jazdy czasu jazdy z prędkością $V \geq 20$ km/h w 33 (48%), 32 (44%) i 21 (35%) niż w 11 (17%) i 31 (20%).

T a b e l a 11

Dystrybuanty rozkładu czasu pojazdu

$$F(t_v = 0)$$

Srodo- wisko	Rozkład $F(x)$	$\bar{x}$	S_x	$\bar{x}_g$	$\bar{x}_d$
11	$1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{3,4} \right)^{0,84} \right]$	7,7	9,2	8,4	7,0
21	$\frac{1}{2} + \frac{A}{4,47\sqrt{2\pi}} \Phi \left[- \frac{(\lg x - 1,0)^2}{39,96} \right]$	29,9	87,0	35,9	25,6
31	$\frac{1}{2} + \frac{A}{1,82\sqrt{2\pi}} \Phi \left[- \frac{(\lg x - 1,18)^2}{6,62} \right]$	18,6	12,2	20,5	16,9
32	$\frac{1}{2} + \frac{A}{2,04\sqrt{2\pi}} \Phi \left[- \frac{(\lg x - 1,12)^2}{8,32} \right]$	18,6	15,1	21,1	16,4
33	$\frac{1}{2} + \frac{A}{13,18\sqrt{2\pi}} \Phi \left[- \frac{(\lg x - 1,14)^2}{11,23} \right]$	13,9	14,6	16,2	12,0

T a b e l a 12

Dystrybuanty rozkładu czasu jazdy $F(t_{v>0})$

Srodo- wisko	Rozkład $F(x)$	$\bar{x}$	S_x	$\bar{x}_g$	$\bar{x}_d$
11	$\frac{1}{32,4\sqrt{2\pi}} \Phi \left[- \frac{(x - 58,5)^2}{2099,5} \right]$	58,5	32,4	61,7	55,3
21	$1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{1188} \right)^{1,77} \right]$	50,3	29,4	52,5	48,3
31	$1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{19535} \right)^{2,41} \right]$	68,4	30,0	65,2	71,9
32	$1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{5166} \right)^{2,16} \right]$	68,2	34,6	64,3	72,7
33	$1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{2697} \right)^{1,8} \right]$	81,0	46,4	75,4	87,5

Dystrybuanty rozkładu czasu jazdy
z prędkością $v \geq 20$ km/h
 $F(t_{v \geq 20})$

Środowisko	Rozkład $F(x)$	$\bar{x}$	S_x	$\bar{x}_g$	$\bar{x}_d$
11	$1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{49,4} \right)^{1,7} \right]$	48,3	29,7	50,7	46,0
21	$1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{138,4} \right)^{1,45} \right]$	32,8	21,4	34,6	31,2
31	$1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{228,1} \right)^{1,4} \right]$	54,7	39,0	50,3	60,0
32	$1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{148,4} \right)^{1,4} \right]$	38,3	27,5	35,2	41,9
33	$1 - \exp(-0,033 x)$	42,0	42,0	37,4	47,5

Czas jazdy z prędkością $V \geq 60$ km/h (tabela 14) aproksymuje się we wszystkich środowiskach rozkładem podobnego kształtu, tzn. logarytmo-normalnym i Weibulla z $\delta = 1,3$. Krótki czas jazdy z dużą prędkością w 21 potwierdza wnioski o utrudnieniach w ruchu, natomiast stosunkowo krótki czas jazdy w 32 w porównaniu z poprzednio omówionymi charakterystykami można interpretować jako "falowanie" prędkości w czasie jazdy między przystankami.

Dystrybuanty rozkładu przyspieszeń dodatnich jazdy zebrano w tabeli 15, a przyspieszeń ujemnych w tabeli 16. Największe średnie przyspieszenie ruchu autobusu występują na liniach środowiska 31 ($\bar{a}^+ = 0,64 \frac{m}{sek^2}$, $\bar{a}^- = 1,2 m/s^2$), najmniejsze w 33 ($\bar{a}^+ = 0,44 m/s^2$, $\bar{a}^- = 0,81 m/s^2$).

W 33 jednocześnie współczynnik wariancji przyspieszeń jest największy ($\sigma_{a^+} = 1,07$ i $\sigma_{a^-} = 0,70$ wobec $\sigma_{a^+} = 0,60$ i $\sigma_{a^-} = 0,55$ w innych środowiskach. Zgodność rozkładu przyspieszeń w badanych środowiskach może być wywołana podobnym sposobem kierowania autobusu przez kierowców-instruktorów.

T a b e l a 14

Dystrybuanty rozkładu czasu jazdy
z prędkością $v \geq 60$ km/h
 $F(t_{v \geq 60})$

Środo- wisko	Rozkład $F(x)$	$\bar{x}$	S_x	$\bar{x}_g$	$\bar{x}_d$
11	$\frac{1}{2} + \frac{A}{2,57\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(\lg x - 1,27)^2}{19,21} \right]$	29,0	57,8	20,9	40,2
21	$\frac{1}{2} + \frac{A}{6,76\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(\lg x - 0,83)^2}{17,40} \right]$	12,4	18,6	9,6	16,0
31	$\frac{1}{2} + \frac{A}{3,35\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(\lg x - 1,09)^2}{22,44} \right]$	26,0	46,8	16,7	40,4
32	$1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{40,4} \right)^{1,3} \right]$	19,4	15,0	16,0	24,0
33	$1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{66,7} \right)^{1,35} \right]$	24,2	18,1	19,7	30,9

T a b e l a 15

Dystrybuanty rozkładu przyspieszeń dodatnich jazdy $F(a^+)$

Środo- wisko	Rozkład $F(x)$	$\bar{x}$	S_x	$\bar{x}_g$	$\bar{x}_d$
11	$\frac{1}{2} + \frac{A}{0,53\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(\lg x + 0,37)^2}{0,57} \right]$	0,515	0,355	0,565	0,464
21	$\frac{1}{2} + \frac{A}{0,53\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(\lg x + 0,37)^2}{0,57} \right]$	0,515	0,355	0,565	0,464
31	$\frac{1}{2} + \frac{A}{0,56\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(\lg x + 0,28)^2}{0,63} \right]$	0,636	0,400	0,695	0,577
32	$\frac{1}{2} + \frac{A}{0,53\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(\lg x + 0,35)^2}{0,56} \right]$	0,550	0,355	0,607	0,493
33	$\frac{1}{2} + \frac{A}{0,41\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(\lg x + 0,54)^2}{0,34} \right]$	0,437	0,469	0,508	0,366

T a b e l a 16

Dystrybuanty rozkładu przyspieszeń ujemnych jazdy $F(a^-)$

Srodo- wisko	Rozkład $F(x)$	$\bar{x}$	S_x	$\bar{x}_g$	$\bar{x}_d$
11	$\frac{1}{0,61\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(x - 1,05)^2}{0,74} \right]$	1,05	0,61	1,15	0,95
21	$\frac{1}{0,55\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(x - 0,95)^2}{0,84} \right]$	0,95	0,55	1,04	0,86
31	$\frac{1}{0,65\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(x - 1,17)^2}{0,85} \right]$	1,17	0,65	1,27	1,07
32	$\frac{1}{0,43\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(x - 1,13)^2}{0,37} \right]$	1,13	0,43	1,20	1,06
33	$\frac{1}{0,57\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(x - 0,81)^2}{0,65} \right]$	0,81	0,57	0,90	0,72

Stan i rodzaj nawierzchni ujęto ilościowo oszacowując dla każdej grupy klasyfikacyjnej parametr fizyczny S_{SN} [3]. Parametr S_{SN} ma sens sumy nierówności nawierzchni drogi odniesionej do jego długości. Średnie wartości wskaźnika nierówności nawierzchni badanych linii zebrano w tabeli 17. Wynika z nich, że w 21 i 32 przeważa nawierzchnia bitumiczna w stanie dobrym i zadowalającym. Po najgorszych nawierzchniach porusza się autobus w 11, gdzie występują nawierzchnie z kostki kamiennej w stanie niezadowalającym i złym.

T a b e l a 17

Parametry rozkładu wskaźnika nierówności nawierzchni

Srodo- wisko	$\bar{x}$	S_x	$\bar{x}_g$	$\bar{x}_d$
11	321	222	342	300
21	149	46	154	143
31	162	70	176	148
32	146	74	158	139
33	198	132	216	180

Charakterystyki procesu skrętu zawierają tabele 18-20. Średni kąt skrętu zawiera się w granicach od $0,64^\circ$ do $0,94^\circ$. Kształt rozkładu zmiennej losowej świadczy o przeważającym czasie ruchu prostoliniowego. Potwierdza to porównanie średniej drogi przejechanej po łuku i drogi przejechanej na wprost. Proporcja ta wynosi dla środowisk 21 i 33 ok. 6% , 31 i 32 ok. 10%, a dla 11 ok. 16%. Średni kąt skrętu może świadczyć zarówno o krętości linii trasy komunikacyjnej jak i istnieniu przeszkód w ruchu pojazdów (wymuszonego lub swobodnego).

Obciążenie autobusu wyrażono w procentach obciążenia dopuszczalnego $Q_{dop} = 71,6 \text{ kN}$ (tab.21) .

Największe średnie obciążenie autobusu zarejestrowano w środowisku 21 (61,9%) i 11 (58%) , a najmniejsze w 31 (53,1%) i 32 (49,5%) . Obciążenia w szczycie popołudniowym są we wszystkich środowiskach podobne i wynoszą ok. 70% [88] . O różnicach między środowiskami decyduje zróżnicowanie obciążenia w szczycie i poza szczytem. W 32 i 31 poza szczytem obciążenie wynosi ok. 40%. We wszystkich środowiskach zarejestrowano przekroczenie obciążenia 125% Q_{dop} (ponad 140 pasażerów) .

Długości drogi przejechanej z obciążeniem 25 - 50% (tabela 22) są zróżnicowane od ok. 150 m w środowiskach 11,21 i 32 do 337 m w 31. Długości drogi przejechanej przez przeciążony autobus (tabela 23) aproksymowano trzema różnymi rozkładami: normalnym, logarytm-normalnym i Weibulla. Średnie długości tych odcinków są zbliżone (od 188 m do 255 m) . Nie zaobserwowano związku między średnią odległością między przystankami, a długością drogi przejechanej z obciążeniem 25-50% i 100-125% .

Weryfikacja hipotezy o stacjonarności procesu

Weryfikując hipotezę o stacjonarności procesu sprawdzono niezależność od czasu, wartości średniej i wariancji. Założono, że jest mało prawdopodobne by niestacjonarność objawiła się dla wszystkich innych wartości czasu T , oprócz $T = 0$. Przyjęto więc, że jeżeli wariancja procesu nie zależy od czasu, to nie zależy od niego także funkcja autokorelacji.

Zastosowana metoda [32] bazuje na badaniu wpływu czasu na moment zwykły drugiego rzędu m_2 .

Ponieważ

$$m_2 = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f(x) dx = \sigma_x^2 + m_x^2 \quad (23)$$

T a b e l a 18

Dystrybuanty rozkładu kątów skrętu pojazdu $F(\alpha)$

Środo- wisko	Rozkład $F(x)$	$\bar{x}$	S_x	$\bar{x}_g$	$\bar{x}_d$
11	$1-\exp \left[- \left(\frac{x}{1,85} \right)^{0,41} \right]$	0,64	1,9	0,56	0,72
21	$1-\exp \left[- \left(\frac{x}{2,05} \right)^{0,37} \right]$	0,78	3,2	0,68	0,89
31	$1-\exp \left[- \left(\frac{x}{2,10} \right)^{0,31} \right]$	0,83	4,5	0,70	0,97
32	$1-\exp \left[- \left(\frac{x}{2,20} \right)^{0,29} \right]$	0,65	6,7	0,54	0,77
33	$1-\exp \left[- \left(\frac{x}{2,20} \right)^{0,25} \right]$	0,94	9,6	0,76	1,14

T a b e l a 19

Dystrybuanty rozkładu drogi przejechanej na wprost $F(1_{\alpha=0})$

Środo- wisko	Rozkład $F(x)$	$\bar{x}$	S_x	$\bar{x}_g$	$\bar{x}_d$
11	$1-\exp \left[- \left(\frac{x}{1,68} \right)^{0,52} \right]$	64	136	56,8	71,6
21	$1-\exp \left[- \left(\frac{x}{1,89} \right)^{0,49} \right]$	86	197	75,8	96,8
31	$1-\exp \left[- \left(\frac{x}{1,97} \right)^{0,49} \right]$	104	239	85,8	126,3
32	$1-\exp \left[- \left(\frac{x}{2,34} \right)^{0,52} \right]$	101	215	84,2	121,3
33	$1-\exp \left[- \left(\frac{x}{1,28} \right)^{0,40} \right]$	72	212	58,4	89,3

Dystrybuanty rozkładu drogi przejechanej po łuku $F(1_{\alpha>0})$

Środo- wisko	Rozkład $F(x)$	$\bar{x}$	S_x	$\bar{x}_g$	$\bar{x}_d$
11	$1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{3,23} \right)^{0,6} \right]$	11,1	19,5	10,2	12,0
21	$1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{1,90} \right)^{0,55} \right]$	5,3	10,6	4,8	5,8
31	$1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{2,94} \right)^{0,57} \right]$	10,4	20,2	9,3	11,7
32	$1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{3,42} \right)^{0,78} \right]$	8,7	11,3	7,8	9,7
33	$1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{2,51} \right)^{0,75} \right]$	4,5	6,1	4,1	4,9

T a b e l a 21

Dystrybuanty rozkładu obciążenia pojazdu $F(Q)$

Środo- wisko	Rozkład $F(x)$	$\bar{x}$	S_x	$\bar{x}_d$	$\bar{x}_g$
11	$\frac{1}{43,8\sqrt{2\pi}} \Phi \left[- \frac{(x - 58,0)^2}{3836,9} \right]$	58,0	43,8	53,5	62,4
21	$\frac{1}{123,8} x$	61,9	35,7	65,3	58,5
31	$\frac{1}{106,2} x$	53,1	30,6	56,9	49,3
32	$\frac{1}{40,0\sqrt{2\pi}} \Phi \left[- \frac{(x - 49,5)^2}{3200} \right]$	49,4	40,0	55,9	43,1
33	$\frac{1}{42,5\sqrt{2\pi}} \Phi \left[- \frac{(x - 57,0)^2}{3612,5} \right]$	57,0	42,5	64,0	50,0

T a b e l a 22

Dystrybuanty rozkładu drogi przejechanej z obciążeniem
 $Q = 25 - 50 \%$, $F(l_{q < 50})$

Środo- wisko	Rozkład $F(x)$	$\bar{x}$	S_x	$\bar{x}_d$	$\bar{x}_g$
11	$\frac{1}{2} + \frac{A}{2,75\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(\lg x - 2,04)^2}{15,1} \right]$	144	193	116	179
21	$1 - \exp \left[-\left(\frac{x}{36,6} \right)^{1,36} \right]$	151	112	135	172
31	$\frac{1}{2} + \frac{A}{1,82\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(\lg x - 2,45)^2}{6,62} \right]$	337	221	266	427
32	$1 - \exp \left[-\left(\frac{x}{81,4} \right)^{1,61} \right]$	157	101	134	187
33	$\frac{1}{2} + \frac{A}{2,63\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(\lg x - 2,26)^2}{13,8} \right]$	225	280	148	342

T a b e l a 23

Dystrybuanty rozkładu drogi przejechanej z obciążeniem
 $Q = 100 - 125 \%$, $F(l_{q > 100})$

Środo- wisko	Rozkład $F(x)$	$\bar{x}$	S_x	$\bar{x}_g$	$\bar{x}_d$
11	$\frac{1}{97\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(x - 230)^2}{18818} \right]$	230	97	262	198
21	$\frac{1}{2} + \frac{A}{2,14\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(\lg x - 2,17)^2}{9,16} \right]$	197	174	158	245
31	$\frac{1}{2} + \frac{A}{2,24\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(\lg x - 2,27)^2}{10,03} \right]$	255	244	206	316
32	$1 - \exp \left[\left(-\frac{x}{42,5} \right)^{1,6} \right]$	188	122	161	224
33	$\frac{1}{162\sqrt{2\pi}} \Phi \left[-\frac{(x - 240)^2}{52488} \right]$	240	162	296	184

zmiana wariancji σ_x^2 i wartości oczekiwanej m_x musi być uwidoczona w momencie zwykłym drugiego rzędu, jeśli pominię się mało prawdopodobny przypadek, że zmiana σ_x^2 i m_x^2 wzajemnie się kompensują.

Procedura weryfikacji hipotezy H_0 , że proces jest stacjonarny polega na:

- podziale realizacji $x(t)$ o długości T na n odcinków o długości $T_j = \frac{T}{n}$,
- obliczeniu dla każdego odcinka wartości średniokwadratowej $\tilde{m}_{2,x_j}$,
- uporządkowaniu tych wartości w kolejności występowania odcinków $x_j(t)$ w realizacji $x(t)$ w ciąg:

$$\tilde{m}_{2,x_1}, \tilde{m}_{2,x_2}, \dots, \tilde{m}_{2,x_n} \quad (24)$$

Wartości te są zmiennymi losowymi. Jeżeli proces jest stacjonarny, to nie powinien wykazywać jakiegokolwiek tendencji. Do weryfikacji hipotezy H_0 o niewystępowaniu tendencji w ciągu (24) posłużono się testem serii [74].

Wartości krytyczne statystyki R (ilość serii w ciągu) $r_{n_1 n_2}(\alpha)$ wybrano tak, że:

- dla $\alpha = 0,05$ liczba $r_{n_1 n_2}(0,05)$ jest największą liczbą całkowitą spełniającą warunek

$$P \left\{ R \leq r_{n_1 n_2}(0,05) \right\} \leq 0,05 \quad (25)$$

- dla $\alpha = 0,95$ $r_{n_1 n_2}(0,95)$ jest najmniejszą liczbą całkowitą spełniającą warunek

$$P \left\{ R \leq r_{n_1 n_2}(0,95) \right\} \geq 0,95 \quad (26)$$

gdzie:

- n_1 - ilość elementów ciągu większych od mediamy ciągu,
- n_2 - ilość elementów ciągu mniejsza od mediany ciągu.

Jeżeli obliczona wartość statystyki R^* spełnia nierówność:

$$r_{n_1 n_2}(0,05) < R^* \leq r_{n_1 n_2}(0,95) \quad (27)$$

to nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 , że proces nie podlega tendencji, a zatem, że proces jest stacjonarny.

Obliczenia przeprowadzono dla dwóch przebiegów z każdego środowiska. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 24. Na ich podstawie

T a b e l a 24

Weryfikacja hipotezy o stacjonarności procesów $X(t)$, $Z(t)$, $E(t)$, $Q(t)$

Środ.	Po- miar	Proces $X(t)$					Proces $Z(t)$					Proces $E(t)$					Proces $Q(t)$				
		n_1	n_2	$r_{(0.05)}$	$r_{(0.95)}$	R^*	n_1	n_2	$r_{(0.05)}$	$r_{(0.95)}$	R^*	n_1	n_2	$r_{(0.05)}$	$r_{(0.95)}$	R^*	n_1	n_2	$r_{(0.05)}$	$r_{(0.95)}$	R^*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
11	20	4	4	2	7	4	4	6	3	8	4	7	7	4	11	6	6	7	4	10	3
	22	6	7	4	10	5	4	6	3	8	3	6	8	4	11	6	4	6	3	8	3
21	34	7	8	4	12	7	5	6	3	8	4	8	10	6	14	9	4	6	3	8	3
	35	4	4	2	7	5	5	6	3	8	4	10	10	6	15	8	7	7	4	11	3
31	54	11	9	6	14	10	8	10	6	13	8	9	12	7	15	10	8	10	5	13	3
	62	4	6	3	8	6	8	8	5	12	9	10	11	7	15	8	9	11	6	14	3
32	55	5	5	3	8	6	11	12	8	16	8	10	10	6	15	7	9	9	6	13	3
	56	8	12	6	14	11	8	10	6	13	8	10	11	7	15	11	9	9	6	13	3
33	59	8	9	5	13	7	8	8	5	12	8	8	13	6	14	9	8	9	5	13	3
	64	4	6	3	8	4	8	8	5	12	7	11	11	7	16	9	8	10	6	13	4

można przyjąć, że

- procesy $X(t)$ i $E(t)$ są procesami stacjonarnymi ,
- proces $Z(t)$ też jest procesem stacjonarnym, gdyż w przypadku pomiarów nr 22 i 55 $R^* > r_{n_1 n_2}(0,025)$,
- proces $Q(t)$ nie jest procesem stacjonarnym. Nie można założyć, że wartość oczekiwana obciążenia nie zależy od chwili realizacji procesu. Obciążenie pojazdu związane jest z miejscem w którym się on znajduje.

Weryfikacja hipotezy o ergodyczności procesu

Weryfikację hipotezy przeprowadzono dla procesów uznanych za stacjonarne. Obliczono funkcję autokorelacji według wzoru [14]:

$$\begin{aligned}
 R_{x_i x_j}(k \cdot \Delta\tau) &= \frac{1}{N-k} \sum_{l=1}^{N-k-1} (x_{il} - \bar{x}_i)(x_{il+k} - \bar{x}_i) = \\
 &= \frac{1}{N-k} \sum_{l=0}^{N-k-1} x_{il} \cdot x_{il+k} - \bar{x}_i^2
 \end{aligned} \quad (28)$$

gdzie:

τ - czas trwania realizacji

N - ilość przedziałów

k - czas dyskretny przyjmujący wartości $0, 1, \dots, N/4$.

oraz unormowaną funkcję autokorelacji:

$$\rho_{x_i x_i}(k \cdot \Delta\tau) = \frac{R_{x_i x_i}(k \cdot \Delta\tau)}{R_{x_i x_i}(0)} \quad (29)$$

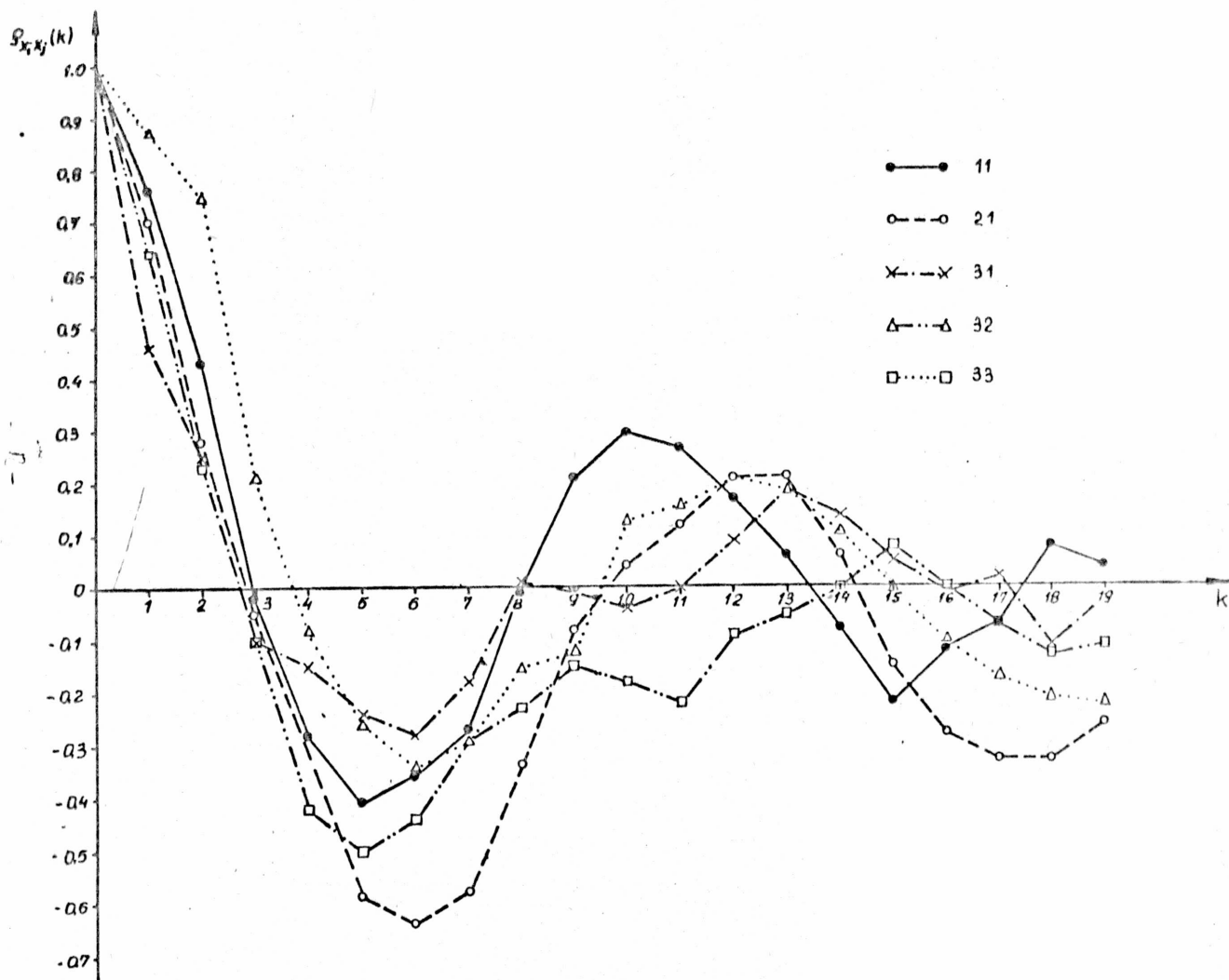
Wyniki obliczeń przedstawiono na rys.16 - 18.

Funkcję unormowaną autokorelacji aproksymowano funkcją postaci [29]:

$$\rho_{x_i x_i}(\tau) = a e^{-b\tau} \cos ct + (1 - a) e^{-d\tau} \quad (30)$$

Parametry funkcji obliczono na EMC metodą Gaussa-Seidela (zmodyfikowany program "OPTY" [38]).

