

## **Dr inż. Grądzki Rafał <sup>1</sup>, Prof. Lindstedt Paweł <sup>2</sup>**

(1) Politechnika Białostocka  
Wydział Mechaniczny  
ul. Wiejska 45 C, 15 - 351 Białystok  
E-mail: [r.gradzki@pb.edu.pl](mailto:r.gradzki@pb.edu.pl)

(2) Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych  
01 – 494 Warszawa  
E-mail: [sekretariat.naukowy@itwl.pl](mailto:sekretariat.naukowy@itwl.pl)

### **Metoda oceny stanu zdatności obiektu technicznego w otoczeniu warunków użytkowania i obsługi**

**Słowa kluczowe:** *diagnostyka, regulacja, zdatność*

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych trzech różnych obiektów technicznych (silników autobusów komunikacji miejskiej). Zebrana informacja została przedstawiona w 3 zbiorach (1 – dotyczy obiektu, 2 – dotyczy warunków jazdy, 3 – dotyczy kierowcy; przy czym zbiory 2 i 3 stanowią otoczenie obiektu) w postaci umownych punktów (eksperyckich liczbowych ocen). Relację między punktową informacją o obiekcie i punktową informacją o otoczeniu opisano za pomocą sprzężonych równań stanu. Takie podejście pozwoliło wyznaczyć dla każdej chwili eksploatacji: parametr stanu technicznego  $a_T$  i parametr stanu działania  $a_R$ . Zatem w każdej chwili eksploatacji może być dostępna informacja o stanie technicznym i stanie działania każdego eksploatowanego obiektu (autobusu). Informacja ta pozwala identyfikować w każdej chwili stan zdatności obiektu, a zatem pozwala optymalnie sterować procesami użytkowania i obsługi poszczególnych obiektów jako elementu zbioru obiektów i zbiorem obiektów.

#### **1. Wstęp**

Długotrwałe użytkowanie maszyny pociąga za sobą jej stopniowe niszczenie co jest spowodowane pogorszeniem się jej własności materiałowych i zużyciem mechanicznym. Obsługa techniczna ma zatem zadanie prowadzenie ciągłej, (bieżącej) oceny zasobu stanu technicznego i możliwości prawidłowego działania obiektów technicznych na podstawie zmierzonych sygnałów diagnostycznych, sygnałów użytkowania i warunków w jakich obiekt jest użytkowany. Daje to możliwość obserwacji zmiany stanu działania i zmiany stanu technicznego, a następnie zmiany stanu niezawodności obiektu technicznego [2,7,15,19,23].

W artykule zaprezentowano konspekt nowej metody badań eksploatacyjnych, której podstawą jest założenie, że wszystkie informacje (sygnały diagnostyczne, sygnały użytkowania, sygnały warunków użytkowania) są wyrażone (przedstawione) w postaci punktowej co daje możliwość ich prostego przetwarzania.

Sygnały diagnostyczne w postaci punktowej pierwszy raz wykorzystano w diagnostyce śmigłowca pokładowego SH-2G (USA) [22]. W metodzie tej badania zdatności obiektów następuje tylko poprzez zsumowanie wszystkich punktów. Następnie określa się czy otrzymana liczba punktów charakteryzująca obsługiwany obiekt jest mniejsza od dopuszczalnej określonej przez producenta (USA).

Zaproponowany w artykule nowatorski sposób wykorzystywania informacji eksploatacyjnej (przedstawionej w postaci punktów) polega na tym, że każdej zmianie sygnałów diagnostycznych, sygnałów określających jakość użytkowania i sygnałów określających warunki użytkowania (w zależności od ich wartości i chwil pojawienia) przypisana jest odpowiednia ustalona przez ekspertów liczba punktów. Następnie na ich

podstawie ze sprzężonych równań stanu [3,12,13,15,21] wyznacza się parametry stanu działania  $a_R$  i stanu technicznego  $a_T$  w każdej chwili eksploatacji obiektu.

Opisany sposób może okazać się bardzo przydatny, ponieważ jednoznacznie przedstawia globalny eksploatacyjny stan obiektu za pomocą jednoznacznie określonych wartości parametrów  $a_R$ ,  $a_T$  (gdzie  $a_R$  – parametr stanu działania,  $a_T$  – parametr stanu technicznego. Pozwala to przewidzieć jak obiekt powinien być dalej użytkowany i kiedy obiekt powinien być obsługiwany (naprawiany, remontowany).

## 2. Badania diagnostyczne obiektu technicznego i jego otoczenia

Eksploatowany obiekt techniczny (np. silnik autobusowy) powinien być prawidłowo użytkowany i obsługiwany w warunkach dla których jest przeznaczony [4,5,8,9,16÷18,24÷26,29].

Szczególną rolę w systemie eksploatacji obiektu spełnia ekspert – kierowca i ekspert – diagnosta. (ekspert to specjalista oceniający układ i jego otoczenie). Są oni głównym źródłem wiedzy, która powinna być wykorzystywana do zwiększenia prawdopodobieństwa wypracowania pełnej i wiarygodnej oceny stanu zdatności obiektu technicznego w procesie jego obsługi i użytkowania, z uwzględnieniem kosztów eksploatacji [2,7,10,11,27,28].

Badania były prowadzone dla trzech silników autobusowych marki MAN w Komunalnym Przedsiębiorstwie Komunikacji Miejskiej w Białymstoku. Celem badań było pozyskanie sygnałów diagnostycznych dotyczących stanu obiektu  $D_K$  (informacja od diagnosty) oraz informacji stanowiącej jego otoczenie  $U$  (informacja ekspercka od kierowcy).

Badania wykonywano w kolejnych miesiącach roku. W ten sposób uzyskano bazę danych dla 12 miesięcy.