Miarą zgodności aproksymacji jest współczynnik korelacji obliczony ze wzoru:

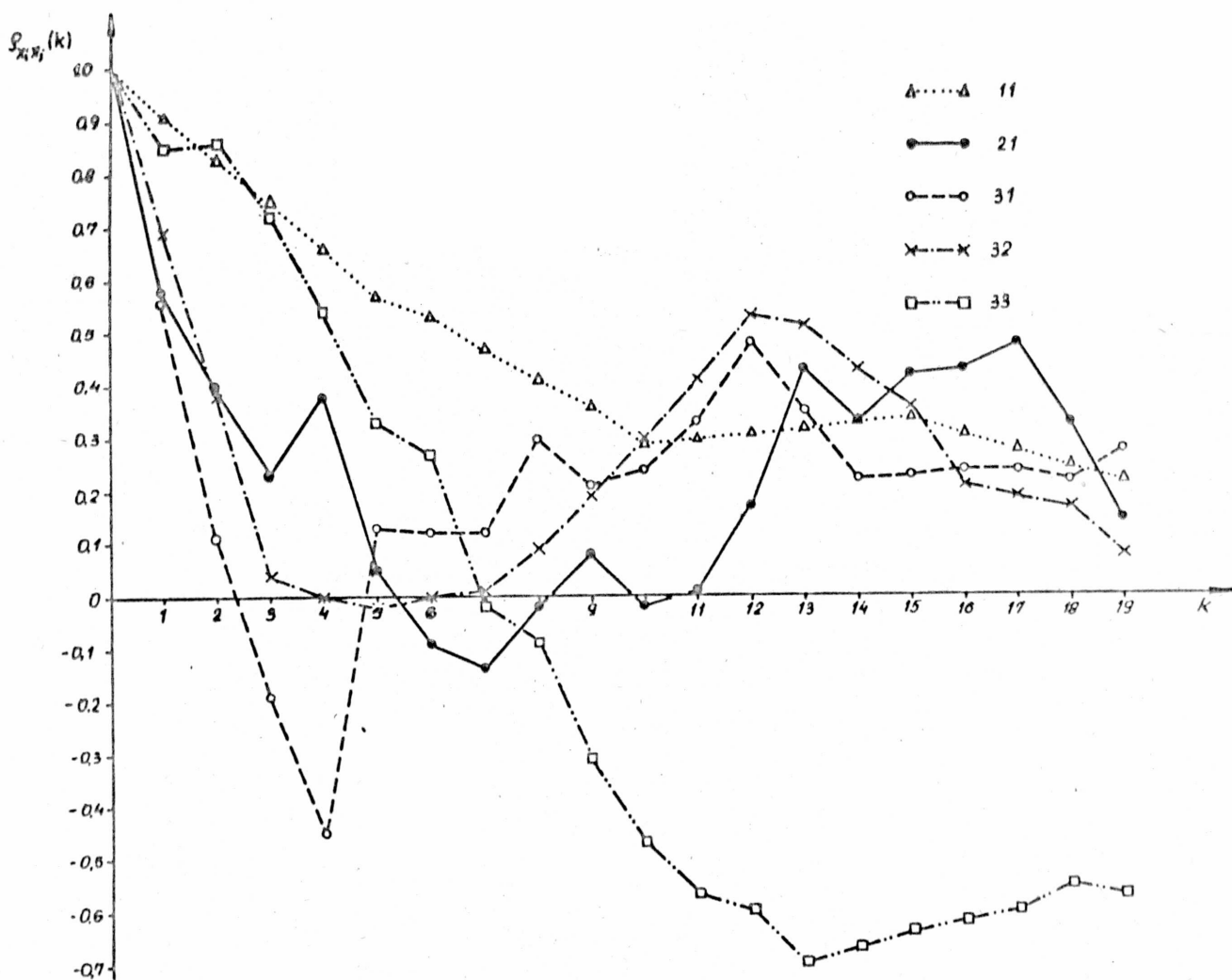


Rys.16. Funkcja autokorelacji procesu $X(t)$.

$$R_{x_i, x_i} = \frac{n \sum_{l=1}^n x_{il} \hat{x}_{il} - \left(\sum_{l=1}^n x_{il} \right) \left(\sum_{l=1}^n \hat{x}_{il} \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{l=1}^n x_{il}^2 - \left(\sum_{l=1}^n x_{il} \right)^2 \right] \left[n \sum_{l=1}^n \hat{x}_{il}^2 - \left(\sum_{l=1}^n \hat{x}_{il} \right)^2 \right]}} \quad (31)$$

gdzie:

- n - ilość danych punktów
- x_{il} - obliczona wartość funkcji w punkcie l ,
- $\hat{x}_{il}$ - zaaprosymowana wartość funkcji w punkcie l .



Rys.18. Funkcja autokorelacji procesu $E(t)$.

Współczynniki korelacji procesów X_i i X_j ; $i \neq j$

W celu określenia niezależności badanych procesów losowych obliczono dla wylosowanych 4 przebiegów współczynnik korelacji wzajemnej procesów $R_{x_i x_j}$:

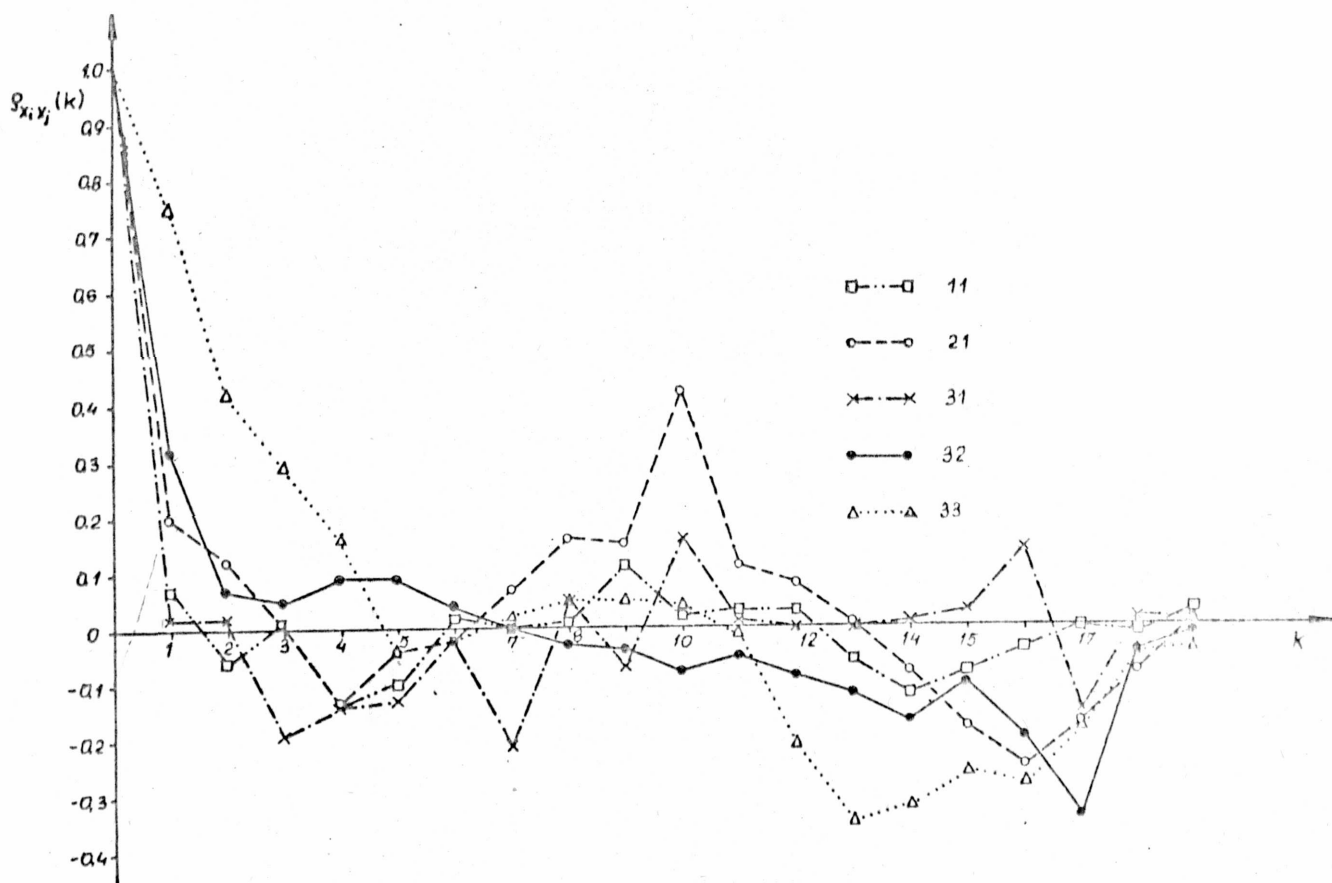
$$R_{x_i x_j} = \frac{n \sum_{l=1}^n x_{il} x_{jl} - \left(\sum_{l=1}^n x_{il} \right) \left(\sum_{l=1}^n x_{jl} \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{l=1}^n x_{il}^2 - \left(\sum_{l=1}^n x_{il} \right)^2 \right] \left[n \sum_{l=1}^n x_{jl}^2 - \left(\sum_{l=1}^n x_{jl} \right)^2 \right]}} \quad (33)$$

gdzie:

n - ilość danych

x_{il} - l -ta wartość zmiennej losowej X_i ,

x_{jl} - l -ta wartość zmiennej losowej X_j .



Rys.17. Funkcja autokorelacji procesu $Z(t)$.

Wartość krytyczna współczynnika korelacji wynosi [28] :

$$R_{kr}(18; 0,05) = 0,4451$$

Obliczone parametry zebrano w tabeli 25.

Współczynniki korelacji zawierają się w granicach od 0,83 do 0,99 .

Ponieważ

$$R_{x_i, \hat{x}_i} > R_{kr}(18; 0,05)$$

nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy, że funkcja postaci (34) dobrze aproksymuje obliczone funkcje autokorelacji procesów.

Ponieważ

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} \rho_{x_i, x_i}(\tau) = \lim_{\tau \rightarrow \infty} (a e^{-b\tau} \cos C\tau + (1-a) e^{-d\tau}) = 0 \quad (32)$$

to zgodnie z wzorami (89-92) można przyjąć , że procesy $X(t)$, $Z(t)$ i $E(t)$ są procesami ergodycznymi.

Parametry funkcji autokorelacji procesów
 $X(t)$, $Z(t)$, $E(t)$,

Proces	Środo- wisko	Po- miar	Parametry funkcji autoko- korelacji				$R_{\hat{x}_i \hat{x}_i}$
			a	b	c	d	
$X(t)$	11	20	1,0	0,112	0,604	0	0,85
	21	35	1,0	0,088	0,524	0	0,92
	31	55	1,0	0,267	0,537	0	0,89
	32	62	1,0	0,186	0,508	0	0,83
	33	63	1,0	0,138	0,485	0	0,90
$Z(t)$	11	20	1,0	0,023	0,212	0	0,99
	21	35	0,557	0,049	0,405	0,072	0,84
	31	55	0,088	0,276	0,792	0,050	0,90
	32	62	0,749	0,119	0,514	0,002	0,93
	33	63	1,0	0,099	-0,002	0	0,97
$E(t)$	11	20	1,0	2,300	0,97	0	0,96
	21	35	1,0	1,525	0,615	0,05	0,84
	31	55	1,0	3,55	0,780	0	0,91
	32	62	1,0	1,18	-0,02	0	0,90
	33	63	1,0	0,232	0,242	0	0,90

Wartość krytyczna współczynnika korelacji wynosi

$$R_{kr}(98, 0,05) = 0,165$$

Wyniki obliczeń zebrano w tabeli 26.

T a b e l a 26

Wartości współczynników korelacji wzajemnej procesów
 $X(t)$, $Z(t)$, $E(t)$, $Q(t)$

		Nr pomiaru	Proces			
			X(t)	Z(t)	E(t)	Q(t)
Proces	X(t)	23	1	- 0,18	0,04	- 0,28
		24	1	- 0,29	- 0,08	- 0,02
		13	1	- 0,20	- 0,29	- 0,12
		14	1	- 0,32	0,02	- 0,20
	Z(t)	23		1	0,11	0,26
		24		1	0,09	0,45
		13		1	0,18	0,69
		14		1	0,07	0,60
	E(t)	23			1	0,09
		24			1	- 0,06
		13			1	0,17
		14			1	- 0,37
	Q(t)	23				1
		24				1
		13				1
		14				1

Stwierdzono, że prędkość jazdy jest odwrotnie proporcjonalna do obciążenia pojazdu i stanu nawierzchni. Istotny związek między stanem nawierzchni i obciążeniem można tłumaczyć związkiem między strumieniem pasażerów i intensywnością ruchu pojazdów. Duże natężenie ruchu pojazdów powoduje szybsze zużycie nawierzchni drogi. Zarejestrowano również związek między kątem skrętu, a obciążeniem pojazdu i jego prędkością. Należy zatem odrzucić hipotezę o niezależności badanych procesów losowych.

Analiza równości wartości oczekiwanej

Ze względu na to, że:

- badane zmienne losowe podlegają rozkładom prawdopodobieństwa różnym od normalnego ,

- ilość danych jest duża ($n > 30$),

do analizy równości wartości oczekiwanej zastosowano [47,74] :

1. nieparametryczny test istotności Kołmogorowa-Smirnowa ,
2. parametryczny test równości średnich.

W 1 przypadku postawiono hipotezę, że dwie próby o ciągłych dystrybuantach $F_1(x_i)$ i $F_2(x_i)$ pochodzą z tej samej populacji, tzn. $H_0 : F_1(x_i) = F_2(x_i)$.

Odległość dystrybuant $F_1(x_i)$ od $F_2(x_i)$ mierzono za pomocą statystyki

$$D_n = \sup [F_1(x_i) - F_2(x_i)] \quad (34)$$

Wartości krytyczne statystyki D_n dane nierównością:

$$P \left\{ D_n \geq D_n(\alpha) \right\} = \alpha \quad (35)$$

odczytano w [47] dla $\alpha = 0,05$.

Jeżeli $D_n \geq D_n(\alpha)$, to hipotezę H_0 odrzucono, tzn. istnieje istotna różnica między rozkładami charakterystyk warunków użytkowania w badanych środowiskach.

Jeżeli $D_n < D_n(\alpha)$, to nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 (tabela 27) .

W przypadku 2 sprawdzono hipotezę $H_0 : \bar{x}_{i1} = \bar{x}_{i2}$ obliczając wartości statystyki U :

$$U_{12} = \frac{\bar{x}_{i1} - \bar{x}_{i2}}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (36)$$

Z tablic rozkładu normalnego $N(0,1)$, dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ wartość krytyczną statystyki U taką, że:

$$P \left\{ |U| \geq U_\alpha \right\} = \alpha$$

Jeżeli $|U_{12}| \geq U_\alpha$, to sprawdzoną hipotezę H_0 odrzucano na korzyść hipotezy alternatywnej (tabela 28) .

Do ilościowej analizy wyników posłużono się wsp. η obliczonym ze wzoru

$$\eta = \frac{N(F_1 \neq F_2) + N(\bar{x}_{i1} \neq \bar{x}_{i2})}{N(F_1 = F_2) + N(\bar{x}_{i1} = \bar{x}_{i2})} \quad (37)$$

T a b e l a 27

Weryfikacja hipotezy $H_0; F_i(x) = F_j(x), i \neq j$

Char. Srod.	$F(v)$	$F(t_{v=0})$	$F(t_{v>0})$	$F(t_{v>20})$	$F(t_{v>60})$	$F(\alpha)$	$F(1_{\alpha=0})$	$F(1_{\alpha>0})$	$F(a^+)$	$F(a^-)$	$F(Q)$	$F(1_{q<50})$	$F(1_{q>100})$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
11-21	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	-
11-31	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+
11-32	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
11-33	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+
21-31	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+
21-32	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+
21-33	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	+	+
31-32	-	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+
31-33	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+
32-33	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+

Oznaczenia:

"+" - nie ma podstaw do odrzucenia hipotez H_0 "- " - odrzucono hipotezę H_0

T a b e l a 28

Weryfikacja hipotezy $H_0 : \bar{x}_i = \bar{x}_j ; i \neq j$

Char. Srod.	$\bar{v}$	$\bar{t}_{v=0}$	$\bar{t}_{v>0}$	$\bar{t}_{v>20}$	$\bar{t}_{v>60}$	$\bar{a}^+$	$\bar{a}^-$	$\bar{\alpha}$	$\bar{l}_{\alpha=0}$	$\bar{l}_{\alpha>0}$	$\bar{Q}$	$\bar{l}_{q<50}$	$\bar{l}_{q>100}$	$\bar{\delta}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
11-21	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+	+	+	-
11-31	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-
11-32	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-
11-33	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-
21-31	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-
21-32	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	+
21-33	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-
31-32	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	-	-
31-33	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-
32-33	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	+	-

Oznaczenia:

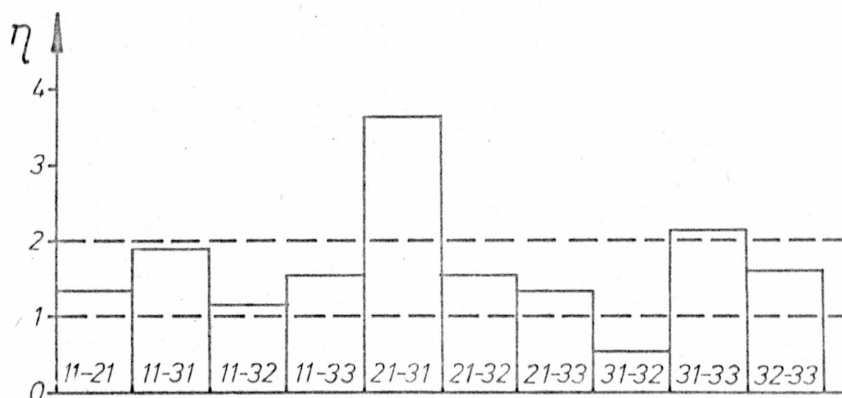
"+" - nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 "- " - hipotezę H_0 odrzucono

gdzie:

$N(\bar{x}_{11} \neq \bar{x}_{12})$ - ilość odrzuconych hipotez o równości wartości oczekiwanych

$N(F_1 \neq F_2)$ - ilość odrzuconych hipotez o równości dystrybuant

Jeżeli $\eta < 1$ świadczy to o przewadze podobieństw między środowiskami. Wartość $\eta > 1$ sugeruje istnienie istotnych różnic między charakterystykami środowisk użytkowania.



Rys.19. Wartość współczynnika η między środowiskami eksploatacji

Z rysunku 19 wynika, że ze względu na badane charakterystyki istnieje podobieństwo warunków ruchu i obciążenia w środowiskach 32-31. Hipoteza o równości dystrybuant potwierdziła się w tym przypadku w 71,4%, a hipoteza o równości średnich w 57,1%. Zarejestrowane różnice dotyczą prędkości jazdy $F(v)$, czasu jazdy z prędkością $V \geq 20$ km/h, przyspieszeń dodatnich ruchu i odległości odcinków drogi przejechanych z obciążeniem 25-50% Q_{dop} .

W pozostałych przypadkach stwierdzono przewagę istotnych różnic między charakterystykami warunków użytkowania. Przyjęto, że największe różnice występują między:

- środowiskami 21 i 31 ($\eta = 3,65$),

podobne: - średni kąt skrętu,

- średnia długość drogi przejechanej przez przeciążony autobus,

- stan nawierzchni,

różne: - średnia prędkość jazdy,

- średni czas postoju,

- średnie czasy jazdy na poszczególnych poziomach prędkości,

- średnia droga przejechana na wprost,
 - średnia droga przejechana po łuku,
 - średnie przyspieszenia jazdy ujemne i dodatnie ,
 - średnie obciążenie ,
 - średnia droga przejechana przez pusty autobus
($q = 25-50\%$) ,
- środowiskami 31 i 33 ($\eta = 2.10$)
- podobne: - średni czas jazdy z $V \geq 60$ km/h ,
- średni kąt skrętu ,
 - średnia długość jazdy przeciążonego autobusu ,
- różne : - średnia prędkość ,
- średni czas postoju ,
 - średni czas jazdy z $V > 0$; $V \geq 20$ km/h ,
 - średnia droga przejechana na wprost i po łuku ,
 - średnie przyspieszenia ruchu ,
 - stan nawierzchni.
- środowiskami 11 i 31 ($\eta = 1.87$)
- podobne: - średni kąt skrętu ,
- średnia długość odcinka jazdy po łuku,
 - średnie przyspieszenie ujemne jazdy,
 - średnia długość jazdy przeciążonego autobusu
- różne : - średnia prędkość ,
- średni czas postoju ,
 - średni czas jazdy z $V > 0$, $V \geq 20$ i $V \geq 60$ km/h ,
 - średnia droga przejechana na wprost,
 - średnie przyspieszenia dodatnie ruchu ,
 - średnie obciążenie ,
 - średnia długość jazdy pustego autobusu,
 - stan nawierzchni.

6. BADANIE NIEZAWODNOŚCI POJAZDU

6.1. Metoda badań

Badanie niezawodności autobusu miejskiego Jelcz PR 110 U przeprowadzono metodą próby ciągłej. Metodę próby ciągłej określa ją cztery elementy uporządkowane następująco [25] :

$$M_{pc} : \langle P_{pc} , Q , \lambda_u , T_B \rangle \quad (38)$$

gdzie:

- P_{pc} - parametry próby ciągłej,
- Q - obciążenie wymuszające proces starzenia pojazdu w czasie badań,
- λ_u - intensywność użytkowania samochodów w czasie badań,
- T_B - całkowity czas badań próbki samochodów.

Parametry próby ciągłej:

$$P_{pc} : \langle I , Z(S_j), Z_B \rangle \quad (39)$$

gdzie:

- I - liczność próby ciągłej,
- $Z_B = Z_j(t_0) - Z_j(t_B)$ - planowany do zużycia potencjał eksploatacyjny samochodu $S_j \in S$ od chwili początku t_0 do chwili końca t_B badań,
- $Z(S_j) = Z_j(0) - Z_j(t_0)$ - oznacza zapas potencjału eksploatacyjnego j -tego samochodu zaliczonego do próby w chwili t_0 .

W badaniach założono, że dany skończony zbiór samochodów $S = \{S_j\}$, $j = \overline{1, 110}$ jest jednorodny ze względu na badane cechy konstrukcyjne i eksploatacyjne. Na zbiór ten złożyły się autobusy Jelcz PR 110 U fazy CD wyprodukowane w roku 1976 o numerach podwozia od 12 RB 0022 do 12 RB 0205 (tabela 29). Dodatkowo obserwowano autobusy serii informacyjnej, faza B, o numerach od 12 RB 0004 do 12 RB 0017, oraz autobusy fazy F eksploatowane w środowisku poznańskim o numerach od 12 RB 0229 do 12 RB 1713.

Liczność próby wynosiła $I = 110$. Ilość autobusów w poszczególnych środowiskach zestawiono w tabeli 30. Dane wykorzystane w niniejszym opracowaniu pochodzą z badań do zużycia potencjału eksploatacyjnego $Z_B = 100$ tys.km. Przebiegi autobusów w chwili rozpoczęcia badań zestawiono w tabeli 31. Średni przebieg w poszczególnych środowiskach wynosił $Z_j^*(t_0) = 4899 - 15388$ km. Informacje o eksploatacji obiektów z okresu listopad 1976 - styczeń 1977 odtworzone

T a b e l a 29

Dane identyfikujące badane pojazdy

Środo- wisko	Data produkcji	Faza produkcji	Numery	
			od	do
11	1975	B	12RB0004	12RB0012
	1976	CD	12RB0022	12RB0032
21	1975	B	12RB0007	12RB0013
	1976	CD	12RB0083	12RB0205
31	1976	CD	12RB0033	12RB0059
32	1976	CD	12RB0035	12RB0080
33	1975	B	12RB0013	12RB0017
	1976	CD	12RB0053	12RB0082

T a b e l a 30

Liczność badanych autobusów w środowiskach eksploatacji

Środo - wisko	Liczba autobusów fazy	
	B	CD
11	5	10
21	5	50
31	-	20
32	-	20
33	5	10
Próba	15	110

T a b e l a 31

Elementy określające metodę próby ciągłej

Środowisko	Data rozpoczęcia eksploatacji obserwowanej		Stan licznika na początku eksploatacji obserwowanej			Całkowity czas badań		Średnia intensywność użytkowania	
	od	do	min km	max km	śr. km	min dni	max dni	min tys.km dzień	max tys.km dzień
11	01.12.76	5.12.76	4106	9338	6755	466	730	0,137	0,214
21	1.03.77	1.07.77	1967	12454	4375	521	821	0,122	0,192
31	1.02.77	1.02.77	1321	15211	9596	280	626	0,136	0,304
32	1.02.77	8.02.77	210	21223	4899	210	650	0,154	0,470
33	1.02.77	1.02.77	11562	17922	15398	246	414	0,242	0,406
Próba	1.12.76	1.07.77	210	21223	8202	210	821	0,122	0,470

na podstawie dokumentacji prowadzonej u użytkownika i producenta (okres gwarancyjny). Wobec powyższego założono, że zapas potencjału eksploatacyjnego j -tego samochodu spełnia warunek:

$$\bigwedge_{S_j \in S} Z_c(0) - \varepsilon \leq Z(S_j) \leq Z_c(0) \quad \text{dla którego} \quad \varepsilon \geq 0 \quad (40)$$

gdzie:

$Z_c(0)$ - całkowity zapas potencjału eksploatacyjnego samochodu w chwili $t = 0$

ε - dopuszczalna mała wartość zużycia potencjału eksploatacyjnego w chwili $t=t_0$ rozpoczęcia badań.

Badane autobusy były własnością użytkownika. Eksploatowano je w charakterystycznych dla danego środowiska warunkach, przy niezwiększonej intensywności procesu starzenia fizycznego Q . Zakres wartości intensywności użytkowania samochodów λ_u oraz całkowitego czasu badań T_B w poszczególnych środowiskach eksploatacji przedstawiono w tabeli 31.

Celem badań było uzyskanie:

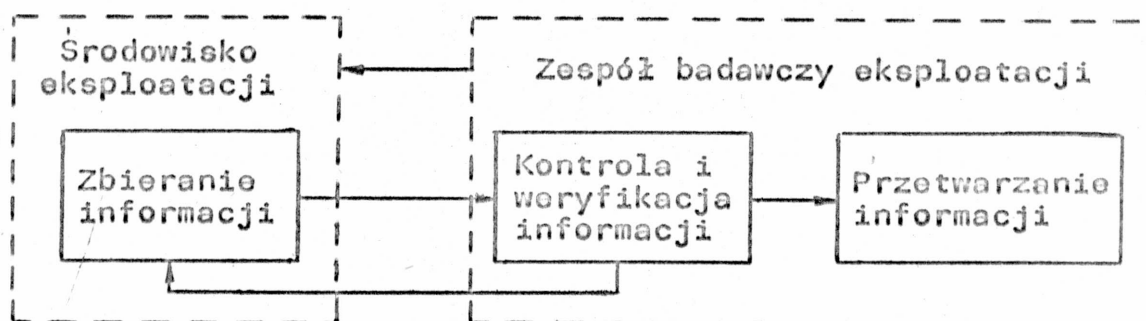
- obiektywnej oceny trwałości badanych autobusów ,
- wytycznych do modernizacji,
- oceny prac modernizacyjnych,
- wzrostu wskaźników niezawodności,
- oceny realizacji procesu eksploatacji.

Ze względu na cel badań i przyjętą metodę badań zdecydowano się

na plan badań typu (N,W,L) tzn. (110,W,100000) - 110 obiektów naprawialnych badanych do przebiegu 100 000 km.

6.2. System zbierania i przetwarzania danych o eksploatacyjnej niezawodności autobusu

Kolejne wersje systemu zostały szczegółowo opisane w [76,78,81, 87]. Schemat blokowy zbierania i przesyłania informacji pokazano na rysunku 20.



Rys.20. Schemat blokowy zbierania i przesyłania informacji.

W każdym środowisku trójkę obserwatorów badań stanowili etatowi pracownicy przedsiębiorstw eksploatujących autobusy, przeszkoleni i zbierający informacje zgodnie z opracowaną i dostarczoną instrukcją. Informacje przesyłano co miesiąc do zespołu badawczego, gdzie podlegały weryfikacji pod względem formalnym i merytorycznym. Dodatkowo pracownicy zespołu badawczego okresowo użytkowali poszczególne bazy przedsiębiorstw komunikacyjnych.

Wprowadzono 3 zasadnicze nośniki informacji:

a/ nośnik podstawowy

- "karta uszkodzeń i napraw samochodu" (rys.21) wypełniona jest każdorazowo, w przypadku dokonywania naprawy bieżącej, obsługi technicznej, modyfikacji lub naprawy głównej. Zawiera: dane adresowe obiektu, charakterystyki jego pracy i odnowy oraz informacje dotyczące postaci, przyczyny, rodzaju uszkodzenia i sposobu jego usunięcia. Karta ta jest podstawą do niezawodnościowej analizy obiektu badań.

b/ nośnik pomocniczy

- "karta informacyjna pracy samochodu" (rys.22) służy do bieżącej rejestracji procesu użytkowania.

Kartę wypełnia się w układzie miesięcznym dla każdego miesiąca i każdego pojazdu oddzielnie. Jest ona podstawą do oceny intensywności użytkowania oraz zużycia materiałów pędnych i oleju silnikowego.

c/ nośniki uzupełniające

- "Dane identyfikujące badane samochody", stanowią wzór szczegółowych danych o badanych pojazdach i umożliwiają przypisanie określonego pojazdowi 4-cyfrowego kpdowego numeru badawczego. Karta wypełniana jest jednorazowo dla każdego badanego obiektu. Dodatkowo do listopada 1977 r. stosowano:
- "Wykaz części uszkodzonych" zawierający wyselekcjonowane informacje z "Karty uszkodzeń samochodu",
- "Kartę zestawieniową uszkodzeń i napraw" zawierającą informacje o uszkodzeniach jednego samochodu w ciągu jednego miesiąca.

Wszystkie informacje kodowano w postaci cyfrowej. System przetwarzania danych na EMC przedstawiono w opracowaniu [81] .

6.3. Wyniki badań

W niniejszej pracy, ze względu na postawiony cel, ograniczono zbiór charakterystyk do trwałości i poprawności działania. Szczegółowej analizie poddano rozkład przebiegu między uszkodzeniami obiektu i rozkład przebiegu do pierwszego uszkodzenia.

Na poziomie złożoności pojazdu uwzględniono wszystkie elementy łącznie z silnikiem , a na poziomie układ pominięto układy silnika (C01-06) będące przedmiotem oddzielnych prac.

Algorytm obliczeń

Ze względu na zróżnicowaną uszkodzalność układów autobusów w badanych środowiskach, przy przyjętym planie badań, uzyskano bardzo różne ilości danych od 0 do 537 . Opracowano więc algorytm wyboru metody szacowania funkcji niezawodności przedstawiony na rys.23.

Wielkościami wejściowymi są:

- N_{MTTF} - ilość danych o pierwszych uszkodzeniach danego układu,
- N_{MTBF} - ilość danych o przebiegach między uszkodzeniami.

W zależności od tych wielkości szacowano $F(TBF)$ lub $F(TTFF)$ następującymi metodami:

1. z przybliżonego wzoru

$$T = \frac{N_E \cdot L}{N_{MTTF} + N_{MTBF}} \quad (41)$$

INSTYTUT KONSTRUKCJI I EKSPLOATACJI MASZYN
POLITECHNIKI WROCLAWSKIEJ ul. Łukasiewicza 7
50-370 WROCLAW tel. 229-636

	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	CZAS OBSŁUGI MODERNIZACJI	CZAS PRZESTOJU SUMARYCZNY	ILOSC OSOB DOKON. OBSŁ.	OBSŁUGI TECHNICZNE I MODERNIZACJE	TERENOWE, WARUNKI UŻYT.	PRZECIWOPOW. SAMOCHODU	DRÓGOWE	NAWIERZCHNIA DROG	DOMINUJĄCY RODZ. ŁADUNK	LICZBA USZK.
Sr Nr autob. Nr karty	Dzień M-c Rok		godz. min.	godz.		godz. min.								
1 5	10	15	20	25	30	35		40 45	50			55		
1														

CZĘŚĆ 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 (ZESPÓŁU)	KOD KARTY	NR TABLICZKI z katalogu	KOD CZĘŚCI (ZESPÓŁU) z katalogu	MODYFIKACJA	ILOŚĆ SZTUK CZĘŚCI	POSTAĆ USZKODZENIA	PRZYCZYNA USZKODZENIA	SPOSOB USUNIĘCIA USZKODZENIA	PRZYCZYNY OCZEKIWANIA	RODZAJ USZKODZENIA	USZKODZENIE NIE USUNĄŁ	CZAS NAPRAWY CZĘŚCI (ZESPÓŁU)	KOSZT CZĘŚCI ZAMIENNEJ	KOSZT ROBOCIZNY
	Sr Nr autob. Nr karty	z katalogu									kto gdzie	godz. min.	zł.	zł.
	5	10	15		20	25	30	35	40	45	50			
	2	1												
	2	2												
	2	3												
	2	4												
	2	5												
	2	6												
	2	7												

Rys.21. Nośnik podstawowy

Karta informacyjna autobusu

3	Sr.	Nr.aut	Nr.kar.	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 :		

gdzie:

N_E - ilość badanych autobusów w środowisku E

$L = 100$ tys.km - przebieg badanych autobusów.

2. metodą dystrybuanty empirycznej:

Jeżeli przebiegi $x_1, x_2, \dots, x_n$ uporządkuje się w ciąg niemalejący

$$x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)} \quad (42)$$

to dystrybuanta empiryczna dana jest wzorem:

$$F^*(x) = \begin{cases} 0 & , \text{ jeżeli } x \leq x_{(1)} \\ \frac{m}{n} & , \text{ jeżeli } x_{(m)} \leq x \leq x_{(m+1)} , 1 \leq m \leq n-1 \\ 1 & , \text{ jeżeli } x > x_{(n)} \end{cases} \quad (43)$$

3. Metodą równych przedziałów lub równych prawdopodobieństw:

Aproksymacje rozkładów prowadzono analogicznie jak w p.5.4 pracy.

Oszacowane funkcje niezawodności układów zestawiono w tabelach 32-37.

Przyjęto następujące oznaczenia (kolumna 3) :

$\bar{T}$ - korzystano z wzoru przybliżonego, metoda 1,

MTBF- oszacowano $F(TBF)$ metodą 3 ,

MTBF* oszacowano $F(TBF)$ metodą 2 ,

MTTFF- oszacowano $F(TTFF)$ metodą 3 ,

MTTFF* oszacowano $F(TTFF)$ metodą 2.

Niezawodność pojazdu

Funkcję niezawodności pojazdu w środowiskach eksploatacji podano w tabeli 32. Za wyjątkiem 31 , przebieg między uszkodzeniami pojazdu zaaproksymowano rozkładem wykładniczym o intensywności uszkodzeń od $\lambda_{21} = 0,715 \frac{\text{uszk.}}{\text{tys.km}}$ do $\lambda_{32} = 0,309 \frac{\text{uszk.}}{\text{tys.km}}$.

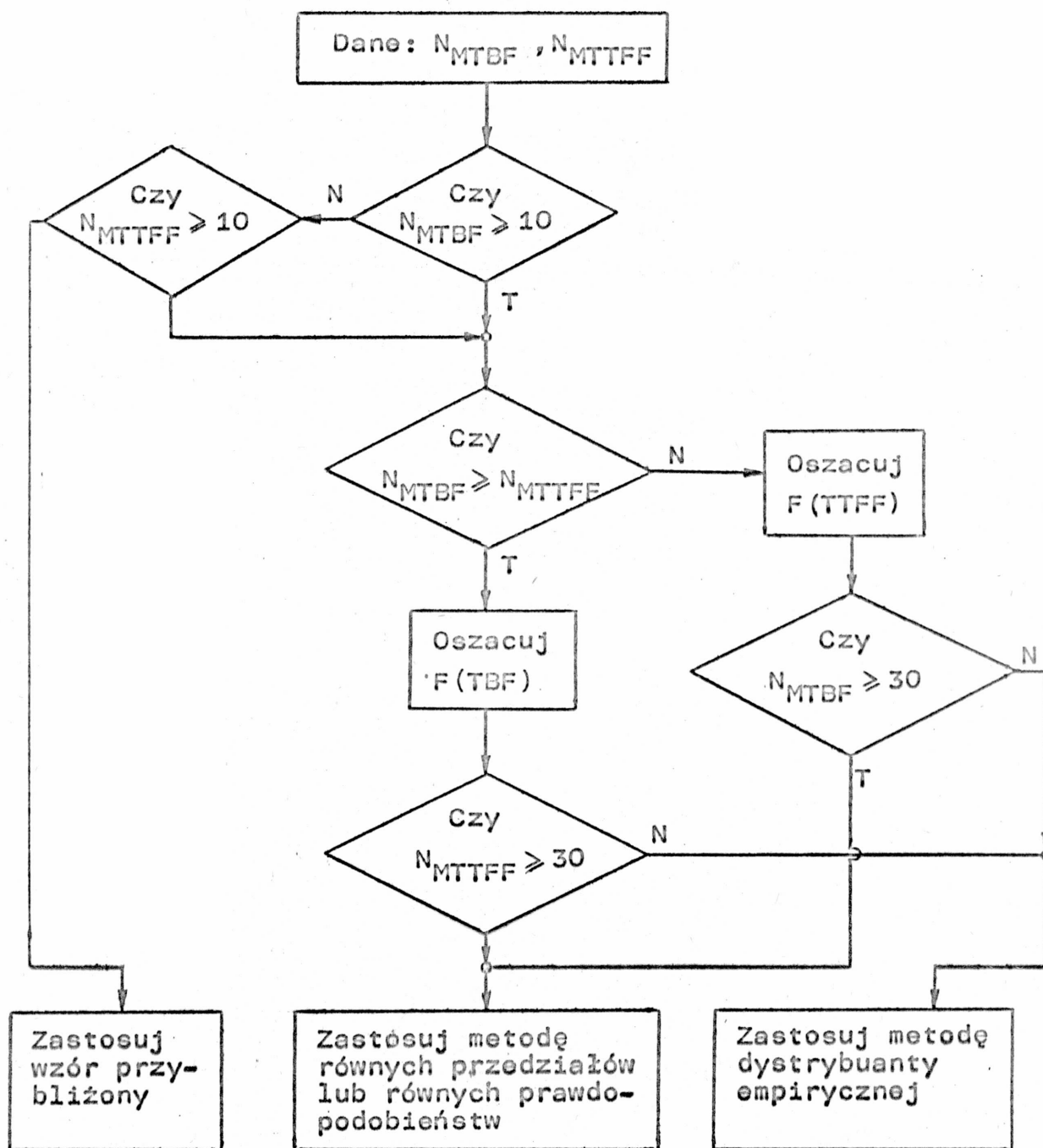
W środowisku 31 najlepszą zgodność z rozkładem empirycznym wykazał rozkład Weibulla z parametrem kształtu $\delta = 1,25$. Świadczy to o rosnącej w czasie intensywności uszkodzeń. Środowisko 31 wyróżnia się spośród pozostałych największym zróżnicowaniem charakterystyk warunków użytkowania w szczycie i poza nim.

Średnia w czasie badań intensywność uszkodzeń w 31 wynosi

$$\bar{\lambda}_{31} = 0,358 \frac{\text{uszk.}}{\text{tys.km}} . \text{ Dla obliczonych funkcji niezawodności okre-}$$

ślono [7,68] przedziały ufności na poziomie $\alpha = 0,05$ (rys.24).

Widoczne jest nakładanie się tych obszarów dla środowisk 21 i 33 oraz 11,31 i 32.



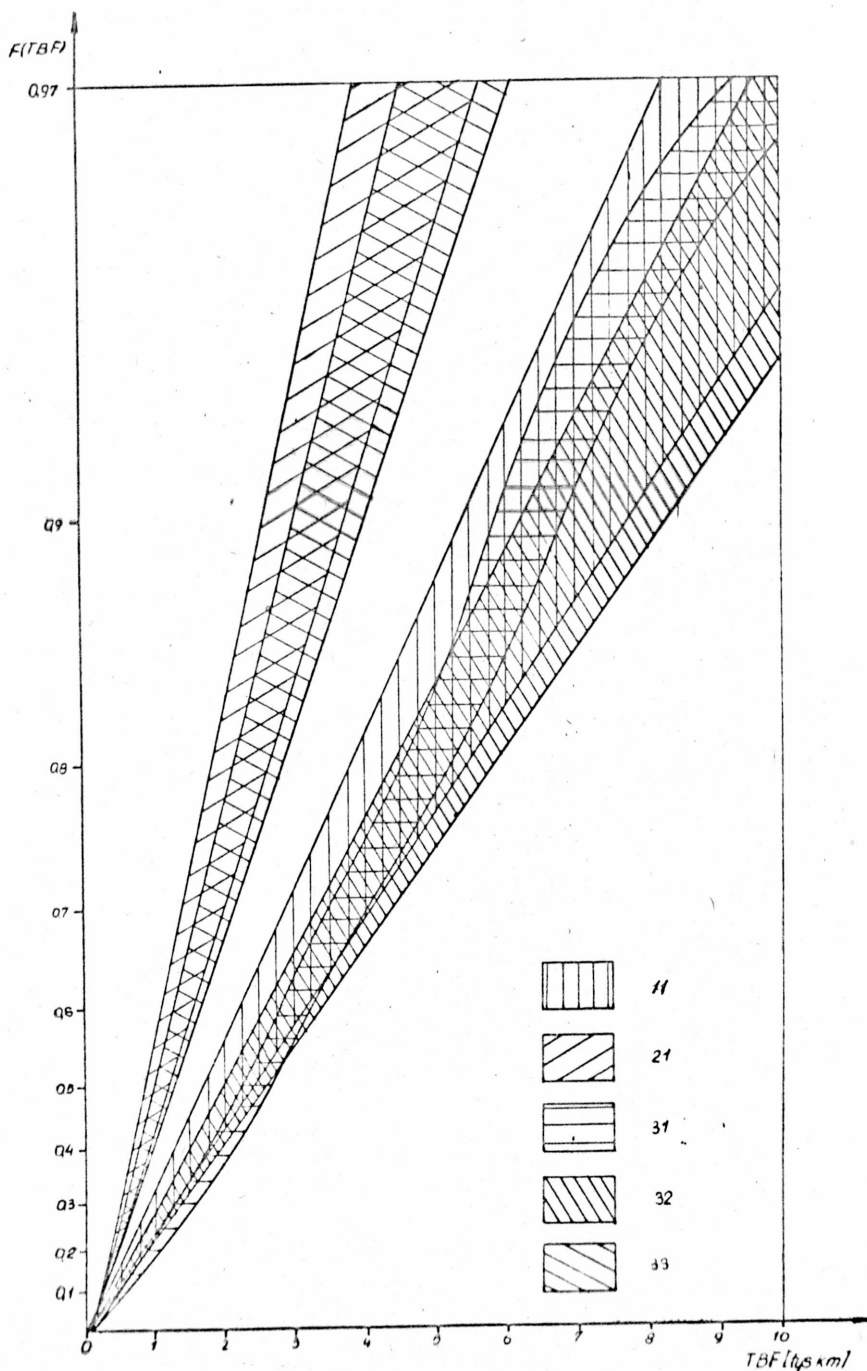
Rys.23. Algorytm wyboru metody szacowania funkcji niezawodności autobusu.

Wykres funkcji niezawodności w 31 - rozkład Weibulla - w przyjętej siatce rozkładu wykładniczego jest krzywoliniowy. Pozostałe wykresy, zgodnie z zasadą budowy siatek prawdopodobieństwa są liniami prostymi.

T a b e l a 32

Funkcja niezawodności pojazdu w środowisku eksploatacji

Środo- wisko	λ	Rozkład	$E(x)$	$\sqrt{D^2(x)}$	$E(x)$	$E(x)$
11	0,28	$\exp(-0,3435 t)$	2,911	2,911	2,53	3,40
21	0,37	$\exp(-0,7153 t)$	1,398	1,398	1,23	1,61
31	0,85	$\exp\left[-\left(\frac{t}{4,26}\right)^{1,25}\right]$	2,790	2,230	2,59	3,01
32	0,42	$\exp(-0,3093 t)$	3,233	3,233	2,84	3,72
33	0,26	$\exp(-0,6236 t)$	1,603	1,603	1,41	1,83



Rys.24.

Przedziały ufności
funkcji niezawodno-
ści pojazdu w środo-
wiskach eksploata-
cji.

Niezawodność układów autobusu w środowisku 11 (tabela 33)

Ze względu na małą liczbę obserwowanych autobusów, w 11 oszacowano rozkład przebiegu między uszkodzeniami tylko dla czterech układów: 07 - sprzęgła, 11 - hamulcowego, 15 - zawieszenia i stabilizacji tylnej i 20 - nadwozia. Dwa układy (07, 11) opisano rozkładem Weibulla z parametrem $\delta < 1$, co świadczy o malejącej w czasie intensywności uszkodzeń, układ 20 rozkładem Weibulla z $\delta > 1$, a układ 15 rozkładem wykładniczym. Rozkłady teoretyczne wykazują dobrą zgodność z rozkładem empirycznym - wartość statystyki Kołmogorowa $\lambda = 0,18 - 0,54$ wobec $\lambda_{kr} = 0,89$. Najkrótszy MTBF z tych "słabych układów" ma układ 20 (7,1 tys.km), najdłuższe układ 15 (22,3 tys.km) i 11 (23,8 tys.km).

Przebiegi między uszkodzeniami pozostałych układów oszacowano z wzoru przybliżonego (41), Są one większe od 100 tys.km.

T a b e l a 33

Funkcje niezawodności układów autobusu w środowisku 11

Układ	Rozkład		λ	N	E(x)	$\sqrt{D^2(x)}$	E(x)	E(x)
07	$\exp \left[-\left(\frac{t}{5,003} \right)^{0,73} \right]$	MTBF	0,226	32	11,16	15,42	17,52	7,5
08				3	333		1219	130
09				4	250		732	110
10				3	333		1219	130
11	$\exp \left[-\left(\frac{t}{7,39} \right)^{0,62} \right]$	MTBF	0,94	20	23,8	38,2	46,3	13,08
12				0	350			333
13				4	250		732	110
14				4	250		732	110
15	$\exp (-0,0448 t)$	MTBF	0,37	14	22,3	22,3	14,3	36,8
16				0	350			333
17				3	330		1919	130
18				7	143		305	76
19				7	143		305	76
20	$\exp \left[-\left(\frac{t}{22,2} \right)^{1,44} \right]$	MTBF	0,18	35	7,1	4,9	8,74	5,8

Niezawodność układów autobusu w środowisku 21 (tabela 34)

Tylko dla układu 09 - oś przednia - skorzystano z wzoru przybliżonego (41). Najkrótszy MTBF oszacowano dla układu elektrycznego 19 (9,3 tys.km) i hamulcowego 11 (12,7 tys.km). Najdłuższe MTBF obliczono dla układu 18 - ogrzewanie i klimatyzacja (28.0 tys.km), 17 - pneumatycznego (25.8 tys.km) i 0,7 - sprzęgło (25,6 tys.km). Przebiegi do pierwszego uszkodzenia, przyjęte jako miary niezawodności pozostałych układów, są zdecydowanie dłuższe od MTBF i wynoszą od 103,0 tys.km dla układu - zawieszenie i stabilizacja przednia do 447.0 tys.km dla układu 08 - skrzynia biegów. Rozkład F (TBF) oszacowano:

- rozkładem Weibulla z $\delta < 1$ dla układów 07, 12, 18,
- rozkładem Weibulla z $\delta > 1$ dla układu 11,
- rozkładem wykładniczym dla układów 15, 17, 19, 20.

Rozkład F TTFF oszacowano:

- rozkładem normalnym dla układów 16 i 11,
- rozkładem Weibulla z $\delta < 1$ dla układu 08
- rozkładem Weibulla z $\delta > 1$ dla układu 10,
- rozkładem wykładniczym dla układu 13.

Wartości statystyki Kołmogorowo $\lambda = 0,29 - 0,58$.

Niezawodność układów autobusu w środowisku 31 (tabela 35)

Rozkłady F (TBF) aproksymowano rozkładem wykładniczym dla układów 11 (hamulcowy), 15 (zawieszenie i stabilizacja tylna), 19 (elektryczny). Wartości oczekiwane tych rozkładów zawierają się w granicach od 9,6 tys.km dla układu 19 do 18,0 tys.km dla układu 15.

Rozkłady F (TTFF) oszacowano dla układu 07 (sprzęgło) rozkładem Weibulla z $\delta < 1$, a dla pozostałych układów (09, 10, 17, 20) rozkładem Weibulla z $\delta > 1$. Najmniejszy MTTF - wykazuje układ 20 - nadwozie (45,7 tys.km), a największy 10 - tylny most (136,0 tys.km). Wartości statystyki Kołmogorowa $\lambda = 0,23 - 0,52$.

Niezawodność układów autobusu w środowisku 32 (tabela 36)

Rozkłady F(TBF) oszacowano rozkładami:

- Weibulla z $\delta > 1$ dla układów 07 (sprzęgło) i 11 (hamulcowy),
- Weibulla z $\delta < 1$ dla układów 15 (zawieszenie i stabilizacja tylna) i 19 (elektryczny).

Wartości MTBF wynoszą od 19,3 tys.km (07) do 29,1 tys.km (15).

Funkcje niezawodności układów autobusu w środowisku 21

Układ	Rozkład		λ	N	E(x)	$\sqrt{D^2(x)}$	$\underline{E}(x)$	$\overline{E}(x)$
07	$\exp \left[- \left(\frac{t}{12,2} \right)^{0,08} \right]$	MTTF	0,58	94	25,6	32,5	20,3	32,2
08	$\exp \left[- \left(\frac{t}{14,88} \right)^{0,48} \right]$	MTTF	0,32	28	$\frac{447}{(350)}$	943	232	914
09				7	$\frac{714}{(350)}$		378	1521
10	$\exp \left[- \left(\frac{t}{544,6} \right)^{1,15} \right]$	MTTF	0,38	22	185	161	135,7	1632
11	$\exp \left[- \left(\frac{t}{25,8} \right)^{1,25} \right]$	MTTF	0,46	169	12,7	18,2	11,5	14,1
12	$\exp \left[- \left(\frac{t}{12,8} \right)^{0,9} \right]$	MTTF	0,53	141	14,8	16,6	12,5	17,6
13	$\exp (- 0,0085 t)$	MTTF	0,29	34	118	118	88,5	159,3
14	$1 - \frac{1}{63\sqrt{2\pi}} \Phi \left[- \frac{(t - 103)^2}{7938} \right]$	MTTF	0,32	19	103,0	63	79,0	127,0
15	$\exp (- 0,0483 t)$	MTTF	0,40	99	20,7	20,7	17,6	24,6
16	$1 - \frac{1}{60\sqrt{2\pi}} \Phi \left[- \frac{(t - 112)^2}{7200} \right]$	MTTF	0,31	27	112	60	88,2	135,7
17	$\exp (- 0,0388 t)$	MTTF	0,48	65	25,8	25,8	21,2	31,7
18	$\exp \left[- \left(\frac{t}{15,6} \right)^{0,81} \right]$	MTTF	0,50	100	28,0	35	22,9	34,7
19	$\exp (- 0,1071 t)$	MTTF	0,56	256	9,3	9,3	8,4	10,3
20	$\exp (- 0,05 t)$	MTTF	0,37	126	20,0	20,0	17,2	23,4

T a b e l a 35

Funkcje niezawodności układów autobusu w środowisku 31

Układ	Rozkład		λ	N	E(x)	$\sqrt{D^2(x)}$	$\underline{E(x)}$	$\overline{E(x)}$
07	$\exp \left[- \left(\frac{t}{66,7} \right)^{0,95} \right]$	* MTTFF	0,23	14	81,8	85,6	51,1	138,6
08				3	667		2441	260
09	$\exp \left[- \left(\frac{t}{1585,6} \right)^{1,65} \right]$	* MTTFF	0,27	15	77,9	47,8	60,0	104,4
10	$\exp \left[- \left(\frac{t}{1113,1} \right)^{1,4} \right]$	* MTTFF	0,25	10	136,5	102,0	93,6	210,2
11	$\exp (- 0,0643 t)$	MTBF	0,39	42	15,5	15,5	11,9	20,3
12				12	167		289	104
13				4	500		1465	220
14				11	182		324	109
15	$\exp (- 0,0556 t)$	MTBF	0,35	49	18,0	18,0	14,2	23,0
16				0	350		667	
17	$\exp \left[- \left(\frac{t}{115,6} \right)^{1,1} \right]$	* MTTFF	0,39	15	83,9	76,1	56,7	130,1
18				2	1000		5630	320
19	$\exp(-0,1041 t)$	MTBF	0,52	171	9,6	9,6	10,9	8,4
20	$\exp \left[- \left(\frac{t - 25}{30,0} \right)^{1,1} \right]$	* MTTFF	0,41	17	45,7	43,8	31,7	70,4

T a b e l a 36

Funkcje niezawodności układów autobusu w środowisku 32

Układ	Rozkład		λ	N	E(x)	$\sqrt{D^2(x)}$	$\underline{E(x)}$	$\overline{E(x)}$
07	$\exp \left[- \left(\frac{t}{39,2} \right)^{1,2} \right]$	MTBF	0,05	33	19,3	16,0	15,2	25,1
08	$\exp \left[- \left(\frac{t}{26,6} \right)^{1,1} \right]$	MTTF	0,35	12	164	133	106,2	269,9
09	$\exp \left[- \left(\frac{t}{211755} \right)^{2,5} \right]$	MTTF	0,21	12	119	51	98,3	148,2
10				0	350		667	
11	$\exp \left[- \left(\frac{t}{31,8} \right)^{1,1} \right]$	MTTF	0,23	32	21,7	19,6	16,7	28,9
12				9	222		424	126,5
13	$\frac{1}{2} - \frac{\Lambda}{132\sqrt{2\pi}} \Phi \left[\frac{(\lg t - 2,28)^2}{34848} \right]$	MTTF	0,33	11	192	132	280,7	103,3
14	$1 - \frac{1}{40,5\sqrt{2\pi}} \Phi \left[\frac{(t-98,5)^2}{3280,5} \right]$	MTTF	0,19	14	98,5	40,5	121,9	75,1
15	$\exp \left[- \left(\frac{t}{9,02} \right)^{0,7} \right]$	MTBF	0,66	43	29,1	42,1	20,0	42,8
16				1	350		39000	420
17				7	286		609	152
18				12	167		289	103
19	$\exp \left[- \left(\frac{t}{7,92} \right)^{0,74} \right]$	MTBF	0,56	49	21,0	29,6	15,3	29,3
20	$\exp \left[- \left(\frac{t}{30,0} \right)^{0,73} \right]$	MTTF	0,62	12	148	204	76,9	313,6

T a b e l a 37

Funkcje niezawodności układów autobudu w środowisku 33

Układ	Rozkład		λ	N	E(x)	$\sqrt{D^2(x)}$	$\underline{E}(x)$	$\overline{E}(x)$
07	$\exp(-0,0625 t)$	$\frac{\%}{MTBF}$	0,55	18	16,0	16,0	10,7	25,0
08				2	500		2815	160
09				13	77		1301	48,5
10				2	500		1815	160
11	$\exp(-0,0749 t)$	$\frac{\%}{MTBF}$	0,85	28	13,4	13,4	9,8	18,9
12				9	111		2120	63,3
13				2	500		2815	160
14				9	111		2120	63,3
15	$\exp(-0,115 t)$	$\frac{\%}{MTBF}$	0,67	71	8,7	8,7	7,1	10,7
16				2	500		2815	160
17	$\exp\left[-\left(\frac{t}{9,02}\right)^{0,8}\right]$	$\frac{\%}{MTBF}$	0,28	50	13,3	16,3	9,9	18,1
18	$\exp(-0,0361 t)$	$\frac{\%}{MTBF}$	0,20	16	27,7	27,7	18,0	44,6
19	$\exp(-0,0781 t)$	$\frac{\%}{MTBF}$	0,49	43	12,8	12,8	16,6	10,0
20				8	125		2512	68,8

Wartości MTTF zawierają się w granicach od 98,5 tys.km (14) do 192,0 tys.km (13) . Rodzaje rozkładów $F(TTF)$ są bardzo zróżnicowane:

- normalny dla układu 14 (zawieszenie i stabilizacja przednia) ,
- logarytm-normalny dla układu 13 kierowniczy ,
- Weibulla z $\delta > 1$ dla 08 (skrzynia biegów) i 09 (oś przednia) ,
- Weibulla z $\delta < 1$ dla 20 (nadwozie) .