Do przeprowadzenia badań eksploatacyjnych wykorzystano:

- dymomierz - pomiar zadymienia spalin [1/m]
- miernik poziomu dźwięku – pomiar hałasu [dB]
- stanowisko diagnostyczne (hamownia podwoziowa) – pomiar zużycia paliwa [l/100km]
- wiedza ekspercka od kierowcy i diagnosty.

Zebrana informacja zdeterminowana (mierzalna) probabilistyczna i heurystyczna (eksperska) została podzielona na dwa podzbiory:

- sygnały dotyczące stanu technicznego  $D_K$  (tabela 1)
- sygnały dotyczące stanu oddziaływania otoczenia  $U$  (tabela 2)

Tabela 1. Informacja badań diagnostycznych silnika MAN:

$D_{M1}$	średnie zużycie paliwa bez ogrzewania [l/100km]
$D_{M2}$	średnie zużycie paliwa z ogrzewaniem [l/100km]
$D_{M3}$	wartość zadymienia na przedmuchu silnika [1/m]
$D_{M4}$	wartość zadymienia w czasie pracy silnika [1/m]
$D_{M5}$	wartość szczytowa poziomu hałasu [dB]
$D_{M6}$	wartość średnia poziomu hałasu [dB]
$D_{M7}$	wartość siły hamowania na przedniej osi - koło lewe [kN]
$D_{M8}$	wartość siły hamowania na przedniej osi - koło prawe [kN]
$D_{M9}$	procentowa różnica między siłą hamowania przedniej osi koła lewego i prawego [%]
$D_{M10}$	wartość siły hamowania na tylnej osi - koło lewe [kN]
$D_{M11}$	wartość siły hamowania na tylnej osi - koło prawe [kN]
$D_{M12}$	procentowa różnica między siłą hamowania tylnej osi koła lewego i prawego [%]
$D_{E1}$	stuki
$D_{E2}$	samoczynne zgaśnięcia (na biegu jałowym)
$D_{E3}$	zgaśnięcia (w czasie pracy)
$D_{E4}$	przebieg autobusu [km]

Tabela 2. Informacja badań otoczenia silnika MAN:

U <sub>K1</sub>	staż kierowcy [lat]
U <sub>K2</sub>	liczba godzin przepracowanych w ciągu miesiąca [h]
U <sub>K3</sub>	płynność jazdy (hamowanie, przyspieszenie)
U <sub>D1</sub>	liczba przystanków
U <sub>D2</sub>	długość trasy [km]
U <sub>D3</sub>	nawierzchnia i ukształtowanie
U <sub>P1</sub>	temperatura otoczenia [° C]
U <sub>P2</sub>	wiatr [m/s]
U <sub>P3</sub>	ciśnienie atmosferyczne [hPa]
U <sub>P4</sub>	Deszcz [mmHg]

Informacja z tabeli 1 i tabeli 2 są różnej natury fizycznej. Stąd dla każdego przypadku została ona sprowadzona do wartości punktowej.

### 3. Szczególny sposób uwzględnienia wiedzy eksperckiej do „ważenia” informacji

Do pozyskania wiedzy od specjalistów (ekspertów) w celu punktowego ważenia informacji opracowano szczegółowe ankiety z użytkownikami – kierowcami autobusów. [10,28]

Badanie przeprowadzono na grupie 20 ekspertów.

Tabela 3. Eksperskie wagi oceny stanu silnika – diagnostyczne (ekspertem jest diagnosta) oraz kierowcy i otoczenia (ekspertem jest kierowca)

Sygnaly	Nazwa sygnału	Ważność grupy	Ważność w grupie	Ep
D <sub>M1</sub>	średnie zużycie paliwa bez ogrzewania	5	3	15
D <sub>M2</sub>	średnie zużycie paliwa z ogrzewaniem		3	15
D <sub>M3</sub>	wartość zadymienia na przedmuchu silnika		2	10
D <sub>M4</sub>	wartość zadymienia w czasie pracy silnika		2	10
D <sub>M5</sub>	wartość szczytowa poziomu hałasu		1	5
D <sub>M6</sub>	wartość średnia poziomu hałasu		1	5
D <sub>E1</sub>	stuki	4	2	8
D <sub>E2</sub>	samoczynne zgaśnięcia		1	4
D <sub>E3</sub>	zgaśnięcia		3	12
D <sub>E4</sub>	przebieg autobusu		1	4
U <sub>K1</sub>	staż kierowcy	3	1	3
U <sub>K2</sub>	liczba godzin przepracowanych w ciągu miesiąca		2	6
U <sub>K3</sub>	płynność jazdy (hamowanie, przyspieszenie)		3	9
U <sub>D1</sub>	liczba przystanków	2	2	4
U <sub>D2</sub>	długość trasy		1	2
U <sub>D3</sub>	nawierzchnia i ukształtowanie		3	6
U <sub>P1</sub>	temperatura otoczenia	1	3	3
U <sub>P2</sub>	Wiatr		1	1
U <sub>P3</sub>	ciśnienie atmosferyczne		2	2
U <sub>P4</sub>	deszcz		3	3

Ep – eksperckie punkty wagi (ważności problemu)

Informacje (sygnały) związane z obiektem  $\{D_{Mi}\}$ ,  $\{D_{Ei}\}$  i jego otoczeniem  $\{U_{Ki}\}$ ,  $\{U_{Di}\}$ ,  $\{U_{Pi}\}$  poddano obróbce eksperckiej. Eksperti (tabela 3) określili ważność zbioru sygnałów, następnie ważność sygnału w zbiorze i liczbę  $E_p$  do przetworzenia zjawiska eksploatacyjnego na opis punktowy. Na pytania ankietowani odpowiadali poprzez wstawienie liczby punktów (z zakresu 1÷5) do odpowiedniej rubryki kwestionariusza, gdzie 1 – była informacją najmniej istotną.