Wartość statystyki Kołmogorowa $\lambda = 0,05 - 0,66$.

Niezawodność układów autobusu w środowisku 33 (tabela 37)

Oszacowano tylko rozkłady $F(TBF)$ rozkładem:

- wykładniczym dla układów 07,11,15,18 i 19,
- Weibulla z $\delta < 1$ dla układu 17.

Najmniejszą wartość MTBF obliczono dla układu 15 zawieszenie i stabilizacja tylna (8,7 tys.km) , największą dla układu 18 - ogrzewanie i wietrzenie (27,7 tys.km) . Niezawodność pozostałych układów oszacowano z wzoru przybliżonego (41) . Dla układu 09 $T = 77,0$, a dla pozostałych układów $\bar{T} > 100$ tys.km.

Wartości $\lambda = 0,20 - 0,85$.

W dalszych obliczeniach miary niezawodności układów obojęto z góry na poziomie 350 tys.km tzn. na założonym przebiegu do naprawy głównej autobusu.

Jeżeli $MTBF(MTTF, \bar{T}) > 350$ tys.km

to

$$\hat{MTBF}(\hat{MTTF}, \hat{T}) = 350 \text{ tys.km}$$

Analiza różnic niezawodności pojazdu i układów w środowiskach eksploatacji

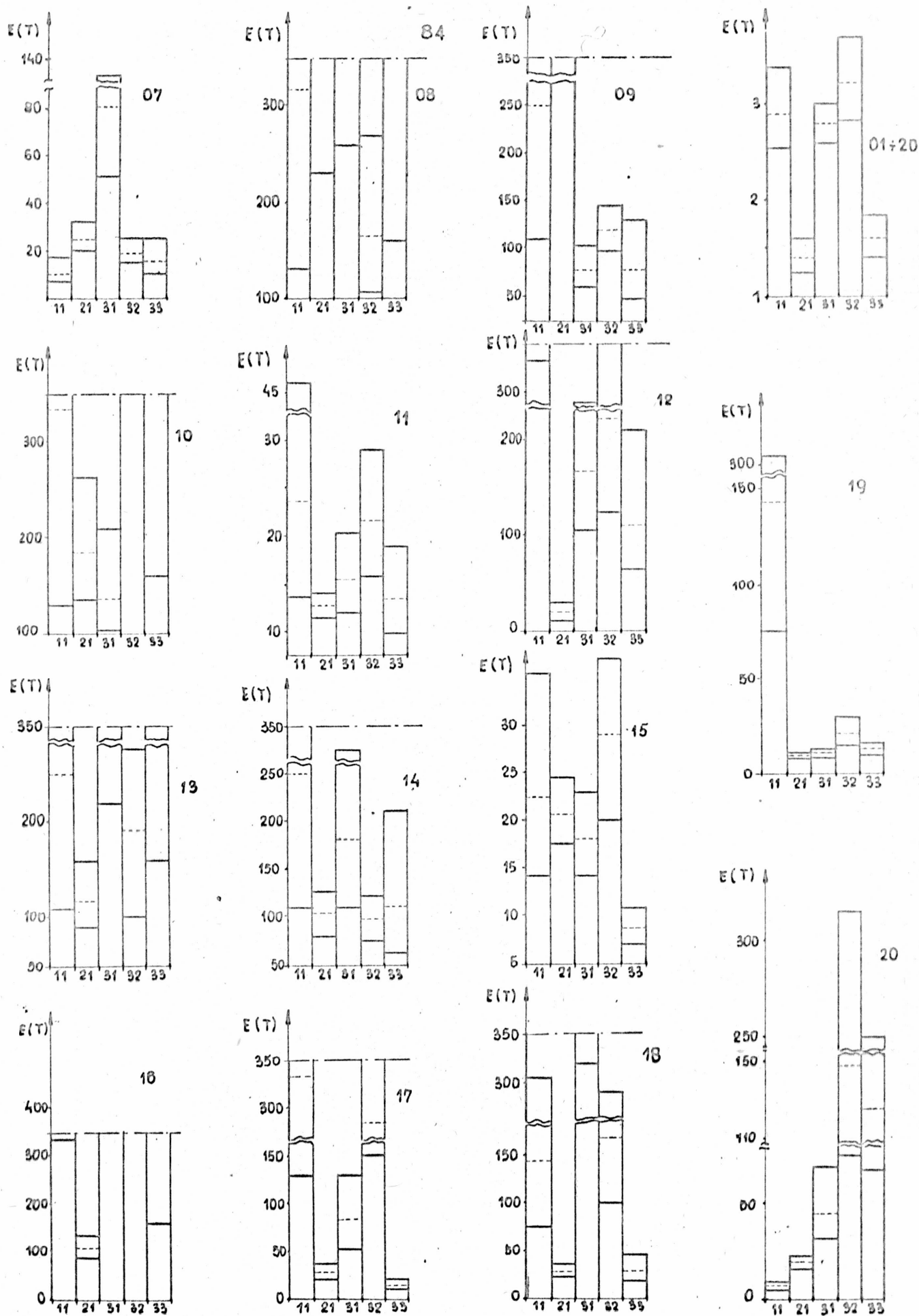
Podczas analizy uwzględniono:

1. wartości oczekiwane funkcji niezawodności układu przez obliczenie wskaźnika adaptacji układu U w środowisku E ze wzoru:

$$a_{UE} = \frac{E(x)_{UE}}{\sup_E E(x)_{UE}} \quad (44)$$

gdzie:

$E(x)_{UE}$ - wartość oczekiwana funkcji niezawodności układu U w środowisku E .



Rys.25. Przedziały ufności wartości oczekiwanej niezawodności układów w środowiskach eksploatacji.

Za miarę zmienności wartości oczekiwanej funkcji niezawodności przyjęto współczynnik wariancji wskaźnika adaptacji:

$$v_a = \frac{\sigma_U}{\bar{s}_{aU}} \quad (45)$$

Do najbardziej zróżnicowanych między środowiskami układów ze względu na współczynnik wariancji wskaźnika adaptacji należą (tabela 38): 19 - elektryczny (1,52), 17 - pneumatyczny (1,0) i 07 - sprzęgło (0,92).

Najmniejsze współczynniki wariancji mają układy: 08 - skrzynia biegów (0,26), 11 - hamulcowy (0,34) i 16 - wał napędowy (0,35).

2. hipotezę o równości wartości oczekiwanych

$$H_0 : E(x)_{UE} = E(x)_{UF} ; E \neq F$$

Ze względu na stosowanie do oceny niezawodności układów różnych miar niezawodności szacowanych różnymi metodami, do weryfikacji hipotezy H_0 wykorzystano przedziały ufności wartości oczekiwanych $E(x)_U$, tzn. postawiono hipotezę

$$H_0' : \underline{E(x)}_{UE} \geq \overline{E(x)}_{UF} , E \neq F$$

Przedziały ufności wartości oczekiwanej przedstawiono na rys.25, a wyniki weryfikacji hipotezy H_0 w tabeli 39.

Wynika z niej, że największe zróżnicowanie między środowiskami wykazują układy 17 (pneumatyczny), 18 (ogrzewanie i przewietrzanie) i 20 (nadwozie), a najmniejsze 11 (hamulcowy), 13 (kierowniczy) i 15 (zawieszenie i stabilizacja tylna). Dla układów 08 (skrzynia biegów) i 14 (zawieszenie i stabilizacja przednia) nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 we wszystkich kombinacjach środowisk.

Najczęściej odrzucano hipotezy H_0 między środowiskami 21-32, 21-31 i 21-33. Najrzadziej między środowiskami 11-32, 32-33 i 33-31. Taka kolejność nie pokrywa się analizą równości MTBF na poziomie złożoności pojazdu.

3. rodzaje funkcji niezawodności danego układu w poszczególnych środowiskach (tabela 40).

Zarówno cały pojazd, jak i jego układy opisane są w poszczególnych środowiskach eksploatacji różnymi rodzajami funkcji niezawodności. Bardziej zróżnicowane wydają się być rozkłady przebiegu między uszkodzeniami niż przebiegu do pierwszego uszkodzenia. Należy przypuszczać, że o rozkładzie przebiegu do pierwszego uszkodzenia decyduje jakość produkcji, a warunki eksploatacji

Wartości wskaźnika adaptacji a_{UE}

Układ		Środowisko eksploatacji					$\bar{a}_U$	s_{aU}	v_a
		11	21	31	32	33			
07	sprzęgło	0,14	0,31	1	0,24	0,20	0,38	0,35	0,92
08	skrzynia biegów	0,95	1	1	0,47	1	0,88	0,23	0,26
09	oś przednia	0,71	1	0,22	0,34	0,22	0,50	0,34	0,68
10	tylny most	0,95	0,53	0,39	1	1	0,77	0,29	0,38
11	hamulcowy	1	0,53	0,65	0,91	0,56	0,73	0,25	0,34
12	koła jezdne	1	0,04	0,48	0,63	0,32	0,49	0,36	0,73
13	kierowniczy	0,71	0,34	1	0,55	1	0,72	0,29	0,40
14	zaw. i stab. przednia	1	0,41	0,73	0,39	0,44	0,59	0,26	0,44
15	zaw. i stab. tylna	0,77	0,71	0,62	1	0,30	0,68	0,25	0,37
16	wał napędowy	1	0,32	1	1	1	0,86	0,30	0,35
17	pneumatyczny	1	0,08	0,25	0,87	0,04	0,45	0,45	1,0
18	ogrzewanie i wentylacja	0,41	0,08	1	0,48	0,08	0,41	0,38	0,93
19	elektryczny	1	0,06	0,07	0,15	0,09	0,27	0,41	1,52
20	nadwozie	0,05	0,14	0,31	1	0,84	0,47	0,43	0,91
1-20	pojazd	0,90	0,43	0,86	1	0,50	0,74	0,26	0,35

T a b e l a 39

Weryfikacja hipotezy o równości wartości średnich
niezawodności układów i pojazdu w środowiskach
eksploatacji

		Środowisko									
		11-21	11-31	11-32	11-33	21-31	21-32	21-33	31-32	31-33	32-33
UKŁAD	07	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+
	08	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	09	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+
	10	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+
	11	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
	12	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+
	13	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+
	14	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	15	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-
	16	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+
	17	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
	18	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
	19	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
01 - 20		-	+	+	-	-	-	+	+	-	-

$H_0 : t_{id} \geq t_{jg} ; i \neq j$ oznaczono "-"

$H_1 : t_{id} < t_{jg} ; i \neq j$ oznaczono "+"

Rodzaje funkcji niezawodności układów

	Układ	Środowisko				
		11	21	31	32	33
07	Sprzęgło	W1 (<1)	W1(<1)	W1(<1)	W1(>1)	W
08	Skrzynka biegów	-	W1 <1	-	W1(>1)	-
09	Oś przednia	-	-	W1(>1)	W1(>1)	-
10	Tylny most	-	W1(>1)	W1(>1)	-	-
11	Hamulcowy	W1 (<1)	W1(>1)	W	W1(>1)	W
12	Koła jezdne	-	W1(<1)	-	-	-
13	Kierownicy	-	W	-	LN	-
14	Zaw. i stab. przednia	-	N	-	N	-
15	Zaw. i stab. tylna	W	W	W	W1(<1)	W
16	Wał napędowy	-	N	-	-	-
17	Pneumatyczny	-	W	W1(>1)	-	W1(<1)
18	Ogrzewanie iwentylacja	-	W1(<1)	-	-	W
19	Elektryczny	-	W	W	W1(<1)	W
20	Nadwozie	W1 (>1)	W	W1(>1)	W1(<1)	-
1-20	Pojazd	W	W	W1 1	W	W

Oznaczenia:

W - r. wykładniczy

W1 (>1) - Weibulla z $\delta > 1$ W1 (<1) - Weibulla z $\delta < 1$

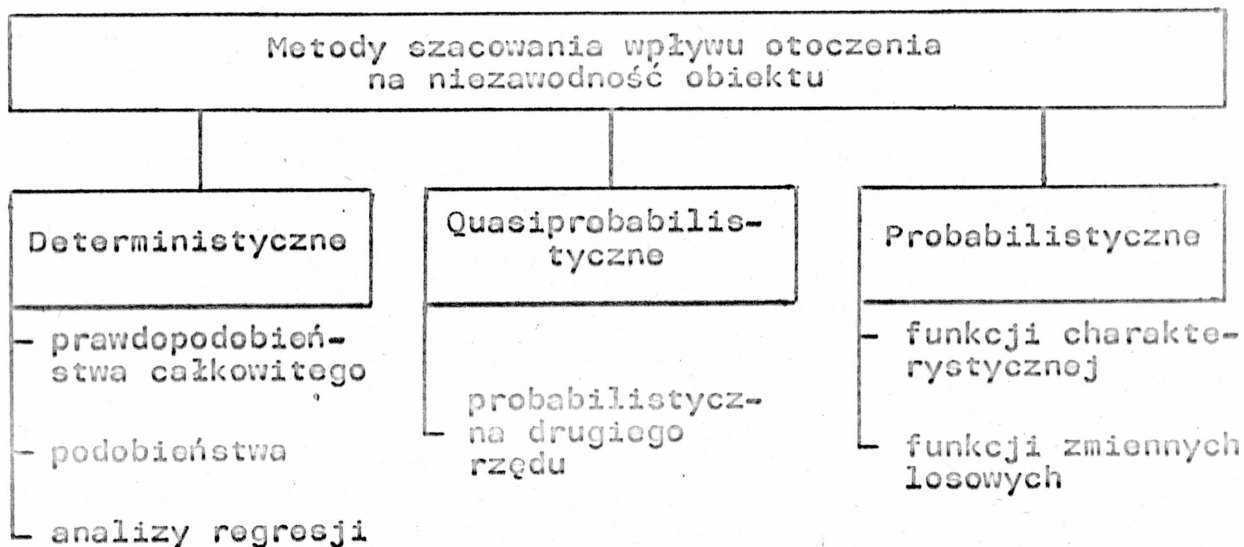
N - normalny

LN - logarytmo-normalny

powodują tylko zmiany parametrów tego rozkładu. Natomiast w rozkładzie przebiegu między uszkodzeniami, wymuszenia środowiska eksploatacji powodują zarówno zmiany parametrów, jak i rodzaju rozkładu a więc fizycznej przyczyny powstawania uszkodzenia .

7. OCENA WPŁYWU CZYNNIKÓW WYMUSZAJĄCYCH NA USZKADZALNOŚĆ POJAZDU

Zbiór metod szacowania wpływu otoczenia na niezawodność obiektu można podzielić na 3 klasy: klasę metod deterministycznych, klasę metod quasiprobabilistycznych i klasę metod probabilistycznych. Przez metody deterministyczne rozumiano postępowanie, w którym czynniki wymuszające i niezawodność obiektu są określone parametrem skupionym, najczęściej momentem stopnia 1 zmiennej losowej. W metodach quasiprobabilistycznych badane zmienne losowe opisane są momentami stopnia 1 i 2, na przykład wartością oczekiwaną, wariancją i kowariancją. Metody probabilistyczne pozwalają, w oparciu o twierdzenia rachunku prawdopodobieństwa, wnioskować o rozkładzie funkcji niezawodności obiektu na podstawie rozkładów prawdopodobieństwa czynników wymuszających. Klasyfikacje metod przedstawiono na rys.26. Przegląd metod oceny wpływu czynników wymuszających na uszkodzalność obiektu podano w załączniku Z4.



Rys.26. Klasyfikacja metod szacowania wpływu otoczenia na niezawodność obiektu.

7.1. Wybór metody

Przy wyborze metody szacowania wpływu warunków użytkowania na niezawodność pojazdu kierowano się następującymi kryteriami:

- metoda powinna umożliwiać analizę procesów losowych, niestacjonarnych,

- metoda powinna pozwolić na oszacowanie charakterystyki wewnętrznej obiektu na podstawie wejść i wyjść,
- metoda nie może być ograniczona do jednego typu rozkładu prawdopodobieństwa, a szczególnie do rozkładu normalnego,
- do wyciągnięcia wniosków powinno wystarczyć stosunkowo mało eksperymentów biernych.

Ze względu na te kryteria zdecydowano się na przeprowadzenie analizy za pomocą zmodyfikowanej metody analizy regresji - tzw. metody dołączania i odrzucania.

7.2. Procedura obliczeń

Przyjęta metoda polega na kolejnym wprowadzeniu do funkcji regresji jednego członu, zaczynając od jej najprostszej postaci. Sprawdza się istotność członów już występujących w funkcji regresji. Gdy okaże się, że wprowadzenie nowego członu obniża istotność członów już znajdującego się w funkcji regresji, wówczas ten nieistotny człon zostaje usunięty z funkcji regresji. Funkcje regresji kolejno akceptowane są coraz lepsze, a ostatecznie otrzymana funkcja ma tylko człony istotne.

W pracy szukano postaci funkcji wielu zmiennych:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Rozwinięcie tej funkcji w szereg Taylora w punkcie o współrzędnych $(0, 0, \dots, 0)$ prowadzi do funkcji:

$$\begin{aligned} y = f(0, 0, \dots, 0) &+ \frac{\delta}{\delta x_1} f(0, 0, \dots, 0) x_1 + \dots + \frac{\delta}{\delta x_n} f(0, 0, \dots, 0) x_n + \\ &+ \frac{1}{2} \frac{\delta^2}{\delta^2 x_1} f(0, 0, \dots, 0) x_1^2 + \dots + \\ &+ \frac{1}{2} \frac{\delta^2}{\delta^2 x_n} f(0, 0, \dots, 0) x_n^2 + \frac{\delta}{\delta x_1} \frac{\delta}{\delta x_2} f(0, 0, \dots, 0) x_1 x_2 + \dots + \end{aligned} \quad (46)$$

$$f(0, 0, \dots, 0) x_1 x_2 + \dots + \frac{\delta}{\delta x_{n-1}} \frac{\delta}{\delta x_n} f(0, 0, \dots, 0) x_{n-1} x_n + R_2 =$$

$$b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n + b_n x_1^2 + \dots +$$

$$+ b_{12} x_1 x_2 + \dots + b_{n-1, n} x_{n-1} x_n + R_2$$

$$R_2 = \frac{1}{6} \left(\frac{\delta}{\delta x_1} x_1 + \dots + \frac{\delta}{\delta x_n} x_n \right)^3 f(\theta_1 x_1, \dots, \theta_n x_n); \quad 0 < \theta_1 < 1, \dots, 0 < \theta_n < 1. \quad (47)$$

Szukania rozwiązań w klasie funkcji stopnia większego niż drugi zaniechano ze względu na wystarczającą dokładność oszacowania [17,52] i brak istotnych przesłanek z punktu widzenia interpretacji wyników.

Procedura obliczeń użyta w pracy była następująca [44] :

1. obliczono współczynniki korelacji między wartością oczekiwaną funkcji niezawodności danego układu y , a wartościami oczekiwanymi rozkładów charakterystyk warunków użytkowania, ich iloczynami i kwadratami według wzoru:

$$R_{yx_{i,j}} = \frac{n \sum_{k=1}^n x_{i,j,k} y_k - \left(\sum_{k=1}^n x_{i,j,k} \right) \left(\sum_{k=1}^n y_k \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{k=1}^n x_{i,j,k}^2 - \left(\sum_{k=1}^n x_{i,j,k} \right)^2 \right] \left[n \sum_{k=1}^n y_k^2 - \left(\sum_{k=1}^n y_k \right)^2 \right]}} \quad (48)$$

gdzie:

$$x_{i,j} = x_i x_j$$

$$i = 1, 2, \dots, 14$$

$$x_{i,0} = x_i$$

$$k - \text{numer pomiaru; } k = 1, 2, \dots, n$$

2. zbudowano szereg rozdzielczy współczynników korelacji

$$R_{yx_{k,l}} \leq R_{yx_{m,n}} \quad ; \quad \begin{matrix} m,n = \overline{1,14} \\ k,l = \overline{0,14} \end{matrix} \quad (49)$$

3. określono wartość krytyczną współczynnika korelacji $R(\alpha, \nu)$ dla hipotezy $H_0 = \rho = 0$ spełniającą nierówność

$$P \left\{ |R| \geq R(\alpha, \nu) \right\} = \alpha \quad ; \quad \nu = n - 2 \quad (50)$$

gdzie:

α - poziom istotności,

ν - ilość stopni swobody

4. wybrano wejście x_1 o największym z obliczonych współczynników korelacji i obliczono funkcję regresji o postaci:

$$y = b_0 + b_1 x_1 \quad (51)$$

5. zbadano istotność funkcji regresji obliczając współczynnik korelacji wielowymiarowej R^2 według wzoru:

$$R^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (\hat{y}_n - \bar{y})^2}{\sum_{n=1}^N (y_n - \bar{y})^2} ; \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N y_n \quad (52)$$

i sprawdzając hipotezę H_0 o prawdziwych współczynnikach funkcji regresji typu

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

Jeżeli hipoteza H_0 jest spełniona to, statystyka F obliczona ze wzoru:

$$F = \frac{R^2/k}{(1-R^2)/(N-k-1)} \quad (53)$$

ma rozkład F Snedecora o k i $N-k-1$ stopniach swobody. Dla poziomu istotności α wyznaczono wartość krytyczną F_{kr} taką, że:

$$P\left(F \stackrel{k}{N-k-1} \geq F_{kr}\right) = \alpha ; \quad \alpha = 0,05 \quad (54)$$

$$\begin{matrix} k = 1 \\ N = 5 \end{matrix}$$

Jeżeli $F \geq F_{kr}$ to hipotezę H_0 odrzucano.

6. wybierano następne wejście x_2 o największym z obliczonych współczynników korelacji cząstkowej, uwzględniając udział poprzednio włączonego członu x_1 , czyli współczynników korelacji między zmienną resztkową

$$y' = y - \hat{y} = y - b_0 - b_1 x_1 \quad (55)$$

a pozostałymi członami x_1 , $l \neq 1$.

7. obliczono funkcję regresji

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 \quad (56)$$

8. sprawdzono istotność funkcji regresji zgodnie z krokiem 5.

9. sprawdzono istotność ostatnio wprowadzonego członu $b_2 x_2$ obliczając statystykę:

$$F = \frac{R^2 - R'^2}{(1-R^2)/(N-k-1)} \quad (57)$$

gdzie:

R^2 - współczynnik korelacji wielowymiarowej obliczony z członem $b_2 x_2$,

R'^2 - współczynnik korelacji wielowymiarowej obliczone bez członu $b_2 x_2$.

Zakładając, że

$$P \left(F_{N-k-1}^1 \geq F_{kr} \right) = \alpha \quad (58)$$

to, jeżeli zachodzi nierówność

$$F \geq F_{kr} \quad (59)$$

to odrzucano hipotezę o nieistotności ostatniego członu funkcji regresji.

10. sprawdzano, czy wprowadzenie członu $b_2 x_2$ obniża istotność członu $b_1 x_1$ już znajdującego się w funkcji regresji obliczając statystykę:

$$t_k = \frac{|b_k|}{\sigma_{b_k}} \quad (60)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} \sigma_{b_k} &= \sigma \sqrt{c_{kk}} - \text{wariancja współczynnika } b_k, \\ \sigma &= \frac{1}{N-k-1} \sum_{n=1}^N [y_n - \hat{y}_n(b_0, b_1, \dots, b_k)]^2 - \text{wariancja} \\ &\quad \text{reszkowa zmiennej losowej } y, \\ c_{kk} &- \text{elementy diagonalne macierzy kowariancyjnej} \\ &\quad (\mathbb{X}^T \mathbb{X})^{-1}. \end{aligned}$$

Jeżeli hipoteza o nieistotności 2 członu $H_0: \beta_2 = 0$ jest spełniona, to statystyka t_k ma rozkład t Studenta o $N-k-1$ stopniach swobody.

Zakładając:

$$P \left(|t_{N-k-1}| \geq t_{kr} \right) = \alpha \quad (61)$$

jeżeli

$$t_k \geq t_{kr} \quad (62)$$

to odrzucano hipotezę o nieistotności badanego członu regresji.

11. obliczenia kontynuowano według punktu 6-10 do chwili, gdy nowo wprowadzony do funkcji regresji człon nie spełniał nierówności (59).

7.3. Wyniki obliczeń

Wyniki obliczeń współczynników korelacji dla poszczególnych układów i pojazdu krok 1-3 przedstawiono na rys. 27-29. Wykazano związki na poziomie istotności $\alpha \leq 0,1$. Zaznaczono wartości krytyczne dla $\alpha = 0,1 ; 0,05 ; 0,01 ; 0,02 ; 0,001$.

Wyniki obliczeń i testowania współczynników regresji (krok 4-10) zebrano w tabelach 41-43.

Postać funkcji regresji wielokrotnej, I stopnia

Układ	Funkcja regresji	R_{obl}^2	F_{obl}	$F(3;3;0,05)$
07	$-157,9 + 243,8 \bar{\alpha} \cdot \bar{a}^-$	0,9280	38,65	10,1
08	$-209,7 + 0,0418 \bar{l}_{q>100} \cdot \bar{Q}$	0,8820	22,4	10,1
09	$751,72 - 16,50 \bar{a}^+ \cdot \bar{t}_{v>0}$	0,8683	19,78	10,1
10	$1023,86 - 25-33 \bar{t}_{v>0} \cdot \bar{t}_{v>20}$	0,8006	12,04	10,1
11	$39,98 - 0,5240 \bar{a}^- \cdot \bar{\alpha}$	0,7906	11,33	10,1
12	$418,18 - 17,81 \bar{\alpha} \cdot \bar{t}_{v=0}$	0,8888	23,98	10,1
13	$-91,52 + 0,1196 \bar{t}_{v>0} \cdot \bar{t}_{v>20}$	0,9660	85,24	10,1
14	$-186,78 + 0,0212 \bar{\delta} \cdot \bar{l}_{\alpha=0}$	0,9281	38,72	10,1
15	$40,74 - 34,86 (\bar{\alpha}^2)$	0,8571	17,99	10,1
16	$704,22 - 0,1304 \bar{\delta} \cdot \bar{t}_{v=0}$	0,9397	46,75	10,1
17	$838,60 - 16,05 \bar{Q} \cdot \bar{\alpha}$	0,8424	16,03	10,1
18	$-52,15 + 0,1179 \bar{l}_{q<50} \cdot \bar{l}_{\omega=0}$	0,9248	36,89	10,1
19	$-103,11 + 0,7159 \bar{\delta} \cdot \bar{a}^-$	0,9478	54,47	10,1
1-20	$-1,811 + 0,1708 \bar{v}$	0,9856	205,33	10,1

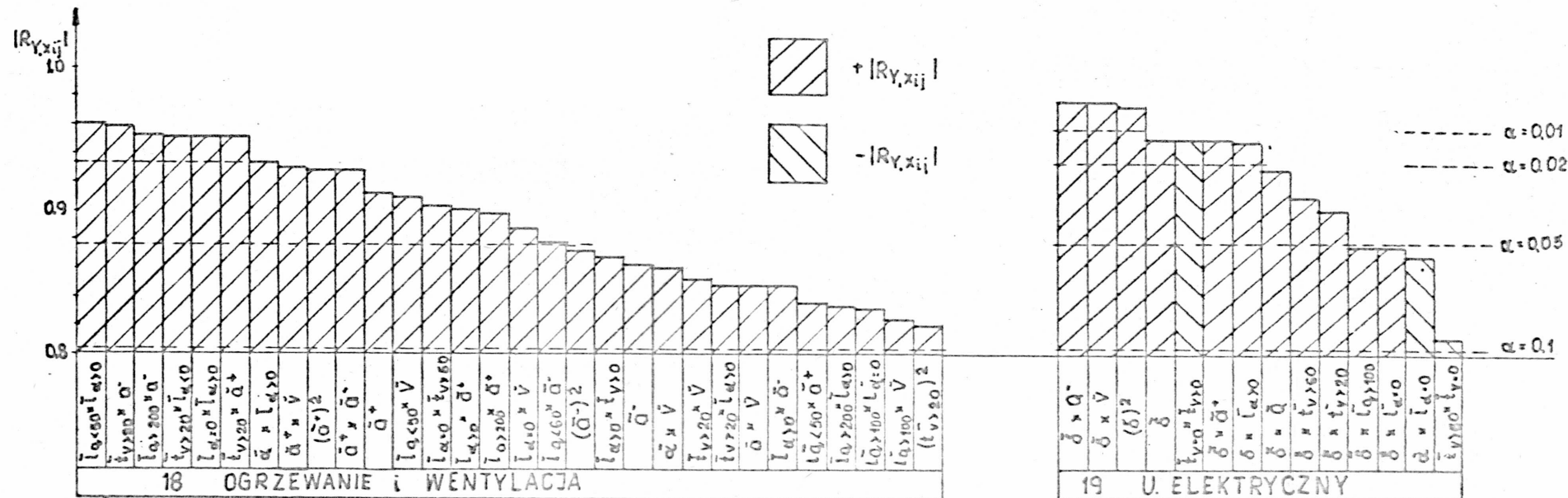
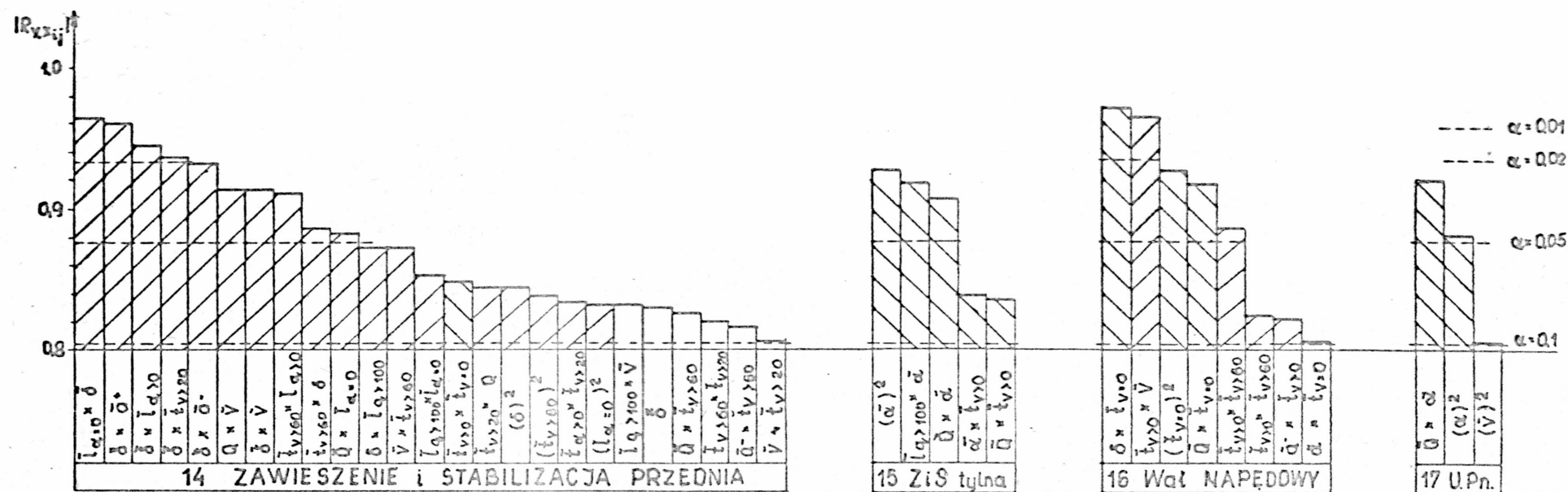
Postać funkcji regresji wielokrotnej II stopnia

Układ	Funkcja regresji	$R^2_{obl.}$	$F_{obl.}$	$F(1;2;0,05)$
07	$-178,80 + 64,7656 \bar{\alpha} \bar{a}^- + 2.9448 \bar{Q} \cdot \bar{a}^-$	0,3260		
08	$-325,03 + 0,0424 \bar{I}_{q>100} \cdot \bar{Q} + 0,0351 \bar{\delta} \cdot \bar{t}_{v=0}$	0,8780		
09	$396,8468 - 1.6389 \bar{a}^+ \cdot \bar{t}_{v>0} + 1.1808 \bar{a}^+ \cdot \bar{Q}$	0,9935	38,52	18,5
10	$1033.4753 - 27,7012 \bar{t}_{v>0} \cdot \bar{t}_{v>20} + 0,03715 \bar{v} \cdot \bar{t}_{v=0}$	0,9624	8,61	18,5
11	$4.6812 - 0,5437 \bar{a}^- \cdot \bar{\alpha} - 0,01434 \bar{v} \cdot \bar{t}_{v=0}$	0,9480	6.047	18,5
12	$68.0134 - 17,8308 \bar{\alpha} \cdot \bar{t}_{v=0} + 6.1717 \bar{Q} \cdot \bar{a}^+$	0,9874	15,65	18,5
13	$-166,30 + 0,1164 \bar{t}_{v>0} \cdot \bar{t}_{v>20} + 1,9506 \bar{\alpha} \cdot \bar{Q}$	0,9591		
14	$-281.5536 + 0,02028 \bar{\delta} \cdot \bar{I}_{\alpha=0} + 3.6749 \bar{Q} \cdot \bar{a}^-$	0,9671	2,37	18,5
15	$4.7843 - 3.1848 (\bar{\alpha})^2 - 0,06044 \bar{\delta} \cdot \bar{\alpha}$	0,9581	4,82	18,5
16	$626.2128 - 0,1404 \bar{\delta} \cdot \bar{t}_{v=0} + 1.6587 \bar{\alpha} \cdot \bar{I}_{\alpha=0}$	0,9988	98,5	18,5
17	$117.8834 - 15.9645 \bar{Q} \cdot \bar{\alpha} - 0,07266 \bar{Q} \cdot \bar{I}_{\alpha=0}$	0,8922	38,47	18,5
18	$134.8119 + 0,1127 \bar{I}_{q<50} \cdot \bar{I}_{\alpha>0} - 4.1370 \bar{Q} \cdot \bar{\alpha}$	0,9934	20,79	18,5
19	$-77.325 + 0,7199 \bar{\delta} \cdot \bar{a}^- - 0,005292 \bar{v} \cdot \bar{I}_{q<50}$	0,9993	157,31	18,5
1 - 20	$-0,1315 + 0,1567 \bar{v} - 0,0001282 \bar{Q} \cdot \bar{I}_{q>100}$	0,9771		

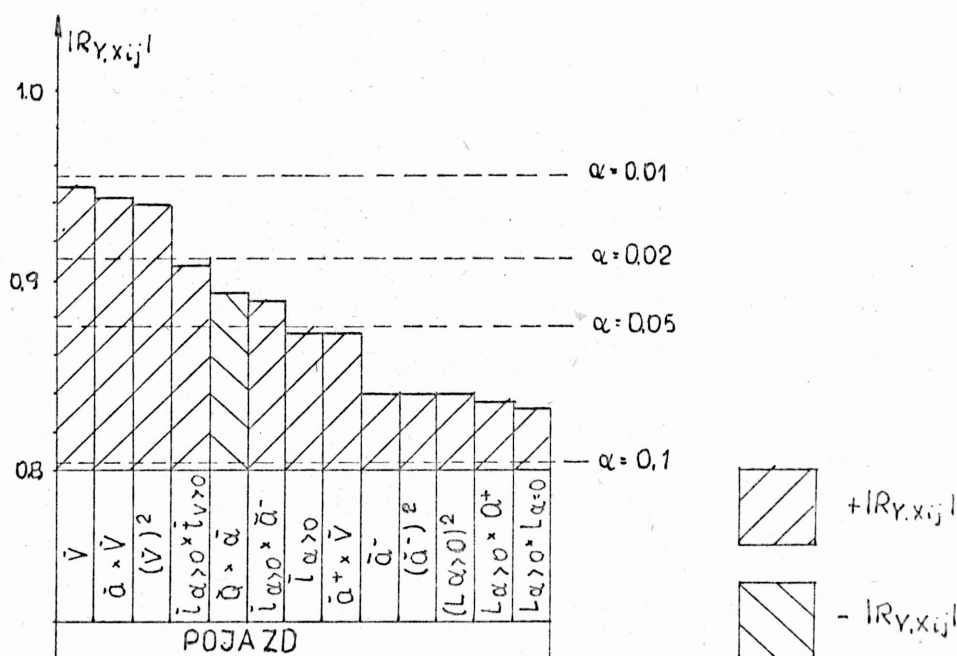
T a b e l a 43

Postać funkcji regresji wielokrotnej III stopnia

Układ	Funkcja regresji	$R^2_{obl.}$	$R_{obl.}$	$F(1;1;0,05)$
09	$441.73 - 16.316 \bar{a}^+ \cdot \bar{t}_{v>0} + 12.4938 \bar{a}^+ \cdot \bar{Q} - 0,00546 \bar{\delta} \cdot \bar{Q}$	0,9624	8,61	161
16	$603,53 - 0,1384 \bar{\delta} \cdot \bar{t}_{v=0} + 1.6302 \bar{\alpha} \cdot \bar{I}_{\alpha=0} + 0,007644 \bar{I}_{\alpha>100} \bar{Q}$	0,9995	0,5	161
17	$1096,65 - 15.8371 \bar{Q} \cdot \bar{\alpha} - 0,0847 \bar{Q} \cdot \bar{I}_{\alpha>0} + 4,501 \bar{\alpha} \cdot \bar{Q}$	0,9999	276,26	161
18	$168.63 + 0,1112 \bar{I}_{\alpha<50} \bar{I}_{\alpha>0} - 4.2689 \bar{Q} \cdot \bar{\alpha} - 0,00234 \bar{a}^+ \bar{Q}$	0,9999	19,67	161
19	$-68.1022 + 0,7116 \bar{\delta} \bar{a}^- - 0,005285 \bar{v} \bar{I}_{\alpha<50} - 0,1771 \bar{t}_{v>20} \bar{Q}$	0,9999	72,48	161



Rys.28. Współczynniki korelacji między charakterystykami warunków użytkowania, a niezawodnością układów 15-20.



Rys.29 Współczynniki korelacji między charakterystykami warunków użytkowania, a niezawodnością pojazdu.

W celu poszerzenia analizy wpływu warunków użytkowania na niezawodność układów autobusu obliczono dla elementów uznanych za "słabe ogniwa" współczynniki uszkodzalności. Za "słabe ogniwa" uznano element [78], który uszkodził co najmniej dwukrotnie w czasie badań. Współczynnik uszkodzalności określono z wzoru:

$$k_{eE} = \frac{n_{eE}}{N_{eE}} \quad (63)$$

gdzie:

n_{eE} - ilość uszkodzeń elementu e w środowisku E ,
 N_{eE} - ilość uszkodzeń elementów układu do którego należy element e .

Wyniki obliczeń przedstawiono na rys.31-44.

Dodatkowo dla każdego układu obliczono wskaźnik jednorodności układu ze wzoru:

$$\pi_U = \frac{\sum_E N_{UE}}{4 N_U} - 0,25 \quad (64)$$

gdzie:

N_U - ilość uszkodzonych elementów układu U
 N_{UE} - ilość uszkodzonych elementów układu U w środowisku E .

Wskaźnik jednorodności określa średnią ilość środowisk, w których pojawiło się uszkodzenie danego elementu.

Wartość $\pi_U = 0$ oznacza, że we wszystkich pięciu środowiskach uszkadzają się różne elementy. Natomiast, gdy $\pi_U = 1$, to w poszczególnych środowiskach słabymi ogniwami są te same elementy. W autobusie Jelcz PR 110 U największym wskaźnikiem jednorodności charakteryzują się układy:

12 - koła jezdne (0,625)

14,15 - zawieszenie i stabilizacja przednia i tylna (0,405.)

Czynniki wymuszające wpływają zatem w tych układach przede wszystkim na zmianę intensywności uszkodzeń elementów tych układów. Można natomiast przypuszczać, że w układach o wskaźniku jednorodności $\pi_U \approx 0$ (układy 08,13,16) warunki użytkowania wpływają nie tylko na niezawodność elementów, ale także zmieniają jakościowy proces uszkodzeń.

Przeprowadzono weryfikację hipotez o braku związku między wielkościami:

- ilością elementów układu,
- ilością "słabych ogniw" układu,
- ilością działających na układ czynników,
- wskaźnikiem jednorodności układu π_U .

Na poziomie istotności $1-\alpha = 0,95$ odrzucano hipotezę o braku istotnego związku między:

- ilością elementów, a ilością słabych ogniw ($R = 0,663$),
- wskaźnikiem jednorodności, a ilością czynników wpływających na uszkodzalność układu ($R = 0,583$),

a na poziomie $1-\alpha = 0,90$;

- ilością elementów, a wskaźnikiem jednorodności ($R = -0,458$).

Wynika stąd, że przy analizie wpływu warunków użytkowania na niezawodność pojazdu należy dzielić obiekt na możliwie proste układy zbudowane z elementów spełniających zbliżone czynności.

Związki między warunkami użytkowania autobusu Jelcz PR 110 U, a niezawodnością jego układów są następujące:

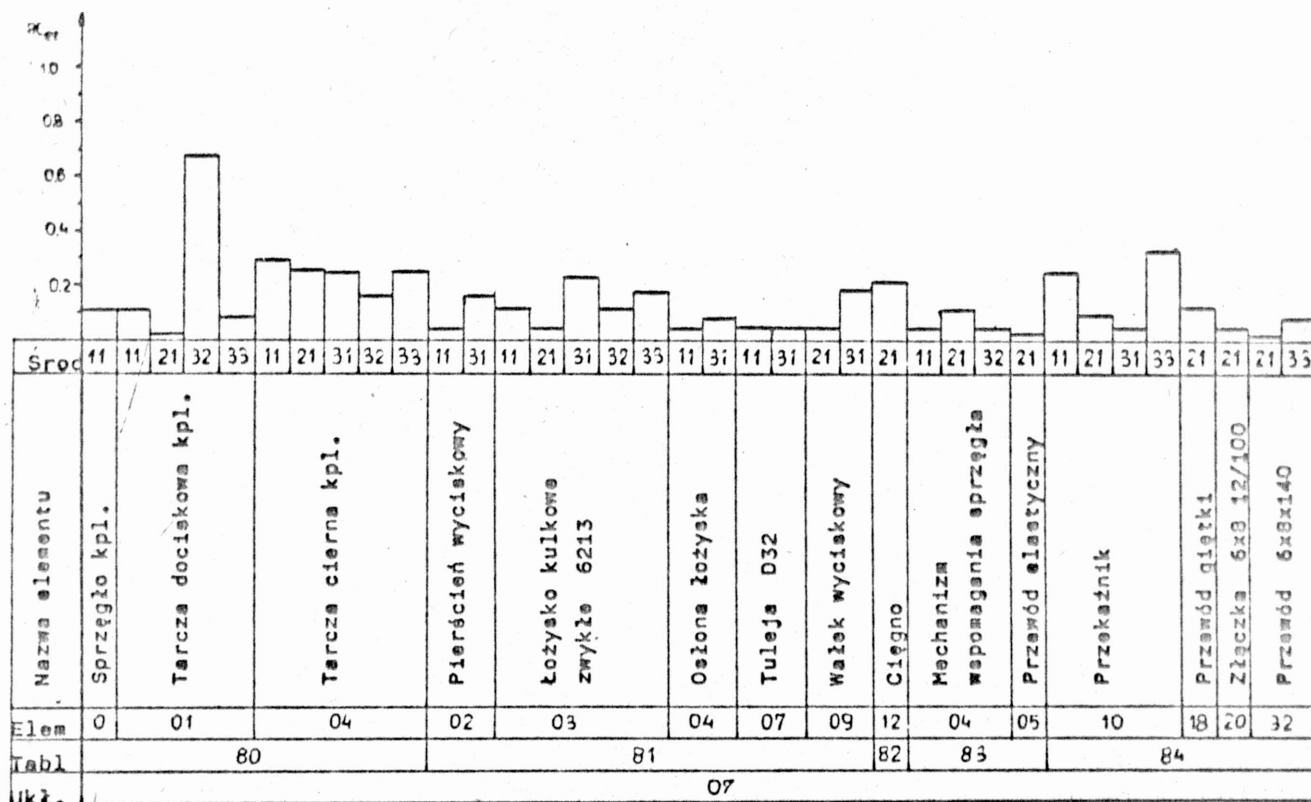
układ 07 - sprzęgło (rys.27,30)

Sprzęgło charakteryzuje się dość dużym wskaźnikiem jednorodności ($\pi_{07} = 0,35$). O jego niezawodności decydują uszkodzenia spowodowane zużyciem ciernym (elementy tablicy 80), obciążeniem układu przeniesienia napędu (elementy tablicy 81) i nieszczelnościami mechanizmu wspomagania (elementy tablicy 83 i 84). Korzystnie na niezawodność sprzęgła wpływa jazda autobusu w warunkach ruchu swobodnego (duże a^- , a^+), długie odcinki jazdy między przystankami, szczególnie z

małym obciążeniem. Potwierdza to związek między trwałością sprzęgła a ilością jego włączeń.

Funkcja regresji dla sprzęgła ma postać:

$$T = -157,9 + 243,80 \bar{\alpha} \cdot \bar{a}^{-} \quad [\text{tys.km}] \quad (65)$$

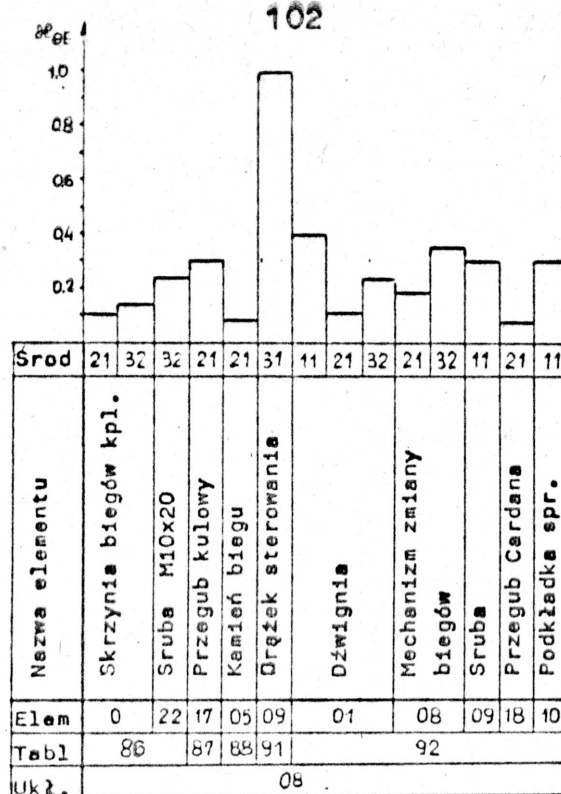


Rys.30. Słabe ogniwa układu 07 - sprzęgło

układ 08 - skrzynia biegów rys.27,31

Nie stwierdzono istotnych różnic między niezawodnością skrzyni biegów w poszczególnych środowiskach eksploatacji ($v_g=0,26$). Wskaźnik jednorodności układu jest niski ($\pi_{08}=0,10$). O niezawodności skrzyni biegów decyduje układ sterowania elementy tablicy 91 i 92. Skrzynia biegów wykazuje odporność na przeciążenia pojazdu. Funkcja regresji zespołu ma postać:

$$T = -209,7 + 0,418 \bar{I}_{q > 100} \cdot \bar{Q} \quad [\text{tys.km}] \quad (66)$$



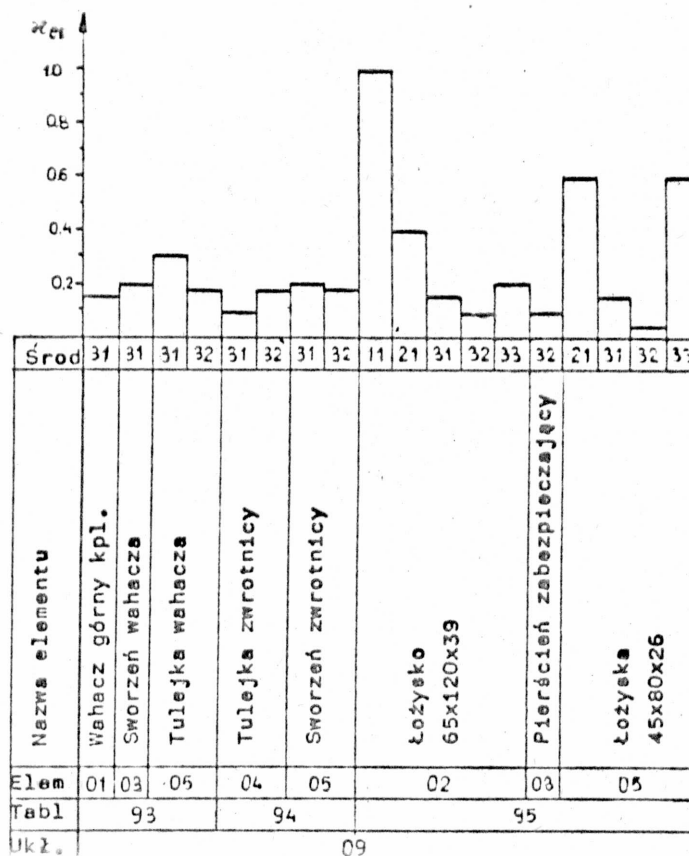
Rys.31.

Słabe ogniwa układu 08
- skrzynia biegów

układ 09 - oś przednia (rys.27,32)

O trwałości układu decyduje zużycie ściernie elementów zawieszenia typu tuleje, sworznice (tabl.93,94) podobne w środowiskach eksploatacji i zróżnicowane zużycie łożysk tocznych (tabl.95). Zużycie łożysk jest więc zależne nie tylko od przebiegu pojazdu, ale także od warunków ruchu. Obniżają niezawodność układu duże przyspieszenia ruchu, długi czas jazdy i długie odcinki jazdy, niezależnie od obciążenia. Funkcja regresji ma postać:

$$\bar{T} = 396.84 - 1.6389 \bar{a}^+ \cdot \bar{t}_{v>0} + 1.1808 \bar{a}^+ \cdot \bar{Q} \quad [\text{tys.km.}] \quad (67)$$



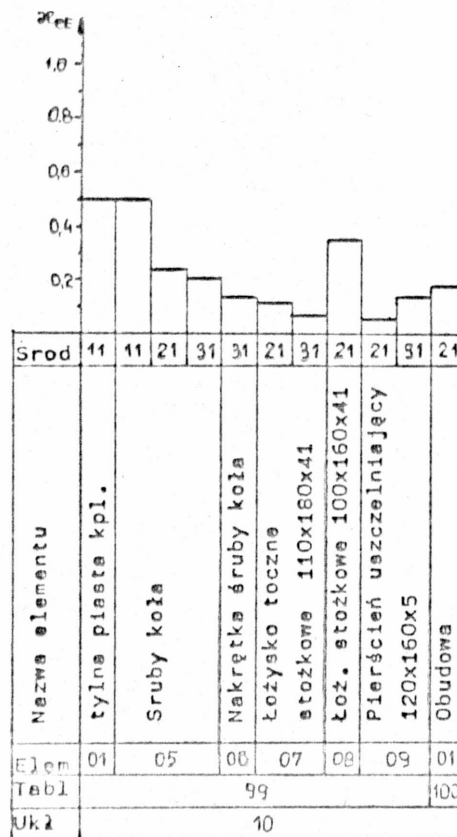
Rys.32.