Ważność informacji  $D_i$  i  $U_i$  wyrażona odpowiednimi punktowymi wagami z uwzględnieniem wiedzy eksperta diagnosty przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Eksperckie punktowe wagi do oceny stanu silnika, diagnosty i kierowcy (tab.3)

Sygnały	Nazwa sygnału diagnostycznego	$E_p$	N	N + 5%	N + 10%	N + 15%	N + 20%
$D_{M1}$	średnie zużycie paliwa bez ogrzewania [l/100km]	15	1	16	31	46	61
$D_{M2}$	średnie zużycie paliwa z ogrzewaniem [l/100km]	15	1	16	31	46	61
$D_{M3}$	wartość zadymienia na przedmuchu silnika [1/m]	10	1	11	21	31	41
$D_{M4}$	wartość zadymienia w czasie pracy silnika [1/m]	10	1	11	21	31	41
$D_{M5}$	wartość szczytowa poziomu hałasu [dB]	5	1	6	11	16	21
$D_{M6}$	wartość średnia poziomu hałasu [dB]	5	1	6	11	16	21

Sygnały	Nazwa sygnału diagnostycznego	$E_p$	<1%	1-10%	10-20%	20-30%	>30%
$D_{M7}$	wartość siły hamowania na przedniej osi - koło lewe [kN]	-	-	-	-	-	-
$D_{M8}$	wartość siły hamowania na przedniej osi - koło prawe [kN]	-	-	-	-	-	-
$D_{M9}$	procentowa różnica między $D_{M7}$ i $D_{M8}$ [%]	15	1	16	31	46	61
$D_{M10}$	wartość siły hamowania na tylnej osi - koło lewe [kN]	-	-	-	-	-	-
$D_{M11}$	wartość siły hamowania na tylnej osi - koło prawe [kN]	-	-	-	-	-	-
$D_{M12}$	procentowa różnica między $D_{M10}$ i $D_{M11}$ [%]	15	1	16	31	46	61
$D_{M13}$	wartość siły hamowania na środkowej osi - koło lewe [kN]	-	-	-	-	-	-
$D_{M14}$	wartość siły hamowania na środkowej osi - koło prawe [kN]	-	-	-	-	-	-
$D_{M15}$	procentowa różnica między $D_{M13}$ i $D_{M14}$ [%]	10	1	11	21	31	41

Sygnały	Nazwa sygnału diagnostycznego	$E_p$	0-2	2-5	>5
$D_{E1}$	stuki	8	1	9	17
$D_{E2}$	samoczynne zgaśnięcia (na biegu jałowym)	4	1	5	9
$D_{E3}$	zgaśnięcia (w czasie pracy)	12	1	13	25

Sygnały	Nazwa sygnału diagnostycznego	$E_p$	< 500 k	500 k - 1 mln	>1 mln
$D_{E4}$	przebieg autobusu	4	1	5	9

Sygnały	Nazwa sygnału otoczenia	$E_p$	< 5 lat	5-12 lat	>12 lat
---------	-------------------------	-------	---------	----------	---------

<b>U<sub>K1</sub></b>	staż kierowcy [lat]	3	1	4	7			
<b>Sygnaly</b>	<b>Nazwa sygnału otoczenia</b>	<b>Ep</b>	<b>&lt; 140 h</b>	<b>140-180 h</b>	<b>&gt;180 h</b>			
<b>U<sub>K2</sub></b>	liczba godzin przepracowanych w ciągu miesiąca [h]	6	1	7	13			
<b>Sygnaly</b>	<b>Nazwa sygnału otoczenia</b>	<b>Ep</b>	<b>&lt;10</b>	<b>10-15</b>	<b>&gt;15</b>			
<b>U<sub>K3</sub></b>	płynność jazdy (hamowanie, przyspieszenie)	9	1	10	19			
<b>Sygnaly</b>	<b>Nazwa sygnału otoczenia</b>	<b>Ep</b>	<b>&lt;15</b>	<b>15-30</b>	<b>&gt;30</b>			
<b>U<sub>D1</sub></b>	liczba przystanków	4	1	5	9			
<b>Sygnaly</b>	<b>Nazwa sygnału otoczenia</b>	<b>Ep</b>	<b>&lt;10 km</b>	<b>10-15 km</b>	<b>&gt; 15km</b>			
<b>U<sub>D2</sub></b>	długość trasy	2	1	3	5			
<b>Sygnaly</b>	<b>Nazwa sygnału otoczenia</b>	<b>Ep</b>	<b>dobra nawierzchnia</b>	<b>średnia nawierzchnia</b>	<b>słaba nawierzchnia</b>			
<b>U<sub>D3</sub></b>	nawierzchnia i ukształtowanie	6	1	7	13			
<b>Sygnaly</b>	<b>Nazwa sygnału otoczenia</b>	<b>Ep</b>	<b>&lt; -10 °C</b>	<b>-10 -10 °C</b>	<b>10-20 °C</b>	<b>20-30 °C</b>	<b>&gt;30 °C</b>	
<b>U<sub>P1</sub></b>	temperatura otoczenia	3	7	4	1	4	7	
<b>Sygnaly</b>	<b>Nazwa sygnału otoczenia</b>	<b>Ep</b>	<b>&lt;28,4 km/h</b>	<b>28,4-61,56 km/h</b>	<b>&gt;61,56 km/h</b>			
<b>U<sub>P2</sub></b>	wiatr	1	1	2	3			
<b>Sygnaly</b>	<b>Nazwa sygnału otoczenia</b>	<b>Ep</b>	<b>&lt;994,66 hPa</b>	<b>996,66-1020 hPa</b>	<b>&gt;1020 hPa</b>			
<b>U<sub>P3</sub></b>	ciśnienie atmosferyczne	2	1	3	5			
<b>Sygnaly</b>	<b>Nazwa sygnału otoczenia</b>	<b>Ep</b>	<b>bez opadów</b>	<b>bez istot. opadów</b>	<b>niewielki deszcz</b>	<b>deszcz</b>	<b>niewielki śnieg</b>	<b>śnieg</b>
<b>U<sub>P3</sub></b>	deszcz	3	1	4	7	10	13	16

Na podstawie tabeli 4 można wyrazić wszystkie sytuacje, zjawiska, fakty eksploatacyjne za pomocą odpowiedniej liczby punktów.