Słabe ogniwa układu 09
- oś przednia

układ 10 - tylny most (rys.27,33)

Tylny most jest mało przydatny na wpływ warunków użytkowania $v_a = 0,38$. Charakteryzuje się niskim wskaźnikiem jednorodności $\pi_{10} = 0.14$. Niezawodność układu maleje przy długim czasie jazdy autobusu, dużych przyspieszeniach bardziej obciążonego pojazdu, długich odcinkach jazdy.

$$T = 1033,47 - 227,01 \bar{t}_{v>20} + 0,0372 \bar{v} \cdot \bar{t}_{v=0} \quad [\text{tys.km.}] \quad (68)$$

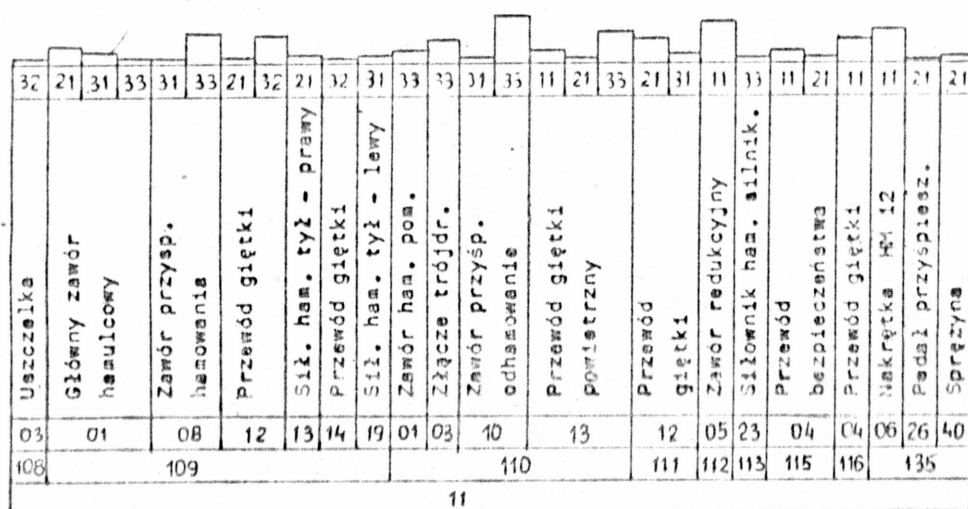


Rys.33. Słabe ogniwa układu 10 - tylny pomost

układ 11 - hamulcowy (rys.27,34)

Niezawodność układu jest słabo zależna od warunków ruchu $v_a = 0,34$. Uszkodzenia układu dotyczą głównie rozstrojenia hamulców oraz nieszczelności i uszkodzeń w pneumatycznym układzie sterującym. Zużycie okładzin ciernych jest w poszczególnych środowiskach zbliżony. Wskaźnik jednorodności $\pi_{11} = 0.13$. Intensywność uszkodzeń układu rośnie przy wzroście przyspieszeń ujemnych ruchu i krętości trajektorii ruchu większa ilość zahamowań hamulca, a maleje przy wzroście średniej prędkości ruchu, co świadczy o swobodzie ruchu pojazdu.

$$\bar{T} = 39.89 - 0.5240 a^{-} \cdot \bar{\alpha} \quad [\text{tys.km.}] \quad (69)$$



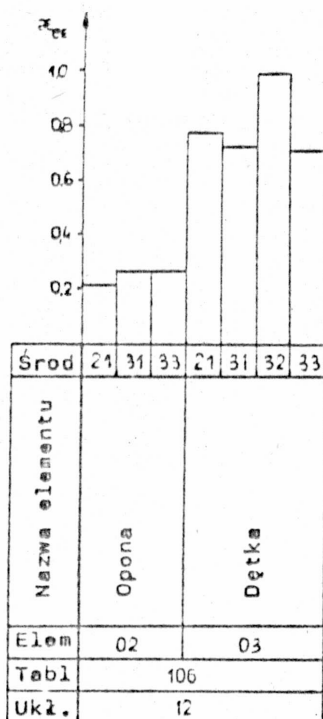
układ 12 - koła jezdne (rys.27,35)

Układ ten ma największy wskaźnik jednorodności $\pi_{12}=0.63$, gdyż uszkodza się tylko opona lub dętka. W badaniach rejestrowane były tylko uszkodzenia awaryjne, stąd brak uszkodzeń w środowisku 11 i mała ilość uszkodzeń w środowiskach 31-33. Uszkodzenia dętek spowodowane są najczęściej przegrzaniem się bębnow hamulcowych na skutek dużej ilości zadziałań hamulca. Potwierdzałoby to związek średniej krętości trasy z ilością zadziałań hamulca i korzystny wpływ na niezawodność długich odcinków jazdy na wprost i po łuku oraz przewagi ruchu swobodnego (duże v).

Z innych charakterystyk warunków ruchu zaznacza się ujemny wpływ czasu postoju związany prawdopodobnie z lepszym odprowadzeniem ciepła podczas jazdy oraz brak wpływu nierówności nawierzchni (ze względu na interpretacje uszkodzenia koła).

$$T = 428,18 - 17,81 \bar{\alpha} \cdot \bar{t}_{v=0}$$

$$[\text{tys.km.}] \quad (70)$$

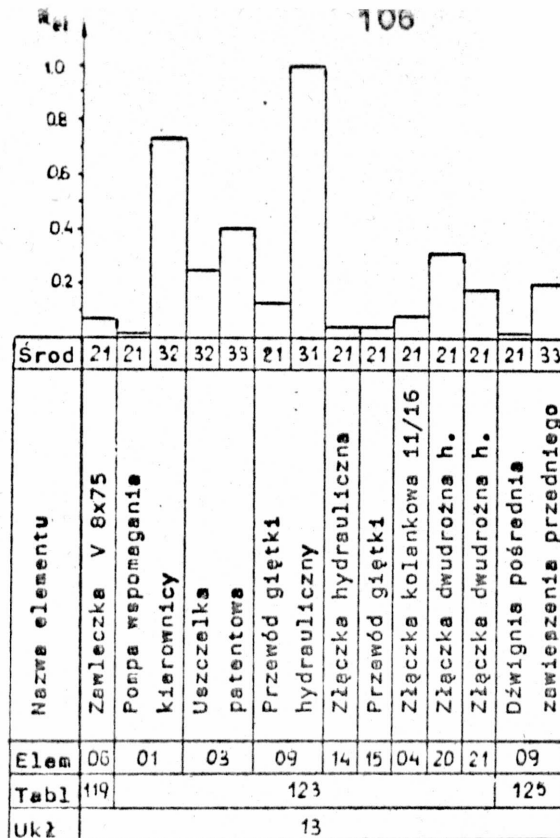


Rys.35.

Słabe ogniwa układu 12
- koła jezdne

układ 13 - kierowniczy (rys.27,36)

W układzie tym uszkadzają się różne elementy $\pi_{13}=0,10$ należące do układu hydraulicznego wspomagania kierownicy. Powoduje to ok. 5-7 krotny wzrost siły potrzebnej do obrotu koła kierownicy. Najczęstsze postacie uszkodzenia to nieszczelność i pęknięcia przewodów i uszczeltek. Niezawodność układu mało różni się między środowiskami $v_a=0,4$. Korzystny wpływ na zwiększenie niezawodności układu mają długie czasy jazdy autobusu na wszystkich poziomach prędkości i długie odcinki jazdy niezależnie od obciążenia. Krętość trasy nie ma wpływu na niezawodność układu kierowniczego. $T = -91,52 + 0,1196 \bar{t}_{v>0} \cdot \bar{t}_{v>20}$ [tys.km.] (71)



Rys.36.

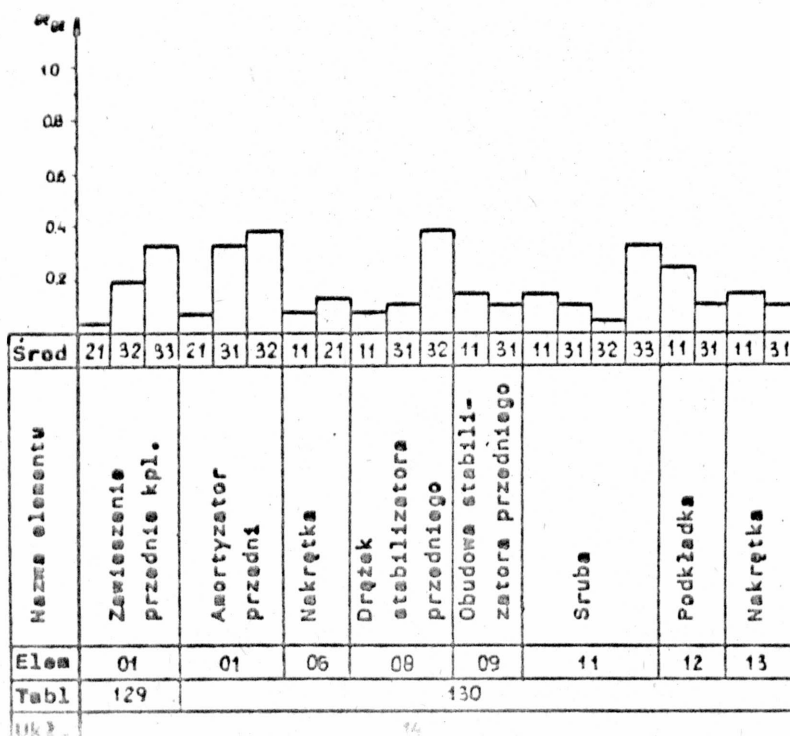
Słabe ogniwa układu 13 - kierowniczy

układ 14 - zawieszenie i stabilizacja przednia (rys.27,37)

W czasie badań nie stwierdzono istotnych różnic niezawodności układu między środowiskami eksploatacji $v_a=0,44$. Jednocześnie wskaźnik jednorodności jest wysoki $\pi_{14}=0.40$. Uszkodzenia układu, poza zużyciem amortyzatorów (np. wycieki oleju), dotyczą drążka stabilizatora i jego mocowania.

Z obliczeń wynika, że niezawodność tego układu zwiększa się przy długich odcinkach ruchu pojazdu po gorszej nawierzchni. Natomiast niekorzystny wpływ ma długi czas postoju.

$$T = -186.78 + 0.0212\delta \cdot \bar{L}_{\alpha=0} \quad [\text{tys.km.}] \quad (72)$$



Rys.37.

Słabe ogniwa układ 14 - zawieszenie i stabilizacja przednia

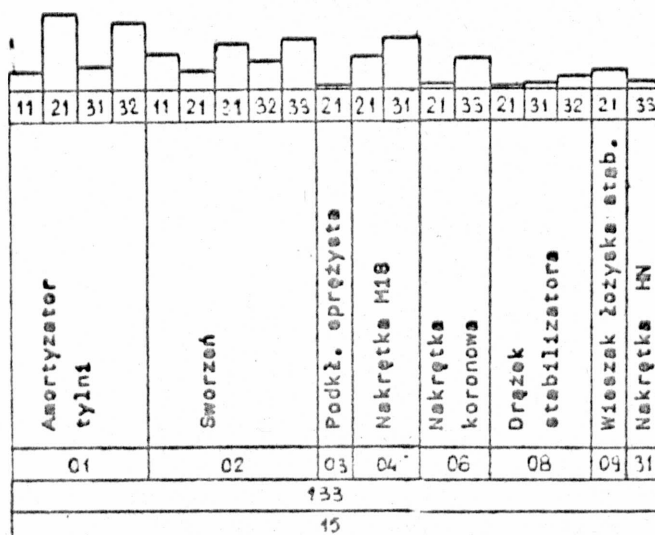
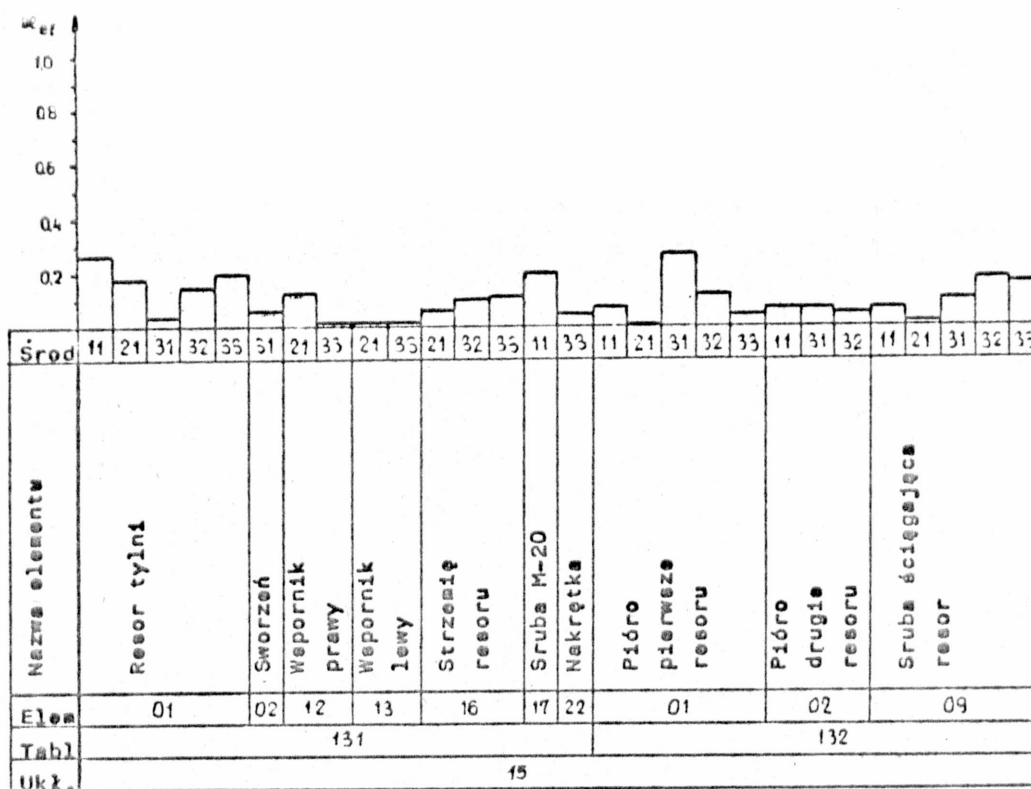
układ 15 - zawieszenie i stabilizacja tylna (rys.28,38)

Wpływ warunków użytkowania na uszkodzalność zawieszenia tylnego jest większy niż na zawieszenie przednie. Wskaźniki jednorodności układów są takie same. Również postacie uszkodzeń są podobne. Zniszczeniu ulegają pióra resorów i elementy mocujące resory - sworznie i wsporniki. Na niezawodność układu wpływa krętość trasy, obciążenie pojazdu, długość drogi przejechanej przez przeciążony pojazd i czas jazdy. Świadczyłoby to, że przekroczenie wytrzymałości konstrukcji spowodowane jest nie tylko przeciążeniem pojazdu, ale także siłami odśrodkowymi w czasie ruchu po łuku.

$$T = 40.74 - 34.86(\bar{\alpha}^2)$$

[tys.km.]

(73)

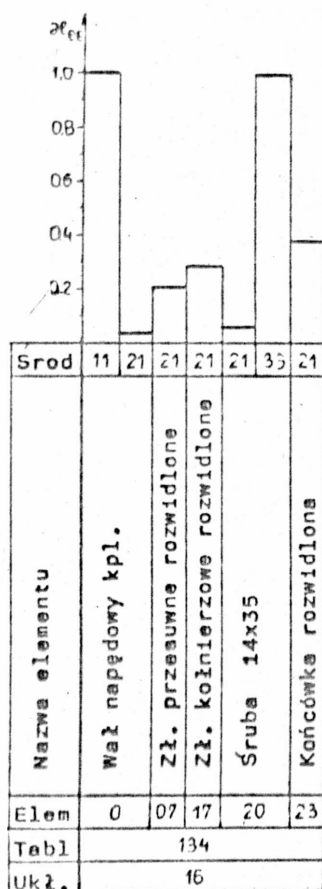


Rys.38. Słabe ogniwa układu 15 - zawieszenie i stabilizacja tylna

układ 16 - wał napędowy (rys.29,39)

W poszczególnych środowiskach zarejestrowano pojedyncze uszkodzenie elementów tego układu $\pi_{16}=0.10$. Układ jest mało podatny na wpływ środowiska. Korzystnie na niezawodność układu wpływają długie czasy jazdy poszczególnych prędkości, a niekorzystnie czas postoju, nierówności nawierzchni i obciążenie pojazdu. Sugerowałoby to dynamiczny charakter uszkodzeń wału wywołany większą częstotliwością zmian obciążeń.

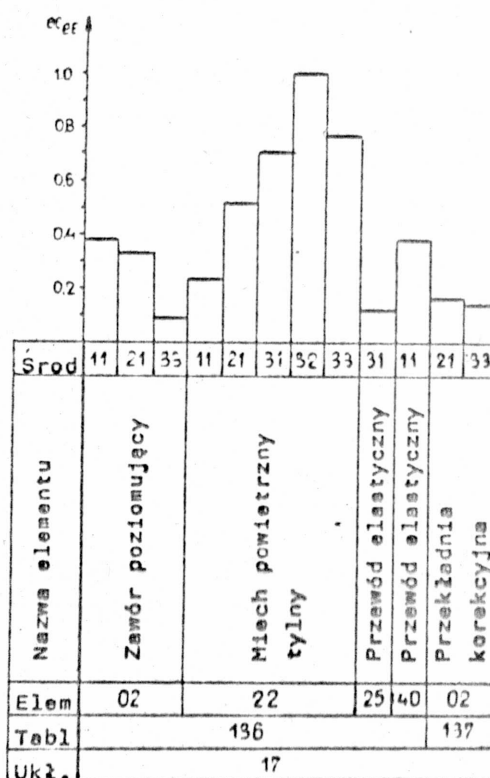
$$T = 626.21 - 0.1404 \bar{\delta} \cdot \bar{t}_{v=0} + 1.6587 \bar{\alpha} \cdot \bar{l}_{\alpha=0} \quad [\text{tys.km.}] \quad (74)$$



Rys.39. Słabe ogniwa układu 16
- wał napędowy

układ 17 - pneumatyczny (rys.28,40)

0 niezawodności tego układu decyduje niezawodność resorów powietrznych tylnych, nieszczelność połączeń i zużycie starzeniowe gumy i zaworów poziomujących $\pi_{17}=0.34$. Różnica intensywności uszkodzeń między środowiskami jest bardzo duża $\gamma_a=1.0$. Przyczyny uszkodzeń tego układu są podobne do czynników oddziałujących na układ zawieszenia tylnego. Zmniejsza niezawodność duże obciążenie pojazdu i krętość trasy (duże siły odśrodkowe bezwładności).



Rys.40. Słabe ogniwa układu 17-
pneumatyczny

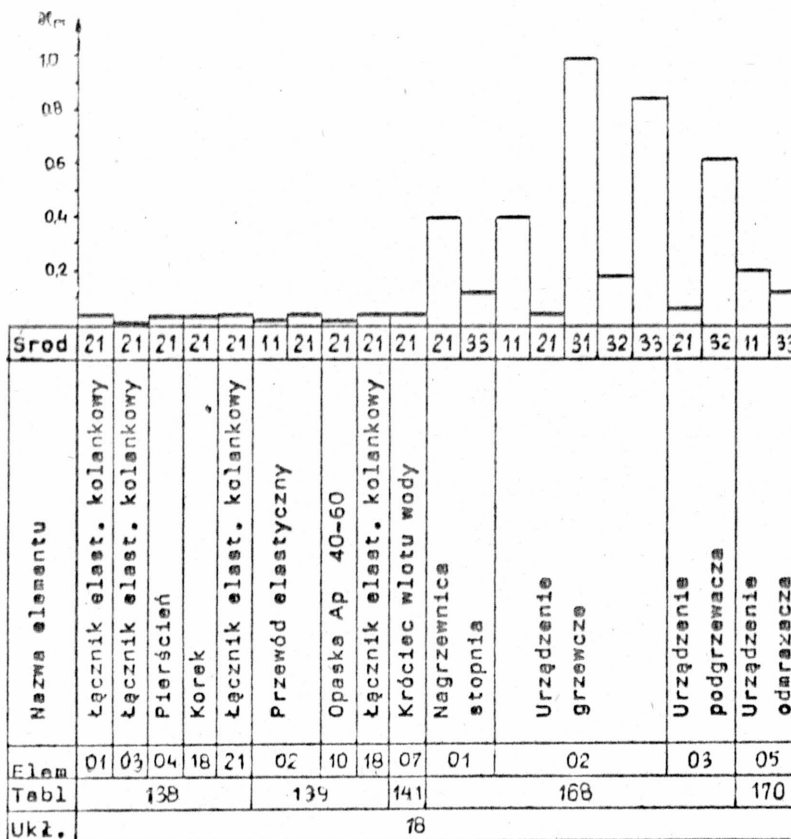
Poprawia natomiast niezawodność układu duża średnia prędkość jazdy, tzn. ruch swobodny .

$$T = 1096.65 - 15.84 \bar{Q} \cdot \bar{\alpha} - 0.0847 \bar{Q} \cdot \bar{L}_{\alpha=0} + 4.501 \bar{\alpha} \cdot \bar{Q} \text{ [tys.km.]} (75)$$

układ 18- ogrzewanie i wentylacja (rys.28,41)

Układ ten także należy do najbardziej podatnych na zmienność warunków użytkowania $\bar{v}_a=0,93$. Awarie dotyczą głównie nieszczelności i pęknięć elementów zasilania i uszkodzeń urządzeń klimatyzacyjnych tabl.168 i 170 . Poza urządzeniem ogrzewczym, które uszkadza się we wszystkich środowiskach , inne elementy pojawiają się w pojedynczych środowiskach $\pi_{18}=0.16$. Z tego powodu oraz ze względu na bardzo dużą ilość czynników oddziałujących, trudno jest wnioskować o przyczynach uszkodzeń. Generalnie można zauważyć, że poprawia niezawodność układu ruch autobusu długie odcinki jazdy, długi czas jazdy , duże przyspieszenie i prędkość ruchu.

$$T = 134.81 + 0.1127 \bar{L}_{q<50} \cdot \bar{L}_{\alpha>0} - 4.14 \bar{Q} \cdot \bar{\alpha} \text{ [tys.km.]} (76)$$



Rys.41.

Słabe ogniwa układu
18 - ogrzewanie i
wentylacja

układ 19 - elektryczny (rys.28,42)

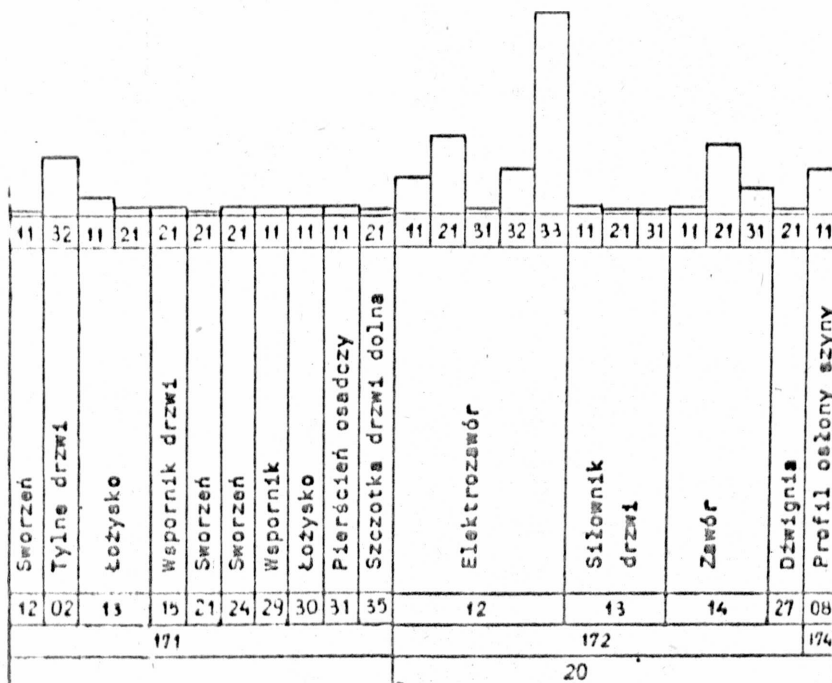
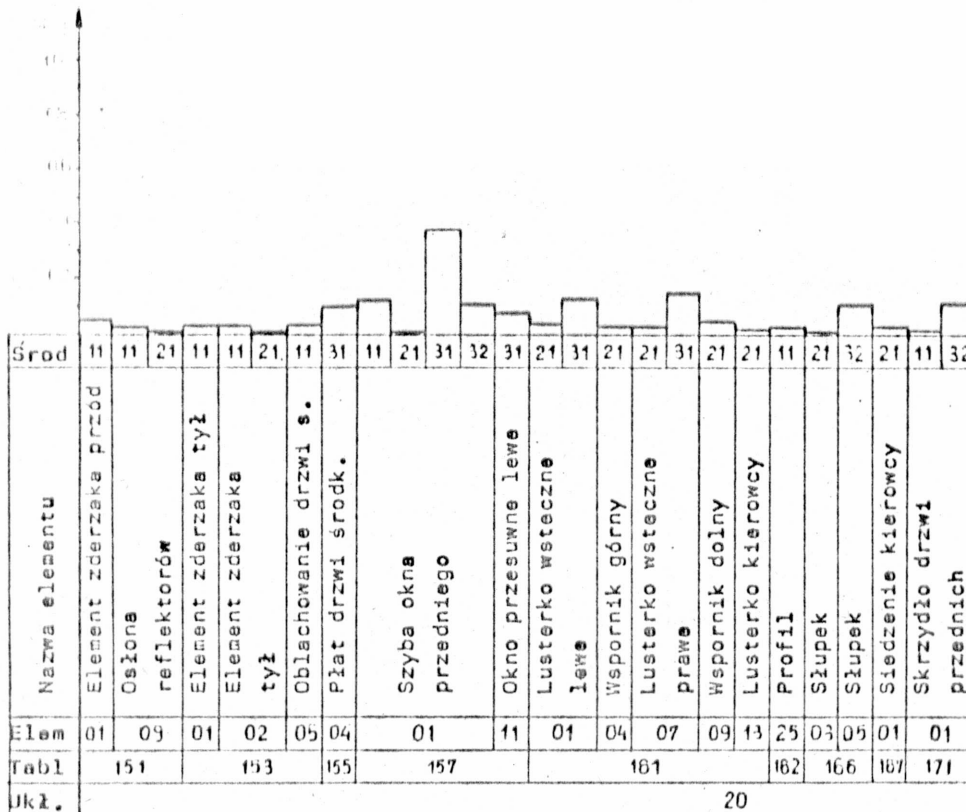
Jest to najbardziej podatny na wpływ warunków użytkowania układ $\bar{v}_a=1.52$. Mimo dużej ilości "słabych ogniw" w tym układzie 39 jest on stosunkowo jednorodny $\pi_{19}=0.25$. 2 elementy powtarzają się w 5 środowiskach , a 4 w 4 środowiskach. Na uszkodzenia układu składają się

układ 20 - nadwozie (rys.28,43)

Niezawodność układu różni się istotnie w środowiskach eksploatacji. Jednakże analiza wpływu warunków użytkowania na jego niezawodność podanymi metodami, nie stwierdziła istotnego związku między badanymi charakterystykami, a uszkodzalnością nadwozia. Maksymalny współczynnik korelacji obliczony w kroku 1 metody analizy regresji wynosił:

$$R = 0.76 < R_{kr}(0.1 ; 3) = 0.8054$$

Charakter uszkodzeń wskazuje na większy wpływ czynnika ludzkiego kierowcy i pasażerów na uszkodzalność tego układu niż pozostałych.