Tabela 5. Zestawienie sygnałów diagnostycznych w postaci fizycznej

Sygnaly diagnostyczne																
Miesiąc	D <sub>M1</sub>	D <sub>M2</sub>	D <sub>M3</sub>	D <sub>M4</sub>	D <sub>M5</sub>	D <sub>M6</sub>	D <sub>M7</sub>	D <sub>M8</sub>	D <sub>M9</sub>	D <sub>M10</sub>	D <sub>M11</sub>	D <sub>M12</sub>	D <sub>E1</sub>	D <sub>E2</sub>	D <sub>E3</sub>	D <sub>E4</sub>
1	35,7	35,7	0,37	0,02	95	92	12	13,2	9	15,8	14,7	6	0	0	0	215582
2	35,7	35,7	0,37	0,02	95	92	12	13,2	9	15,8	14,7	6	0	1	0	217982
3	35,7	35,7	0,37	0,02	95	92	12	13,2	9	15,8	14,7	6	0	0	0	220102
4	35,7	35,7	0,37	0,02	95	92	12	13,2	9	15,8	14,7	6	0	0	2	222669
5	35,7	35,7	0,37	0,02	95	92	12	13,2	9	15,8	14,7	6	1	0	0	225125
6	35,7	35,7	0,37	0,02	95	92	12	13,2	9	15,8	14,7	6	0	3	0	227358
7	33,7	33,7	0,45	0,03	94	90	11,4	12	5	12,5	12,3	1	0	0	0	229758
8	33,7	33,7	0,45	0,03	94	90	11,4	12	5	12,5	12,3	1	0	0	0	232273
9	33,7	33,7	0,45	0,03	94	90	11,4	12	5	12,5	12,3	1	0	0	0	234571
10	35,1	35,1	0,42	0,03	91,9	91	8,8	12,6	29	11,9	13,3	10	3	3	0	236699
11	35,1	35,1	0,42	0,03	91,9	91	8,8	12,6	29	11,9	14,7	10	0	0	0	239047
12	35,1	35,1	0,42	0,03	91,9	91	8,8	12,6	29	11,9	14,7	10	0	0	0	241392

Tabela 6. Zestawienie sygnałów otoczenia w postaci fizycznej

Sygnały otoczenia										
Miesiąc	U <sub>K1</sub>	U <sub>K2</sub>	U <sub>K3</sub>	U <sub>D1</sub>	U <sub>D2</sub>	U <sub>D3</sub>	U <sub>P1</sub>	U <sub>P2</sub>	U <sub>P3</sub>	U <sub>P4</sub>
1	4	125	5	33	15	2	-0,8	15,2	995,7	bez istot. opadów
2	24	164	5	21	9,4	1	-5,8	16,2	1002,2	niewielki deszcz
3	24	160	5	21	9,4	1	7,7	19,4	999,3	bez istot. opadów
4	10	179	5	21	9,4	1	14,9	16,3	987,2	bez istot. opadów
5	10	146	5	40	16,9	2	20,9	14,9	997,0	bez istot. opadów
6	16	187	6	40	16,9	2	22,1	16,4	992,2	niewielki deszcz
7	16	110	6	40	16,9	2	26,6	13,7	995,8	bez istot. opadów
8	16	144	4	40	16,9	2	23,8	14,6	996,7	bez istot. opadów
9	16	170	4	40	16,9	2	20,2	16,4	995,7	bez opadów
10	4	144	4	29	14,6	2	11,8	16,0	994,0	bez istot. opadów
11	4	154	7	29	14,6	2	6,9	15,8	995,7	bez opadów
12	4	185	7	29	14,6	2	-2,3	16,3	994,5	bez istot. opadów

Wartości sygnałów  $U_{P1} \div U_{P3}$  w tabeli 6 zostały wzięte jako średnie wartości z całego miesiąca, natomiast wartości sygnału  $U_{P4}$  jako te, które w miesiącu występowały najczęściej. W tabeli 8 sumaryczna liczba punktów powstała poprzez codzienną zamianę zaobserwowanych sygnałów na wartości punktowe, a następnie na koniec miesiąca następowało ich zsumowanie i podzielenie przez liczbę dni miesiąca.

Na podstawie danych z tabeli 5 i 6 oraz uwzględnieniu eksperckich wag (tabela 3 i 4) otrzymano punktowe postacie sygnałów – tabela 7 i 8 (analogicznie wypełniono dane dla dwóch pozostałych autobusów).