Rys.43.
Słabe ogniwa
układu 20 -
nadwozie

Pojazd (rys.29)

Niezawodność całego autobusu różni się istotnie w badanych środowiskach (p.6.3). Współczynnik wariancji wskaźnika adaptacji pojazdu wynosi $V_a = 0.37$. Dla 12 układów autobusu odrzucono hipotezę o braku wpływu warunków użytkowania na ich niezawodność. Niezawodność autobusu rośnie, gdy jest użytkowany w warunkach ruchu swobodnego tzn. z dużą średnią prędkością jazdy, dużymi przyspieszeniami, długimi czasami jazdy i długimi odcinkami jazdy na wprost i po łuku. Istotny wpływ na zmniejszenie niezawodności ma duże obciążenie pojazdu i krętość trajektorii ruchu.

$$T = -1.811 + 0.1709 V \quad [\text{tys.km.}] \quad . (78)$$

8. WNIOSKI

Zgodnie z przyjętym programem pracy wnioski podzielono na 3 grupy, odnośnie do:

1. Warunków użytkowania autobusu miejskiego

- 1.1. W badanych środowiskach warunki ruchu i obciążenia dobrze charakteryzują warunki użytkowania autobusu miejskiego.
- 1.2. Warunki ruchu i obciążenia autobusu miejskiego można scharakteryzować przyjętym zbiorem procesów stochastycznych.
- 1.3. Procesy stochastyczne opisujące warunki ruchu są procesami stacjonarnymi i ergodycznymi.
- 1.4. Rozkłady charakterystyk warunków użytkowania aproksymują się rozkładami: równomiernym, wykładniczym, normalnym, logarytm-normalnym i Weibulla.
- 1.5. Przyjęty model warunków użytkowania pozwala wnioskować o różnicach między środowiskami eksploatacji autobusu.
- 1.6. Istnieją istotne statystyczne różnice warunków użytkowania między badanymi środowiskami eksploatacji autobusu miejskiego.

2. Niezawodności pojazdu

- 2.1. Niezawodność autobusu i jego układów różni się istotnie w badanych środowiskach eksploatacji ze względu na wartość oczekiwaną i rodzaj rozkładu prawdopodobieństwa funkcji niezawodności.
- 2.2. Dla układów pojazdu, rozkład przebiegu do pierwszego uszkodzenia aproksymuje się rozkładami: normalnym, Weibulla, logarytm-normalnym i wykładniczym, a rozkład przebiegu między uszkodzeniami rozkładami: normalnym, logarytm-normalnym, Weibulla i wykładniczym.
- 2.3. Intensywność uszkodzeń pojazdu jedynie w środowisku 31 jest rosnąca w czasie.
- 2.4. Minimalny wskaźnik adaptacji wynosi dla pojazdu $a_U = 0.43$ w środowisku 21, a dla układu 19 (elektrycznego) $a_U = 0.06$, także w 21.

- 2.5. Najbardziej podatnymi na oddziaływanie warunków użytkowania są układy: 19-elektryczny i 17-pneumatyczny, a najmniej: 08 - skrzynia biegów i 11-hamulcowy.
- 2.6. Warunki użytkowania wywołują większe względne zmiany przebiegu między uszkodzeniami układów niż przebiegu do pierwszego uszkodzenia układu.
3. Wpływu warunków użytkowania na niezawodność pojazdu i układów
 - 3.1. Wybrana metoda analizy regresji pozwala na określenie czynników wpływających w istotny sposób na niezawodność pojazdu i jego układów oraz oszacowanie funkcji regresji wiążącej ilościowo niezawodność obiektu z wartościami oczekiwanymi warunków użytkowania.
 - 3.2. Z badań wynika, że korzystnie na niezawodność pojazdu i jego układów wpływa użytkowanie pojazdu w ruchu swobodnym, na trasach mało krętych o długich odcinkach jazdy i przy obciążeniu nie przekraczającym dopuszczalnego.
 - 3.3. Wpływ warunków użytkowania na niezawodność układów przejawiać się może w zmianie intensywności uszkodzeń tych samych we wszystkich środowiskach elementów lub w zmianie sposobu uszkodzenia się układu przez awarie różnych elementów w poszczególnych środowiskach.
 - 3.4. Określenie fizykalnych przyczyn wpływu warunków użytkowania na uszkodzalność układów i elementów autobusu wymaga dodatkowych badań specjalistycznych.
 - 3.5. Częstotliwość obsługi technicznych powinna uwzględniać charakterystyczne warunki eksploatacji dla danego środowiska.
 - 3.6. Płynność ruchu strumienia pojazdów ("zielona fala") wpływa dodatnio na niezawodność pojazdów.
 - 3.7. Na etapie projektowania i konstruowania pojazdu konieczne jest uwzględnienie warunków eksploatacji danego obiektu.

LITERATURA

- 1 Afanasjew Ł.Ł., Cukerberg S.M. - Przewozy samochodowe. WKiŁ Warszawa 1976.
- 2 Aksenow P.W. - O sistemnom podchode w prikladnoj nauke po awtomobilu. Awtomobilnaja pramyšlennost 9/1975 .
- 3 Artamow M.D., Ilarionow W.A., Marin M.M.- Motor Vehicles Fundamentals and Design. Mir Publishers Moscow 1973.
- 4 Basiewicz T., Bałuch M. - Niezawodność nawierzchni kolejowej. Problemy kolejnictwa z.51. WKiŁ Warszawa 1971.
- 5 Becker P.W., Jensen F. - Design of Systems and Circuits for Maximum Reliability or Maximum Production Yield McGraw - Hill Book Company, New York 1977.
- 6 Beichelt F. - Problemy niezawodności i odnowy urządzeń technicznych. WNT Warszawa 1974.
- 7 Benjamin J.R., Cornell C.A.,- Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów. WNT Warszawa 1977.
- 8 Bołotin W.W. - Metody statystyczne w mechanice budowli. Arkady Warszawa 1968.
- 9 Cichy M., Mazurek S. - Konstrukcja modelu eksploatacji samochodu w warunkach ruchu miejskiego. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn 4/1977 .
- 10 Čerwonyj A.A., Łykaščenko W.U., Košin L.W. - Nadežnost složnych sistem. Iz-wo "Mašinostrojenje" Moskwa 1972.
- 11 Dąbrowa-Bajon M. - Bezpieczeństwo ruchu przy różnych poziomach automatyzacji urządzeń zabezpieczających. Problemy kolejnictwa z.51 . WKiŁ Warszawa 1971.
- 12 Duszkiewicz St., Pinczak J., Mazurek S. - Konstrukcja modelu warunków eksploatacji silnika wysokoprężnego autobusu miejskiego. w: "Podstawy technologii, eksploatacji i niezawodności pojazdów samochodowych". WKiŁ Warszawa 1978.
- 13 Fisz M. - Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna. PWN Warszawa 1969 r.
- 14 Fizyczne aspekty trwałości i niezawodności obiektów technicznych. IPPT PAN Warszawa - Poznań 1976.
- 15 Fokin J.G. - Niezawodność eksploatacyjna urządzeń technicznych. Wyd. MON Warszawa 1973.

- 16 Gałburt A.E. - Režimy raboty mehanizmov avtomobilej siemijastva MAZ-500 v različnych ekspluatacionnych uslovijach. Avtomobilnaja promyšlennost nr 7/1971.
- 17 Gałusko W.G. - Verojatnostno - statističeskiye metody na avto-transportie. Iz-vo "Viša škola" Kiev 1976.
- 18 Garcbach J.B., Kordonski Ch.B. - Modele niezawodnościowe obiektów technicznych. WNT Warszawa 1968.
- 19 Gołąbek A., Kuśmidrowicz J. - Badanie wpływu warunków użytkowania autobusu Jelcz PR 110 U i jego układów na przebieg do uszkodzenia. W: "Podstawy technologii, eksploatacji i niezawodności pojazdów samochodowych. WKiŁ, Warszawa 1978.
- 20 Gniedenko B.W., Bielajew J.K., Sołowiew A.D. - Metody matematyczne w teorii niezawodności. WNT Warszawa 1968.
- 21 Greń J. - Statystyka matematyczna, modele i zadania. PWN W-wa 1975.
- 22 Gronowicz J. - Eksploatacyjne badania identyfikujące pracę lokomotyw spalinowych. Pojazdy szynowe nr 1/1979.
- 23 Grzesiak K., Kołodziejski J., Netzel Z. - Badania trwałościowe obiektów technicznych. WNT Warszawa 1968.
- 24 Havilland R.P. - Niezawodność urządzeń technicznych. PWN W-wa 1968
- 25 Hebda M., Janicki D. - Trwałość i niezawodność samochodów w eksploatacji. WKiŁ Warszawa 1977.
- 26 Hebda M., Mazur T., Pelc H. - Teoria eksploatacji pojazdów. WKiŁ Warszawa 1978.
- 27 Hebda M., Janicki D., Broniecki R., Pankiewicz B. - Badanie wpływu warunków eksploatacji na proces uszkodzeń samochodów. Materiały Sympozjum IEPM WAT, WAT Warszawa 1976
- 28 Instrukcja obsługi autobusu miejskiego Jelcz PR 110 U.
- 29 Jacenko N.N. - Drgania, wytrzymałość i przyspieszone badania samochodów ciężarowych. WKiŁ Warszawa 1975.
- 30 Janicki D. - Badania wpływu warunków eksploatacji na intensywność uszkodzeń samochodu. Motoryzacja nr 9/1976.
- 31 Katalog części zamiennych autobusu miejskiego Jelcz PR 110 U.
- 32 Kobiela T. - Identyfikacja własności dynamicznych układów mechanicznych metodami biernymi. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1977.

- 33 Konarski A. - Przepustowość dróg i ulic. Pol.Wrocławska, Wrocław 1977.
- 34 Konieczny J. - Sterowanie eksploatacją urządzeń. PWN, W-wa 1975.
- 35 Konieczny J. - Podstawy eksploatacji urządzeń. Wyd.MON , W-wa 1975.
- 36 Kopociński B. - Zarys teorii odnowy i niezawodności. PWN W-wa 1973.
- 37 Kuzniecowa E.S. - Obezpiečenie nadiežnosti avtomobilej MAZ v eksploatacii. Moskva "Transport" 1977.
- 38 Kwaśniewski St. - "Modelowa ocena skuteczności rozmrażania ładunków w wagonach towarowych". /praca doktorska/ W-aw 1978.
- 39 Langlois-Berthelot R. - Trwałość, niezawodność, funkcjonalność wyrobów przemysłowych. WNT Warszawa 1972.
- 40 Lenkiewicz W. - Badania nad trwałością elementów i zespołów samochodowych eksploatowanych w różnych warunkach terenowych. Zagadnienia tarcia, zużycia i smarowania nr 2/1967.
- 41 Lisowski Zb. - Strategia optymalizacji niezawodności pojazdów szynowych. Pojazdy szynowe nr 4/1976.
- 42 Lisowski Zb. - Zużycie i uszkodzenia a podstawowe miary eksploatacyjne pojazdów szynowych. Problemy Kolejnictwa z.51. WKŁ Warszawa 1971.
- 43 Mann N.R., Schafer R.E., Singpurwalla N.D. - Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data. John Wiley and sons Inc. 1974.
- 44 Mańczak K. - Technika planowania eksperymentu. WNT Warszawa 1976.
- 45 Materiały Statystyczne Przedsiębiorstw Komunikacji Miejskiej, Warszawa 1978.
- 46 Mazurek T., Kubalski J., - Komunikacja miejska. WKŁ Warszawa 1968.
- 47 Miller J., Freund J.E. - Probability and Statistics for Engineers. Prentice-hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1965.
- 48 Mitchke M. - Dynamika samochodów. WKiŁ Warszawa 1977.
- 49 Mucandze A.N., Dzanaridze N.L., Badrijev K.L. - Režimy raboty avtomobilej v gornoj miestnosti. Iz-vo "Meoniereba" Tbilisi 1974.
- 50 Mucandze A.N., Badrijev K.L., Gviłava N.S. - Prognozirovanie resursa elementov transmissi avtomobila ZIL-MMZ-555. Avtomobilnaja promyslennost nr 5/1975.
- 51 Newman L. - Bus-Carpool FWY Lanes in San Francisco Area. Transportation engineering journal nr 12/1976.

- 52 Niefiedov A.F., Vysočín L.N. - Płanirovanie eksperimenta i modelirovanie pri issledovanii eksploatacionnyh svojstv avtomobili. Iz-vo "Viša škoła" Lvov 1976.
- 53 Nowakowski T. - Współczynnik adaptacji jako wskaźnik charakteryzujący wpływ warunków eksploatacji na niezawodność autobusu miejskiego. Materiały na II Ogólnopolską Konferencję Studentów Kół Naukowych, Wrocław 1977 /nie publikowane/.
- 54 Nowikow O.A., Uwarow W.N. - Rachunek prawdopodobieństwa w zagadnieniach eksploatacji i obsługi samochodów. WKŁ Warszawa 1971.
- 55 Osepčugov V.V. - Analiz rezultatov poligonnyh ispytanij po metodice modelirujuščej režim gorodskogo dviženija. Avtomobilnaja promyšlennost nr 11/1976.
- 56 Ostrovcev A.N. - Potencjalnyje svojstva funkcjonalnych sistem i ich vlijanie na eksploatacionnyje kačestva avtomobila. Avtomobilnaja promyšlennost nr 10/1975.
- 57 Pieses L.Ja., Stiepanov M.D. - Osnovy teorii uskoriennyh ispytanij na nadiežnost. Iz-vo "Nauka i tiechnika" Minsk 1972.
- 58 Pietruschka E. - Principles of Reliability. Prentice-hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- 59 Pogodoznawstwo dla zmotoryzowanych. Red. J.Osos. WKiŁ W-wa 1975.
- 60 Reznik L. - Ocena konstrukcji avtomobila po jego prispособlenosti k klimatičeskim uskoviam. Avtomobilnyj transport nr 9/1975.
- 61 Reznik L. - Ocena kačestva avtomobilej s učetom pieriemennogo charaktera uskovij eksploatacii. Avtomobilnaja promyšlennost nr 11/1976.
- 62 Salamon Sz. - Badanie niezawodności układu hamulcowego samochodu. /praca doktorska/ Wrocław 1979.
- 63 Skalmierski B., Tylikowski A. - Procesy stochastyczne w dynamice. PWN Warszawa 1972.
- 64 Smalko Zb. - Podstawy projektowania niezawodnych maszyn i urządzeń mechanicznych. PWN Warszawa 1972.
- 65 Smalko Zb. - Próba oceny wpływu warunków eksploatacji na poziom niezawodności maszyn. Materiały Konferencji "Niezwadność systemów technicznych", Wrocław 1976.
- 66 Sterman B.P., Schofer J.L. - Factors Affecting Reliability of Urban Bus Services. Transportation engineering journal nr 10/1976.
- 67 Stochastyczna mechanika konstrukcji. Zakł.im. Ossolińskich, Wyd.PAN Wrocław 1973.

- 68 Szor J.B., Kuźmin F.J. - Ocena niezawodności urządzeń. WNT Warszawa 1970.
- 69 Sztarski M. - Niezawodność i eksploatacja urządzeń elektronicznych. WKiŁ Warszawa 1972.
- 70 Vajnszejn B. - Metody ocenki sovershenstva konstrukcii avtomobilej. Avtomobilnyj transport nr 10/1974.
- 71 Velikanov D. - Razvitie metoda ocenki sovershenstva konstrukcii avtomobilja. Avtomobilnyj transport nr 1/1973.
- 72 Wójcicki W. - Wpływ warunków eksploatacji na intensywność uszkodzeń instalacji elektrycznych w wagonach pasażerskich /praca doktorska/. Wrocław 1979.
- 73 Zamojski W. - Teoria i technika niezawodności. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1976.
- 74 Zieliński R. - Tablice statystyczne. PWN Warszawa 1972.

Komunikaty i Raporty

- 75 Gołąbek A., Kuśmidrowicz J. - "Badania eksploatacyjnej serii autobusów Jelcz PR 110 U" Komunikat I-16 nr 199, W-w 1976.
- 76 Gołąbek A., Kuśmidrowicz J., Stolarek E. - "Badania niezawodnościowe autobusów Jelcz PR 110 U, cz.I. Wstępne opracowanie wyników badań". Raport I-16 nr 345, W-w 1976.
- 77 Gołąbek A., Kuśmidrowicz J., Stolarek E. - "Badania niezawodnościowe autobusów Jelcz PR 110 U". Raport I-16 nr 392, W-w 1977.
- 78 Gołąbek A., Kuśmidrowicz J., Kiliańczyk R., Młyńczak M., Nowakowski T., Tuzinkiewicz S. - "Badania eksploatacyjne autobusów Jelcz PR 110 U cz.I". Raport I-16 nr 455, W-w 1977.
- 79 Gołąbek A., Kuśmidrowicz J., Winogradzki R. - "Ocena stanu eksploatacji autobusów Jelcz PR 110 U w III okresie badań eksploatacyjnych cz.I Poziom złożoności - autobus". Raport I-16 nr 607, Wrocław 1979.
- 80 Gołąbek A., Kuśmidrowicz J. - "Badania niezawodności autobusów miejskich". Raport nr 534 I-16, W-w 1979.
- 81 Gołąbek A., Młyńczak M. - "System przetwarzania na EMC danych o eksploatacji pojazdu" /w przygotowaniu/.
- 82 Gołąbek A., Kuśmidrowicz J. - "Wyniki badań eksploatacyjnych silnika SW 680/56". Raport I-16 nr 387, W-w 1977.
- 83 Kuśmidrowicz J., Kuliś J. - "Badania trwałościowe w eksploatacji silnika SW 680/56 autobusu Jelcz PR 110 U - Wstępne opracowanie

- wyników". Raport I-16 nr 393, Wrocław 1977.
- 84 Kuśmidrowicz J., Kuliś J. - "Badania trwałościowe w eksploatacji silnika SW 680/56 autobusu Jelcz PR 110 U". Raport I-16 nr 458 , Wrocław 1977.
 - 85 Gołąbek A., Kiliańczyk R., Kuśmidrowicz J. - "Analiza porównawcza uszkodzalności silników SW 680 w wersji pionowej i poziomej". Raport I-16 nr 496, W-w 1978.
 - 86 Kuśmidrowicz J., Okulicz W. - "Wyniki pomiarów zużycia eksploatacyjnego silników SW 680/56 w autobusach Jelcz PR 110 U". Raport I-16 nr 522 , W-w 1978.
 - 87 Gołąbek A., Kuśmidrowicz J., Winogradzki R. - "Ocena stanu eksploatacji autobusów Jelcz PR 110 U w III okresie badań eksploatacyjnych cz. II Poziom złożoności - silnik". Raport I-16 nr 608 , W-w 1979.
 - 88 Gołąbek A., Stolarek E., Młyńczak M., Nowakowski T. - "Projekt systemu zbierania informacji i przetwarzania na EMC danych o eksploatacji niezawodności autobusów, samochodów ciężarowych i pochodnych". Raport I-16, nr 549 , W-w 1978.
 - 89 Gołąbek A., Nowakowski T., Stolarek E. - "Badanie parametrów procesu użytkowania autobusu miejskiego". Raport I-16 nr 569, Wrocław 1979.
 - 90 Kosarzyński Z., Kotarba W. - "Charakterystyka stanu organizacyjnego systemu użytkowania i obsługi autobusów Jelcz PR 110 U w wybranych przedsiębiorstwach komunikacji miejskiej". Raport I-23, seria Sprawozdania nr 8 , W-w 1979.
 - 91 Kosarzyński Z., Kotarba W. - "Badania stanu organizacyjnego systemów użytkowania i obsługi autobusów Jelcz PR 110 U /analiza porównawcza środowisk/. Raport I-23, seria Sprawozdania nr 9, Wrocław 1979.
 - 92 Gałdzicki Z., Gidzińska D. - "Analiza struktury społeczno-demograficznej pracowników obsługi autobusów Jelcz PR 110 U z wybranych zakładów transportowych". Raport I-23, seria Sprawozdania nr 10 , W-w 1979.
 - 93 Konopiński M., Bernacik A. - "Badanie nad podniesieniem trwałości i niezawodności elementów układu elektrycznego autobusu Jelcz PR 110 U , etap I - Badania charakterystyk środowiska i eksploatacji autobusu". Instytut Elektrotechniki Przemysł. Pol. Poznańskiej , Poznań 1978.
 - 94 Konopiński M., Bernacik A. - "Badania nad podniesieniem trwałości i niezawodności elementów układu elektrycznego autobusu Jelcz

PR 110 V - etap II - Badania przyczyn uszkodzeń elementów układu elektrycznego autobusu". Inst. Elektrotechniki Przemysł. Pol. Poznańskiej, Poznań 1979.

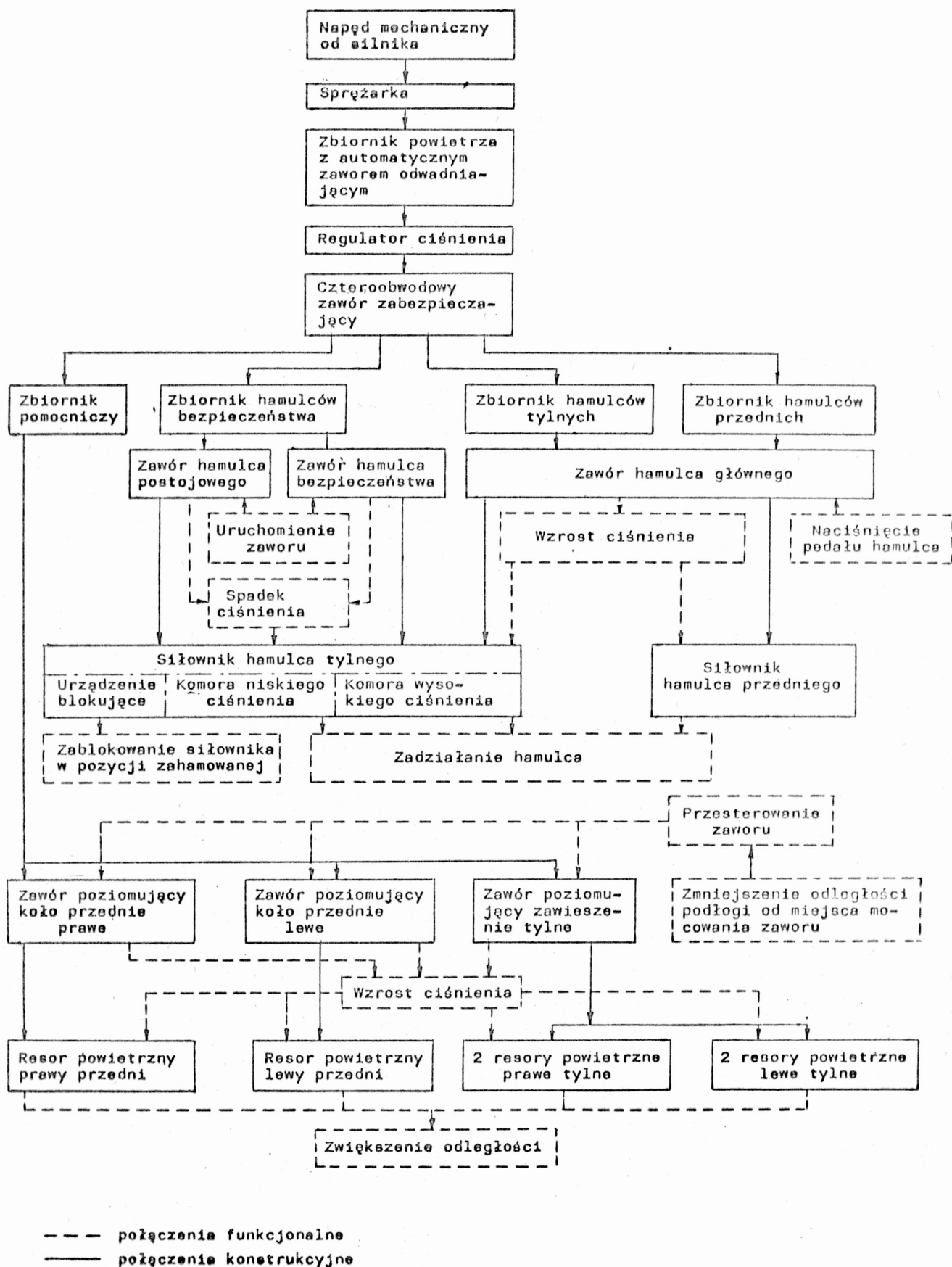
- 95 Romanów F. - "Eksperyment rozpoznawczy w zakresie identyfikacji charakterystyk dynamicznych". Raport I-16 nr 112, W-w 1977.
- 96 Kasprzak W., Romanów F. - "Identyfikacja obciążeń dynamicznych konstrukcji nośnej autobusu cz.I". Raport I-16 nr 158, W-w 1978.
- 97 Banachowicz M., Galar R. - "Analiza modeli dynamicznych zawieszonych pojazdów pod kątem symulacji obciążeń". Raport I-16 nr 274 Wrocław 1978.
- 98 Kobiela T., Romanów F. - "Identyfikacja charakterystyk probabilistycznych wymuszeń kinematycznych działających na pojazd". Raport I-16 nr 526, W-w 1978.
- 99 Kasprzak W., Romanów F. - "Identyfikacja obciążeń dynamicznych konstrukcji nośnej autobusu cz.II". Raport I-19, SPR 8, W-w 1979.
- 100 Bąk R., Kobiela T. - "Wpływ przyspieszenia procesu stochastycznego odkształceń o szerokim widmie na czas życia". Raport I-19 nr SPR 19, W-w 1979.
- 101 Łukowski S., Kieżun S. - "Identyfikacja charakterystyki dynamicznej autobusu PR 110 U w procesie hamowania cz.I." Raport I-16 nr 440, W-w 1977.
- 102 Łukowski S., Kieżun Z. - "Identyfikacja charakterystyki dynamicznej autobusu PR 110 U w procesie hamowania cz.II". Raport I-16 nr 538, W-w 1978.
- 103 Kazimierzczak J., Michniewicz M. - "Badania skrzyni biegów i mostu napędowego autobusu PR 110 U cz.I". Raport I-16 nr 456, Wrocław 1977.
- 104 Bochman J., Bombała A., Klim Z. - "Optymalizacja hamulców oraz wyznaczenie wskaźników trwałości i niezawodności układów hamulcowych i ich części w autobusie PR 110 U". Raport I-16 nr 521, Wrocław 1978.

Tabela 44

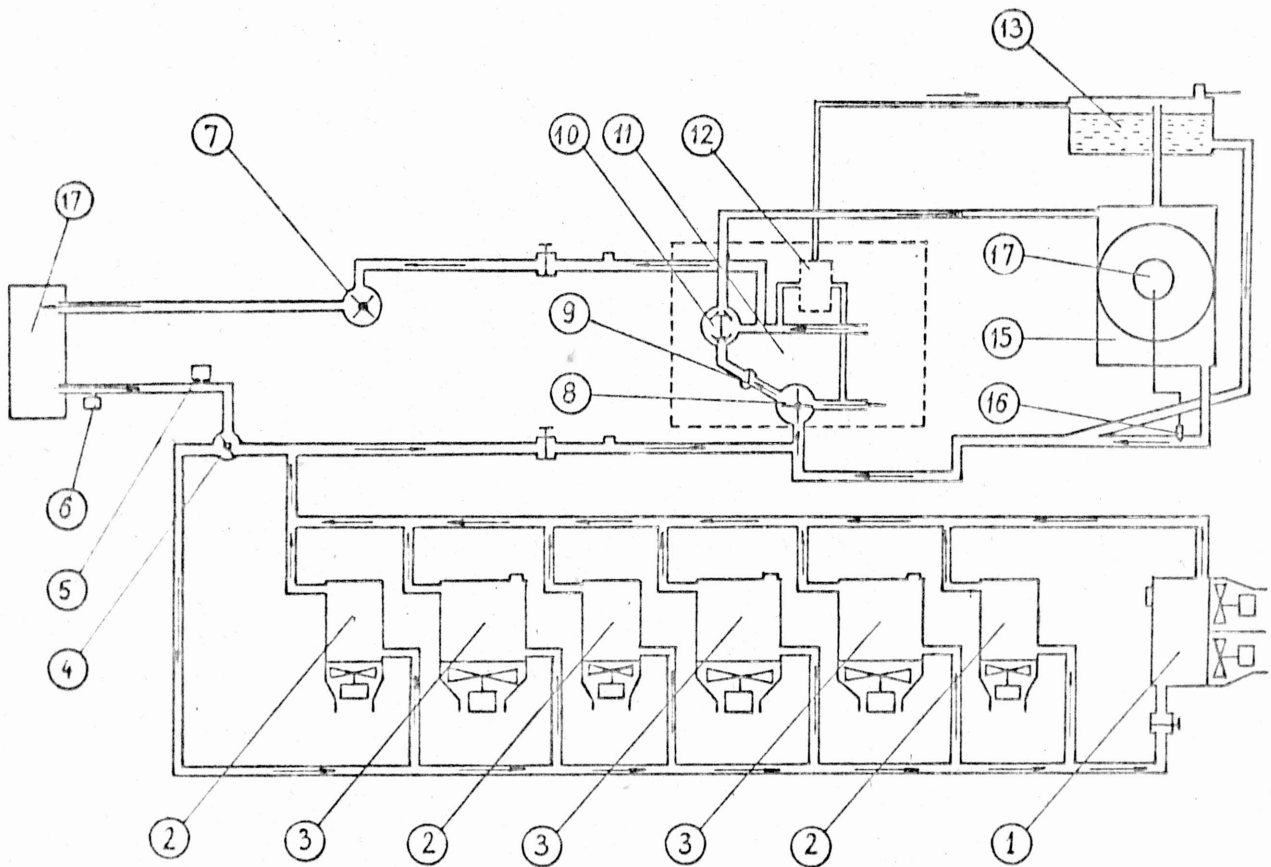
Podział autobusu miejskiego Jelcz PR 110 U na układy funkcyjne [31]

U k ł a d	Zespoły i podzespoły układu
1	2
07 sprzęgło	sprzęgło obudowa s. sterowanie s. wspomaganie hydrauliczne s. obwód wspomagania s.
08 skrzynia biegów	obudowa sk.b. pokrywa sterowania sk.b. wałek główny, wałki koła zębate i synchronizatory mechanizm zmiany biegów sterowanie sk.b.
09 oś przednia	wahacze przegubowe zwrotnice piasty (bez bębna hamulcowego)
10 most tylny	pochwa mostu piasta (bez bębnow hamulcowych) zwolnica mechanizm różnicowy przekładnia główna
11 układ hamulcowy	obwody: - sprężarka - zawór zabezpieczający (bez sprężarki), - zawór zabezp.-główny zawór hamulcowy, - hamulca głównego, - hamulca bezpieczeństwa, - hamulca postojowego, - unieruchomienia pojazdu przy drzwiach otwartych, - hamulca silnikowego, silowniki hamulca przedniego i tylnego, zawór hamulca bezpieczeństwa, zawór hamulca postojowego, sterowanie hamulca, hamulce

1	2
12 koła jezdne	koła jezdne
13 układ kierowniczy	obwód hydraulicznego wspomagania kierownicy, mechanizm wspomagania kierownicy sterowanie kierownicy zamocowanie kierownicy (dźwignie, drażki przegubowe)
14 zawieszenie i stabilizacja przednia	zawieszenie przednie (bez resorów pneumatycznych amortyzatory stabilizator przedni
15 zawieszenie i stabilizacja tylna	zawieszenie tylne (bez resorów) pneumatycznych resor amortyzatory stabilizator tylny
16 wał napędowy	wał napędowy
17 układ pneumatyczny	obwód zawieszenia pneumatycznego resory pneumatyczne zawory poziłomujące
18 ogrzewanie i wentylacja,	przewody ogrzewania wody klimatyzacja: - nagrzewnicą, - wywietrznikiem, - odmrażaczem
19 układ elektryczny	oświetlenie i sygnalizacja zewn. oświetlenie wewnętrzne urządzenie kontrolne urządzenie bezpieczeństwa akumulatory, rozrusznik, alterna- tor, przekaźniki
20 nadwozie	poszycie ścian i dachu zderzaki przedni i tylny wnęki i klapy okna i szyby osprzęt zewnętrzny błotniki, fartuchy, listwy ozdobne , wyposażenie wewnętrzne słupki, poręcze, ścianki działowe , siedzenie kierowcy siedzenia pasażerskie drzwi i sterowanie drzwi tablice informacyjne, napisy i znaki firmowe



Rys.44. Schemat działania układu hamulcowego i zawieszenia pneumatycznego.



Rys.45. Schemat układu ogrzewania wodno-powietrznego

- 1 - odmrażacz szyby przedniej
- 2 - nagrzewnica stopni
- 3 - urządzenie grzewcze
- 4 - zawór 3-drożny dwupozycyjny
- 5 - termostat 65/75°C
- 6 - termostat bezpieczeństwa 92°C
- 7 - pompa uruchamiająca
- 8 - pompa wodna
- 9 - zawór zwrotny
- 10- termostat w silniku, początek
otwarcia 71/77°C, pełne otwarcie 88/93°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

Charakterystyki procesów stochastycznych

Podstawowymi charakterystykami procesów stochastycznych są momenty procesu i właściwości stacjonarności i ergodyczności. Momentem funkcji losowej nazywamy wartość oczekiwaną iloczynów odpowiednich potęg zmiennych losowych $X(t)$:

$$m_{j_1, \dots, j_s}(t_1, \dots, t_s) = E\{[X(t_1)]^{j_1} [X(t_2)]^{j_2} \dots [X(t_s)]^{j_s}\} \quad (79)$$

gdzie:

$$j_n > 0, \quad k = 1, 2, \dots, s$$

Wartość średnia $m_X(t)$ procesu stochastycznego $X(t)$ wynosi:

$$m_X(t) = E[X(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x, t) dx \quad (80)$$

Wariancją procesu stochastycznego $X(t)$ nazywamy funkcję:

$$\sigma_X^2(t) = D^2[X(t)] = E[X(t) - m_X(t)]^2 = \int_{-\infty}^{\infty} [x - m_X(t)]^2 f(x, t) dx \quad (81)$$

Funkcję korelacji własnej (autokorelacji) $R_{XX}(t_1, t_2)$ procesu stochastycznego $X(t)$ określono jako:

$$\begin{aligned} R_{XX}(t_1, t_2) &= E\{[X(t_1) - m_X(t_1)][X(t_2) - m_X(t_2)]\} = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} [x_1 - m_X(t_1)][x_2 - m_X(t_2)] f(x_1, x_2; t_1, t_2) dx_1 dx_2 \end{aligned} \quad (82)$$

Funkcję korelacji wzajemnej procesów stochastycznych $X(t)$ i $Y(t)$ nazywamy:

$$\begin{aligned} R_{XY}(t_1, t_2) &= E\{[X(t_1) - m_X(t_1)][Y(t_2) - m_Y(t_2)]\} = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} [x_1 - m_X(t_1)][y_2 - m_Y(t_2)] f(x, y, t_1, t_2) dx dy \end{aligned} \quad (83)$$

Proces $X(t)$ jest stacjonarny w szerszym sensie, jeśli jego wartość średnia jest stała, a funkcja autokorelacji $R_{XX}(t_1, t_2)$ zależy tylko od $t_2 - t_1$, tzn.:

$$E[X(t)] = m_X = \text{const} \quad (84)$$

$$E\{[X(t) - m_X][X(t + \tau) - m_X]\} = R_{XX}(\tau); \quad \tau = t_2 - t_1 \quad (85)$$

Procesy normalne, stacjonarne w szerszym sensie są także stacjonarne w sensie węższym.

Proces stochastyczny jest stacjonarny w wąskim sensie, jeżeli

jego n -wymiarowa funkcja gęstości prawdopodobieństwa zależy, dla danego n , jedynie od długości przedziałów $t_2 - t_1, t_3 - t_1, \dots, t_n - t_1$, a nie zależy od położenia tych przedziałów w obszarze zmienności argumentu t .

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_n) &= \\ &= f(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1 + t_0, t_2 + t_0, \dots, t_n + t_0) \end{aligned} \quad \text{dla dowolnego } t \quad (86)$$

Konsekwencją tej równości jest:

$$E[X(t)] = m_x = \text{const} \quad (87)$$

$$D^2[X(t)] = E[X(t) - m_x]^2 = \text{const} \quad (88)$$

Funkcja losowa $X(t)$ posiada własność ergodyczności względem wartości oczekiwanej, jeżeli dla dowolnej realizacji tej funkcji, z wyjątkiem realizacji o zerowym prawdopodobieństwie, wartość oczekiwana dowolnej funkcji $V[X(t)]$ jest równa jej wartości średniej w czasie t [52], tzn:

$$\begin{aligned} E[V\{X(t)\}] &= \int_{-\infty}^{\infty} V[x(t)] g(x) dx = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T V[x(t+\tau)] d\tau = \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T V[x(t)] dt \end{aligned} \quad (89)$$

W szczególności stacjonarna funkcja losowa $X(t)$ jest ergodyczna w odniesieniu do swej wartości oczekiwanej $\bar{x}$, jeżeli zachodzi zależność [62]:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} E \left[\left\{ \frac{1}{T} \int_0^{t_0+T} x(t) d\tau - \bar{x} \right\}^2 \right] = 0 \quad (90)$$

Aby, zależność (90) była spełniona, potrzeba i wystarcza aby jej funkcja korelacyjna $R_{xx}(\tau)$ spełniała warunek:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\tau}{T} \right) R_{xx}(\tau) d\tau = 0 \quad (91)$$

Można wykazać [62], że warunkiem wystarczającym na to, aby stacjonarna funkcja losowa $X(t)$ była ergodyczna, jest aby

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} R_{xx}(\tau) = 0 \quad (92)$$

Rozkłady prawdopodobieństwa

W pracy badane zmienne losowe aproksymowano rozkładami prawdopodobieństwa danymi wzorami:

a/ rozkład równomierny

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & a \leq t \leq b \\ 0, & t < a, t > b \end{cases} \quad (93)$$

$$F(t) = \begin{cases} 0, & t < a \\ \frac{1}{b-a}(t-a), & a \leq t \leq b \end{cases} \quad (94)$$

$$E(T) = \frac{a+b}{2}; \quad \sqrt{D^2(T)} = \frac{b-a}{2\sqrt{3}} \quad (95)$$

b/ rozkład wykładniczy

$$f(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (96)$$

$$F(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1 - e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \end{cases} \quad (97)$$

$$E(T) = \sqrt{D^2(T)} = \frac{1}{\lambda} \quad (98)$$

c/ rozkład normalny

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (99)$$

$$F(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}} dt \quad (100)$$

$$E(T) = m; \quad \sqrt{D^2(T)} = \sigma \quad (101)$$

d/ rozkład logarytmo-normalny

$$f(t) = \begin{cases} \frac{A}{t \sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\lg t - m)^2}{2\sigma^2}}; & t > 0 \\ 0; & t < 0 \end{cases} \quad (102)$$

$$F(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(\lg t - m)^2}{2\sigma^2}} dt \quad (103)$$

gdzie:

$$\Lambda = \lg e = 0.4343$$

$$E(T) = e^{\frac{m}{\Lambda}} + \frac{\sigma^2}{2\Lambda} \quad (104)$$

$$D^2(T) = e^{\frac{2m}{\Lambda}} + \frac{\sigma^2}{\Lambda^2} \cdot \left(e^{\frac{\sigma^2}{\Lambda^2}} - 1 \right) \quad (105)$$

przy obliczaniu $E(T)$ i $D^2(T)$ korzystano z tablic w [67]

e/ rozkład Weibulla

$$f(t) = \begin{cases} \frac{\sigma}{\theta} (t-t_0)^{\sigma-1} e^{-\frac{(t-t_0)^\sigma}{\theta}} & ; t \geq t_0 \\ 0 & ; t < t_0 \end{cases} \quad (106)$$

$$F(t) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{(t-t_0)^\sigma}{\theta}} & ; t \geq t_0 \\ 0 & ; t < t_0 \end{cases} \quad (107)$$

$$E(T) = t_0 + \theta \frac{1}{\sigma} \Gamma\left(\frac{1}{\sigma} + 1\right) \quad (108)$$

$$D^2(T) = \theta \frac{2}{\sigma} \left[\Gamma\left(\frac{2}{\sigma} + 1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{\sigma} + 1\right) \right] \quad (109)$$

przy czym

$$\Gamma(y) = \int_0^\infty z^{y-1} e^{-z} dz \quad (110)$$

f/ złożony rozkład Weibulla [23]

$$f(x) = \begin{cases} 0 & ; t < a_0 \\ \frac{\delta_1}{\theta_1} (t-t_{01})^{\delta_1-1} e^{-\frac{(t-t_{01})^{\delta_1}}{\theta_1}} & ; a_0 < t \leq a_1 \\ \frac{\delta_2}{\theta_2} (t-t_{02})^{\delta_2-1} e^{-\frac{(t-t_{02})^{\delta_2}}{\theta_2}} & ; a_1 < t \leq a_2 \\ \frac{\delta_3}{\theta_3} (t-t_{03})^{\delta_3-1} e^{-\frac{(t-t_{03})^{\delta_3}}{\theta_3}} & ; a_2 < t \leq a_3 \\ 0 & ; t > a_3 \end{cases} \quad (111)$$

Wartość oczekiwaną i wariancję obliczono ze wzorów:

$$E(T) = \int_{a_0}^{a_1} \frac{\delta_1}{\theta_1} t^{\delta_1} \exp \left[-\frac{t^{\delta_1}}{\theta_1} \right] + \int_{a_1}^{a_2} \frac{\delta_2}{\theta_2} t^{\delta_2} \exp \left[-\frac{t^{\delta_2}}{\theta_2} \right] +$$

$$+ \int_{a_2}^{a_3} \frac{\delta_3}{\theta_3} t^{\delta_3} \exp \left[-\frac{t^{\delta_3}}{\theta_3} \right] + t_{o1} + t_{o2} + t_{o3} \quad (112)$$

$$D^2(T) = \int_{a_0}^{a_1} (t - \bar{t})^2 \frac{\delta_1}{\theta_1} t^{\delta_1-1} \exp \left[-\frac{t^{\delta_1}}{\theta_1} \right] +$$

$$+ \int_{a_1}^{a_2} (t - \bar{t})^2 \frac{\delta_2}{\theta_2} t^{\delta_2-1} \exp \left[-\frac{t^{\delta_2}}{\theta_2} \right] +$$

$$+ \int_{a_2}^{a_3} (t - \bar{t})^2 \frac{\delta_3}{\theta_3} t^{\delta_3-1} \exp \left[-\frac{t^{\delta_3}}{\theta_3} \right] \quad (113)$$

gdzie:

$$\bar{t} = E(T)$$

Podane całki obliczono numerycznie na EMC metodą trapezów.

Przegląd metod oceny wpływu warunków eksploatacji na niezawodność obiektu

Metoda funkcji charakterystycznej:

Niech $X_1, X_2, \dots, X_n$ będą zmiennymi losowymi ciągłymi o dystrybuantach $F_1 x, F_2 x, \dots, F_n x$, a Y zmienną losową ciągłą o dystrybuancie $G x$. Wówczas na podstawie twierdzenia Bochera [13] można obliczyć funkcje charakterystyczne $\varphi_{X_1}(t), \varphi_{X_2}(t), \dots, \varphi_{X_n}(t), \varphi_Y(t)$, zmiennych losowych $X_1, X_2, \dots, X_n, Y$.

Znając funkcje charakterystyczne $\varphi_{X_1}(t)$ można obliczyć $\varphi_Y(t)$ w oparciu o twierdzenia:

1. Niech $Y = X + b$, to:

$$\varphi_Y(t) = e^{itb} \varphi_X(t) \quad (114)$$

2. Niech $Y = aX$, to

$$\varphi_Y(t) = \varphi_X(at) \quad (115)$$

3. Niech $Y = aX + b$, to

$$\varphi_Y(t) = e^{itb} \varphi_X(at) \quad (116)$$

4. Niech $Y = X_1 + X_2 + \dots + X_n$, to

$$\varphi_Y(t) = \varphi_{X_1}(t) \varphi_{X_2}(t) \dots \varphi_{X_n}(t) \quad (117)$$

Można zatem jednoznacznie określić rozkład wyjściowej zmiennej losowej postaci:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n$$

Jednakże przy założonych postaciach funkcji gęstości prawdopodobieństwa, obliczenie funkcji charakterystycznej z gęstości rozkładu prawdopodobieństwa i na odwrót jest trudne lub wręcz niemożliwe [16]. W dodatku metoda ta wymaga znajomości funkcji

$$Y = Y(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad .$$

Metoda funkcji zmiennych losowych

W rachunku prawdopodobieństwa dowodzi się, że funkcje zmiennych losowych $Y = y(X_1, X_2, \dots, X_n)$ są również zmiennymi losowymi [13]. Jeżeli dla wielowymiarowej zmiennej losowej $X_1, X_2, \dots, X_n$ o gęstości

prawdopodobieństwa $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ założymy, że funkcje $y_n = y_n(x_1, x_2, \dots, x_n)$ są różniczkowalne i wzajemnie jednoznaczne, to wielowymiarowa zmienna losowa $(Y_1, Y_2, \dots, Y_N)$ będzie mieć gęstość prawdopodobieństwa o postaci:

$$g(y_1, y_2, \dots, y_N) = |J(y_1, y_2, \dots, y_N)| f[x_1(y_1, \dots, y_N), \dots, x_n(y_1, \dots, y_N)] \quad (118)$$

przy czym

$$J(y_1, y_2, \dots, y_N) = \begin{vmatrix} \frac{\delta x_1}{\delta y_1} & \frac{\delta x_1}{\delta y_2} & \dots & \frac{\delta x_1}{\delta y_N} \\ \frac{\delta x_2}{\delta y_1} & \frac{\delta x_2}{\delta y_2} & \dots & \frac{\delta x_2}{\delta y_N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\delta x_n}{\delta y_1} & \frac{\delta x_n}{\delta y_2} & \dots & \frac{\delta x_n}{\delta y_N} \end{vmatrix} \quad (119)$$

jest jacobianem przekształcenia. Wzór (118) określa funkcję gęstości prawdopodobieństwa na wyjściu modelu o N wejściach i N wyjściach. Podobnie jak poprzednio potrzebna jest znajomość funkcji $Y = y(X_1, X_2, \dots, X_n)$ a priori.

Metoda probabilistyczna drugiego rzędu

Metoda probabilistyczna drugiego rzędu [8,66] jest ograniczona do:

- drugiego stopnia momentów zmiennych losowych ,
- pierwszego stopnia (zlinearyzowanych) zależności dla układów, którego losowe odchylenia od oczekiwanego stanu analizujemy.

Algorytm postępowania jest niezależny od rozkładu, w szczególności nie zakłada się, że rozkłady są normalne. Jednakże, jeżeli równania są faktycznie liniowe i jeżeli niezależne zmienne losowe są normalne, wtedy zmienne uzyskane w wyniku obliczeń są także normalne i metoda daje pełne rozwiązanie probabilistyczne.

W omawianej metodzie zakłada się, że zmienne losowe wejściowe

$X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ mają:

- wartości oczekiwane $M_x = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$,
- wariancję $\Sigma_x^2 = \{\sigma_{x_1}^2, \sigma_{x_2}^2, \dots, \sigma_{x_n}^2\}$
- macierz kowariancji $K_x = \begin{Bmatrix} \sigma_{x_1}^2 & \sigma_{x_1 x_2}^2 & \sigma_{x_1 x_3}^2 & \dots \\ \sigma_{x_2 x_1}^2 & \sigma_{x_2}^2 & \sigma_{x_2 x_3}^2 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{Bmatrix}$

Wówczas parametry rozkładu zmiennych losowych wyjściowych

$Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_R\}$, danych wzorem:

$$Y_j = g_j(X_1, X_2, \dots, X_n) ; j = 1, 2, \dots, R \quad (120)$$

są następujące:

$$M_Y = A_o^T + A^T M_x \quad (121)$$

$$K_Y = A^T K_x A \quad (122)$$

gdzie:

$$A_o^T = \{a_{o1}, a_{o2}, \dots, a_{oR}\} \quad (123)$$

$$a_{oj} = g_j(m_1, m_2, \dots, m_n) - \sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta g_j}{\delta x_i} \mid M_x m_i \right) \quad (124)$$

$$A = \begin{Bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1R} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2R} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nR} \end{Bmatrix} \quad (125)$$

$$a_{ij} = \left(\frac{\delta g_j}{\delta x_i} \right) M_x \quad (126)$$

W przypadku, w którym stosuje się centralne twierdzenie graniczne [13] można przyjąć, że zmienne wynikowe mają rozkład normalny, bez określenia rozkładu zmiennych losowych wejściowych.

Metoda prawdopodobieństwa całkowitego

W metodzie tej zakłada się m.in., że [63] :

- obiekt może funkcjonować w jednym z możliwych warunków eksploatacji $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s$, gdzie $\omega_i = \{x_j\}$ oznacza zespół wartości wielkości fizycznych $x_1, x_2, \dots, x_m$ charakteryzujących dane warunki eksploatacji,
- prawdopodobieństwo, że obiekt w czasie eksploatacji znajdzie się w warunkach ω_i wynosi ν_i ,
- znane są prawdopodobieństwa uszkodzeń $q(t)$ w warunkach ω_i .

Zgodnie ze wzorem na prawdopodobieństwo całkowite, można wyznaczyć prawdopodobieństwo uszkodzenia obiektu:

$$q(t, \omega) = \nu_1 q(t, \omega_1) + \nu_2 q(t, \omega_2) + \dots + \nu_s q(t, \omega_s) \quad (127)$$

Analiza metody [63] wykazała, że nie uwzględnienie zależności wartości wskaźników niezawodności $q(t)$ obiektu od warunków pracy powoduje zawyżoną ocenę ponoszonych strat.

Metoda podobieństwa

Metoda ta oparta jest na porównaniu ilości pracy T wykonanej przez obiekt w różnych warunkach eksploatacji. Zakłada się, że [63]:

- obiekt może pracować w warunkach eksploatacji $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s$,
- rozkład czasu poprawnego działania T można aproksymować przy pomocy rozkładu Weibulla.

Wówczas przez porównanie oczekiwanego czasu pracy między uszkodzeniami i -tych i $(i+1)$ -szych warunkach pracy można wyznaczyć współczynniki przejścia:

$$\begin{aligned} \xi_{i,i+1} &= \frac{m_{T_i}}{m_{T_{i+1}}} = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_i}\right) \left\{ -\ln[1 - q_{i+1}(t)] \right\}^{\frac{1}{b_{i+1}}}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_{i+1}}\right) \left\{ -\ln[1 - q_i(t)] \right\}^{\frac{1}{b_i}}} = \\ &\cong \frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_i}\right) [q_{i+1}(t)]^{\frac{1}{b_{i+1}}}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_{i+1}}\right) [q_i(t)]^{\frac{1}{b_i}}} \end{aligned} \quad (128)$$

Stąd dla i -tych warunków pracy przy znanym współczynniku przejścia $\xi_{i,i+1}$ prawdopodobieństwo uszkodzenia w $(i+1)$ -szych warunkach pracy:

$$q_{i+1}(t) = \xi_{i,i+1}^{\frac{b_{i+1}}{b_i}} [q_i(t)]^{\frac{b_{i+1}}{b_i}} \quad (129)$$

Jeżeli parametry kształtu $b_i = b_{i+1}$ rozkładu Weibulla są równe, to

$$q_{i+1}^t = \xi_{i,i+1}^b q_i(t) \Rightarrow E(T_i) = \xi_{i,i+1} E(T_{i+1}) \quad (130)$$

Za pomocą podanej metody, a szczególnie wzoru (130) prowadzono analizę wpływu warunków eksploatacji na niezawodność obiektów w większości prac dotyczących tego problemu (p.2). Metoda ta nie pozwala na bezpośrednie określenie wpływu czynników charakteryzujących warunki eksploatacji na niezawodność obiektu.

Metoda analizy regresji

Metoda ta umożliwia wyznaczenie opisu matematycznego obiektów o nieznanym charakterystykach na podstawie wartości wejść i wyjść. Obiekt jest opisany nieznaną charakterystyką nieliniową:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_s, z) \quad (131)$$

gdzie:

$x_1, \dots, x_s$ - wejścia obiektu,

y - wyjście obiektu,

z - niemierzalne zakłócenie przypadkowe.

Metoda regresji pozwala wyznaczyć charakterystykę aproksymującą charakterystykę (131) postaci:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_s, b_0, b_1, b_2, \dots, b_k)$$

zawierającą $k+1$ nieznanym współczynników b_k ($k = 0, 1, 2, \dots, K \leq N-1$). Znajomość funkcji regresji umożliwia przewidywanie przeciętnego zachowania się obiektu.

Metoda analizy regresji jest często stosowana do teoretycznego rozwiązania wielu zagadnień związanych z eksploatacją pojazdów np. w pracach [11, 17, 37, 48, 51, 57]. W cytowanej literaturze metoda ta stosowana jest wyłącznie do określania zależności między parametrami eksploatacyjno-technicznymi lub ekonomicznymi. Nie napotkano formuł analizujących niezawodność pojazdu.

Mgr inż. Tomasz Nowakowski
Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn
Politechniki Wrocławskiej

Pracę złożono w Redakcji Inst. KEM 12.05.80

ODBIORCY:

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