Tabela 7. Zestawienie sygnałów diagnostycznych w postaci punktowej

Miesiąc	D <sub>M1P</sub>	D <sub>M2P</sub>	D <sub>M3P</sub>	D <sub>M4P</sub>	D <sub>M5P</sub>	D <sub>M6P</sub>	D <sub>M9P</sub>	D <sub>M12P</sub>	D <sub>E1P</sub>	D <sub>E2P</sub>	D <sub>E3P</sub>	D <sub>E4P</sub>
1	15	15	10	10	5	5	30	30	0	0	0	4
2	15	15	10	10	5	5	30	30	0	4	0	4
3	15	15	10	10	5	5	30	30	0	0	0	4
4	15	15	10	10	5	5	30	30	0	0	12	4
5	15	15	10	10	5	5	30	30	8	0	0	4
6	15	15	10	10	5	5	30	30	0	8	0	4
7	15	15	10	10	5	5	30	15	0	0	0	4
8	15	15	10	10	5	5	30	15	0	0	0	4
9	15	15	10	10	5	5	30	15	0	0	0	4
10	15	15	10	10	5	5	60	30	16	8	0	4
11	15	15	10	10	5	5	60	30	0	0	0	4
12	15	15	10	10	5	5	60	30	0	0	0	4

Tabela 8. Zestawienie sygnałów otoczenia w postaci punktowej

Miesiąc	U <sub>K1P</sub>	U <sub>K2P</sub>	U <sub>K3P</sub>	U <sub>D1P</sub>	U <sub>D2P</sub>	U <sub>D3P</sub>	U <sub>P1P</sub>	U <sub>P2P</sub>	U <sub>P3P</sub>	U <sub>P4P</sub>
1	3,00	6,00	9,00	12,00	4,00	12,00	2,03	1,00	1,55	2,32
2	9,00	12,00	9,00	12,00	2,00	6,00	2,25	1,07	1,61	2,89
3	9,00	12,00	9,00	12,00	2,00	6,00	1,58	1,13	1,77	2,06
4	6,00	12,00	9,00	12,00	2,00	6,00	1,43	1,03	1,17	2,10
5	6,00	12,00	9,00	12,00	6,00	12,00	1,65	1,00	1,71	2,26
6	9,00	18,00	9,00	12,00	6,00	12,00	1,80	1,00	1,33	2,73
7	9,00	6,00	9,00	12,00	6,00	12,00	2,35	1,00	1,52	1,94
8	9,00	12,00	9,00	12,00	6,00	12,00	1,97	1,03	1,65	1,97
9	9,00	12,00	9,00	12,00	6,00	12,00	1,47	1,03	1,70	1,40
10	3,00	12,00	9,00	12,00	4,00	12,00	1,29	1,06	1,45	1,55
11	3,00	12,00	9,00	12,00	4,00	12,00	1,77	1,00	1,57	1,33
12	3,00	18,00	9,00	12,00	4,00	12,00	2,03	1,06	1,55	2,03

#### 4. Algorytm wyznaczania parametrów stanu technicznego i stanu działania obiektu technicznego

Kierowca swoim oddziaływaniem na autobus zmienia jego otoczenie (przyspieszanie, hamowanie, skręcanie). Oddziaływanie to jest skuteczne gdy stan techniczny autobusu jest odpowiedni. Autobus wykonujący codzienną pracę użytkową zużywa się (zwiększa się: hałas, zadymienie, zużycie paliwa). Intensywność zużywania jest zależna od zmiennego otoczenia w jakim porusza się autobus. Zatem użytkowanie jest otoczeniem dla stanu technicznego, a stan techniczny otoczeniem dla użytkowania. Te fakty można opisać układem sprzężonych równań [3,13]:

$$\frac{dD_K}{dt} = a_T D_K + b_T U \quad (1)$$

$$\frac{dU}{dt} = a_R U + b_R D_K \quad (2)$$

gdzie:  $U$  – zmienna stanu działania (sygnał użytkowania),  $D_K$  - sygnał stanu technicznego autobusu,  $a_R$  - parametr stanu użytkowania, który jest zależny przede wszystkim od działania obiektu i od oddziaływania na tę pracę stanu technicznego obiektu,  $b_R$  - parametr oddziaływania stanu technicznego na stan działania,  $a_T$  - parametr stanu technicznego obiektu, który jest zależny od sygnałów diagnostycznych i sygnałów wynikających z działania otoczenia,  $b_T$  - parametr oddziaływania stanu regulacji na stan techniczny autobusu.

Zgodnie z zasadami identyfikacji statycznej i dynamicznej [20] z równania (1) otrzymuje się:

$$\hat{a}_T = \frac{\sum \Delta D_K \Delta U}{\sum \Delta U^2} \quad (3)$$

$$a_T = \frac{\Delta D_K}{\frac{\Delta \Theta}{resurs} (D_K + \hat{a}_T U)} \quad (4)$$

Parametr  $a_T$  charakteryzuje stan techniczny układu i jest zależny od sygnałów diagnostycznych i sygnałów wynikających z działania kierowcy i otoczenia.

Zgodnie z zasadami identyfikacji statycznej i dynamicznej [20] z równania (2) otrzymuje się:

$$\hat{a}_R = \frac{\sum \Delta D_K \Delta U}{\sum \Delta D_K^2} \quad (5)$$

$$a_R = \frac{\Delta U}{\frac{\Delta \Theta}{resurs}(U + \hat{a}_R D_K)} \quad (6)$$

Sygnały  $D_K$  i  $U$  w jednorodnej postaci punktowej (tabela 6) sprowadzono do wypadkowego sygnału diagnostycznego ( $D_k$ ) i otoczenia ( $U$ ).

$$D_k = \sqrt{D_{M1P}^2 + D_{M2P}^2 + D_{M3P}^2 + D_{M4P}^2 + D_{M5P}^2 + D_{M6P}^2 + D_{M9P}^2 + D_{M12P}^2 + D_{15P}^2 + D_{1EP}^2 + D_{2EP}^2 + D_{3EP}^2 + D_{4EP}^2} \quad (7)$$

$$U = \sqrt{U_{K1P}^2 + U_{K2P}^2 + U_{K3P}^2 + U_{D1P}^2 + U_{D2P}^2 + U_{D3P}^2 + U_{P1P}^2 + U_{P2P}^2 + U_{P3P}^2 + U_{P4P}^2} \quad (8)$$

Wykorzystując dane z tabel 7 i 8 oraz równania 1÷6 obliczono przyrosty stanu technicznego wyrażonego parametrem  $a_T$  i stanu działania (regulacji) wyrażonego parametrem  $a_R$ .

Algorytm obliczania  $a_T$  (na podstawie wzoru 4) i  $a_R$  (na podstawie wzoru 6) przedstawiono w tabeli 9.

Następnie wyznacza się  $\Sigma a_T$  – która wyraża stopień zużycia obiektu i  $\Sigma a_R$  – wyraża stopień utraty możliwości prawidłowego działania.

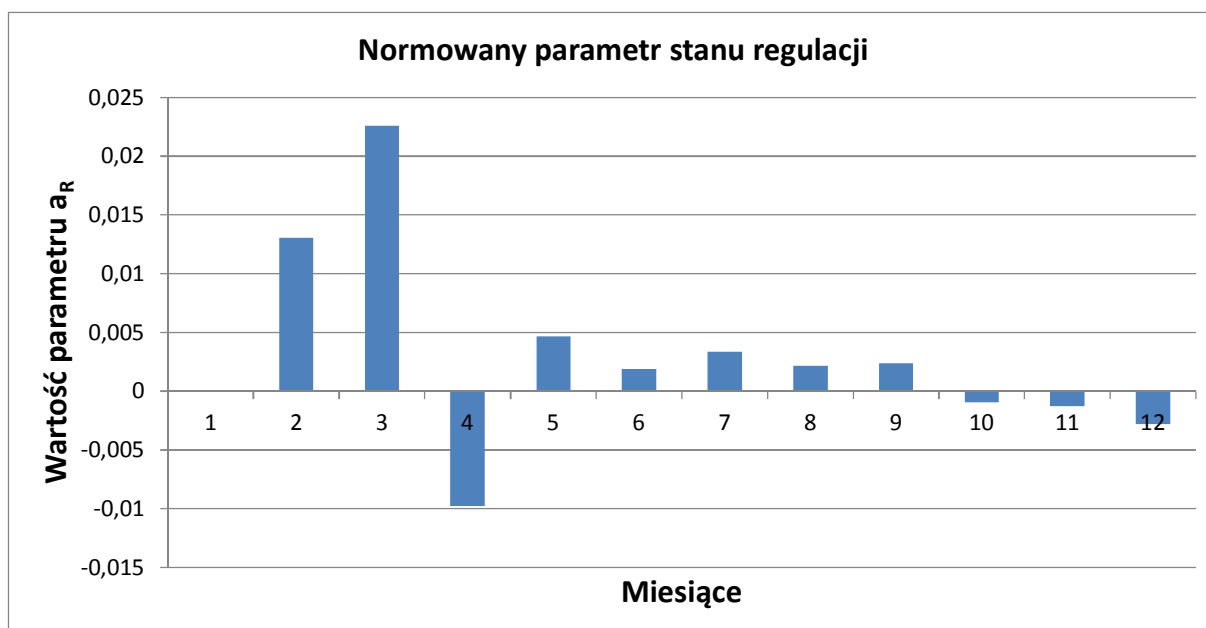
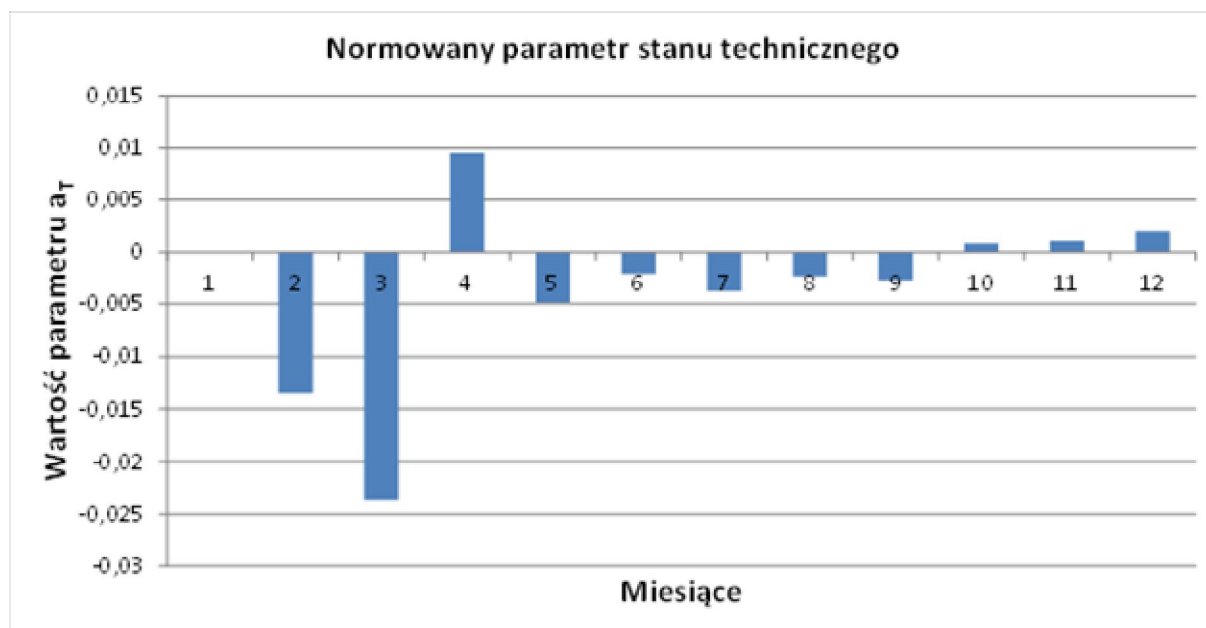
Wyniki przebiegu zmian normowanych parametrów  $a_T$  i  $a_R$  dla autobusu o numerze 301 przedstawiono na rys.1. i rys.2., dla autobusu o numerze 303 na rys. 4. oraz dla autobusu o numerze 304 na rys. 6. Natomiast przebiegi sumy tych parametrów odpowiednio na rys. 3, rys. 5 i rys. 7.

Do wykresów nie był brany pod uwagę pierwszy miesiąc, ponieważ nie ma możliwości wyznaczenia dla niego parametrów  $a_T$  i  $a_R$  (nie znamy wartości początkowej sygnałów  $D_K$  i  $U$ ).



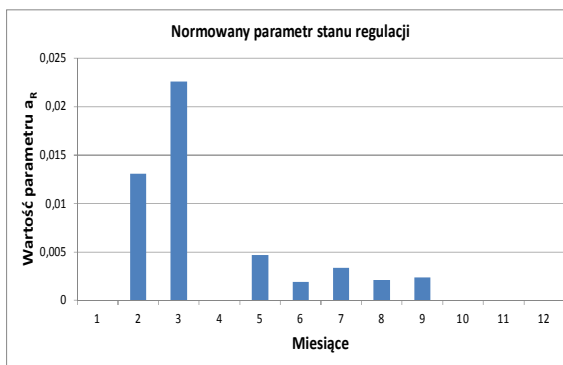
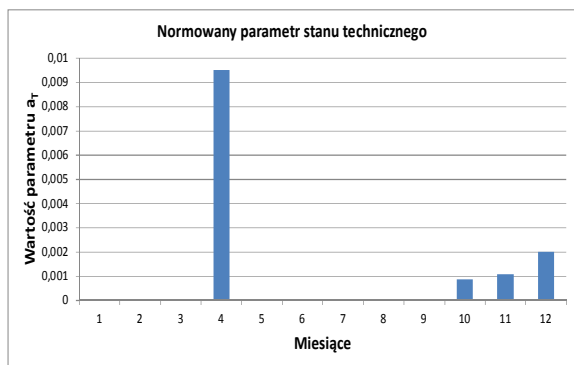
Tabela 9. Procedura wyliczania parametrów stanu technicznego i regulacji dla autobusu numer 301

Wyznaczenie potencjału technicznego $a_T$ i regulacji $a_R$																
Miesiąc	Czas pracy $\theta$	$D_K$	U	$\Delta\theta$	$\Delta DK$	$\Delta U$	$D_K * U$	$\sum D_K * U$	$U^2$	$\sum U^2$	$D_K^2$	$\sum D_K^2$	$\hat{a}_T$	$\hat{a}_R$	$a_T$	$a_R$
1	215582	50,16	21,05	2346	50,16	21,05	1055,65	1055,65	442,92	442,92	2516	2516	-2,3834	-0,4196	0	0
2	217982	50,32	22,52	4746	100,48	43,57	1133,20	2188,84	507,16	950,08	2532	5048	-2,3038	-0,4336	-0,01354	0,01308
3	220102	50,16	22,39	6866	150,64	65,95	1122,93	3311,78	501,18	1451,27	2516	7564	-2,2820	-0,4378	-0,02366	0,02258
4	222669	51,58	21,30	9433	202,21	87,26	1098,80	4410,57	453,89	1905,16	2660	10224	-2,3151	-0,4314	0,00951	-0,00979
5	225125	50,79	24,43	11889	253,01	111,69	1240,79	5651,36	596,73	2501,89	2580	12804	-2,2588	-0,4414	-0,00485	0,00468
6	227358	50,79	28,70	14122	303,80	140,38	1457,60	7108,96	823,49	3325,38	2580	15384	-2,1378	-0,4621	-0,00204	0,00190
7	229758	42,91	23,12	16522	346,71	163,50	992,06	8101,02	534,59	3859,97	1841	17225	-2,0987	-0,4703	-0,00374	0,00336
8	232273	42,91	25,33	19037	389,61	188,83	1086,75	9187,78	641,52	4501,48	1841	19066	-2,0411	-0,4819	-0,00233	0,00213
9	234571	42,91	25,26	21335	432,52	214,09	1083,83	10271,60	638,07	5139,55	1841	20907	-1,9985	-0,4913	-0,00268	0,00240
10	236699	74,40	23,35	23463	506,93	237,44	1737,47	12009,07	545,30	5684,86	5536	26443	-2,1125	-0,4541	0,00086	-0,00097
11	239047	72,22	23,37	25811	579,15	260,82	1688,13	13697,20	546,35	6231,21	5216	31659	-2,1982	-0,4326	0,00108	-0,00128
12	241392	72,22	27,01	28156	651,37	287,83	1951,05	15648,25	729,79	6961,00	5216	36875	-2,2480	-0,4244	0,00201	-0,00281

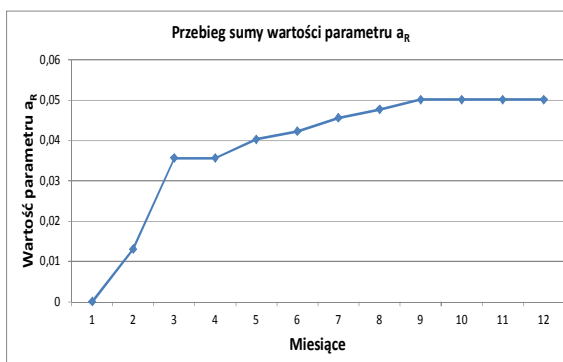
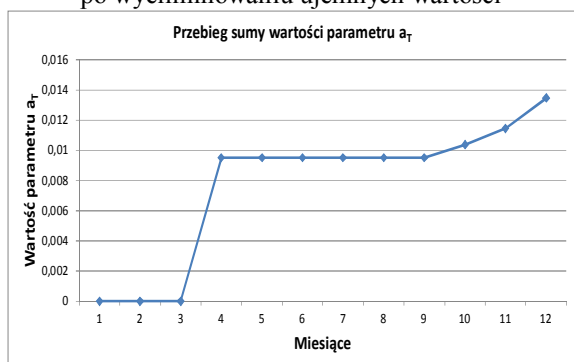


Rys. 1. Zmiany normowanego parametru stanu technicznego i regulacji autobusu o numerze 301

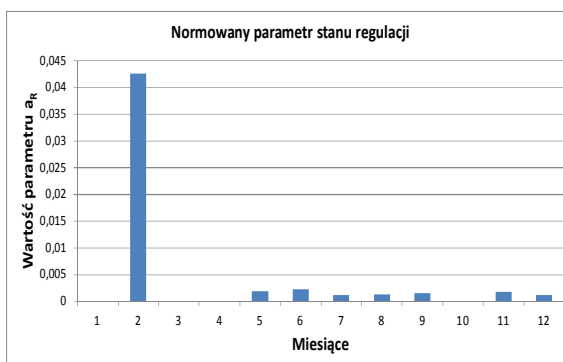
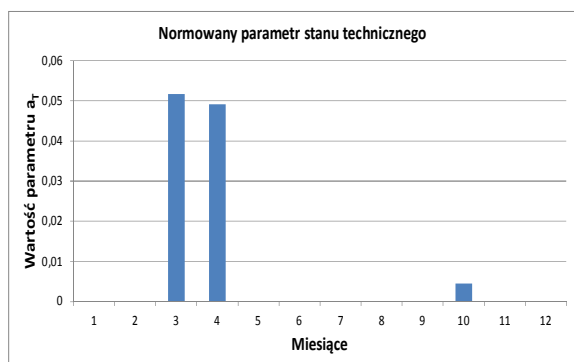
Autobusy mają wypracowany przebieg – autobus nr 1 – 241 392 km , autobus nr 2 – 239 829 km, autobus nr 3 – 244 003 km. Ekspert zatem może założyć, że nie są one w stanie docierania. Zatem nie istnieje możliwość polepszania stanu technicznego badanych autobusów (w przypadku gdyby autobus był w stanie docierania to należałoby uwzględnić ujemne wartości  $a_T$  i  $a_R$ ). Zatem, przyjmuje się iż nie może on posiadać ujemnych wartości parametrów  $a_T$ ,  $a_R$  (rys. 1). Dlatego też wartości ujemne traktuje się jako 0. Wtedy powyższy wykres (rys.1) przyjmie następującą postać (rys. 2)



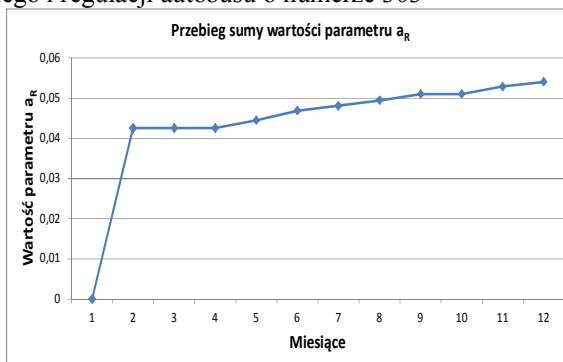
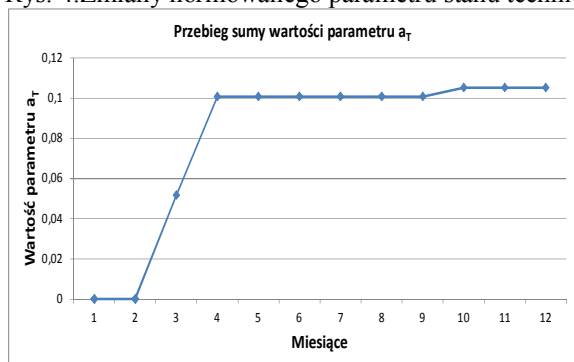
Rys. 2. Zmiany normowanego parametru stanu technicznego i regulacji autobusu o numerze 301 po wyeliminowaniu ujemnych wartości



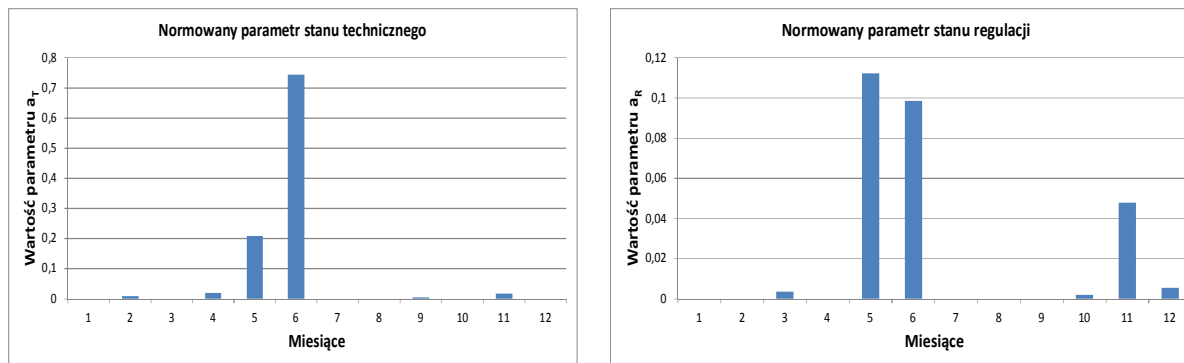
Rys. 3. Przebieg sumy wartości normowanego parametru stanu technicznego i regulacji autobusu o numerze 301



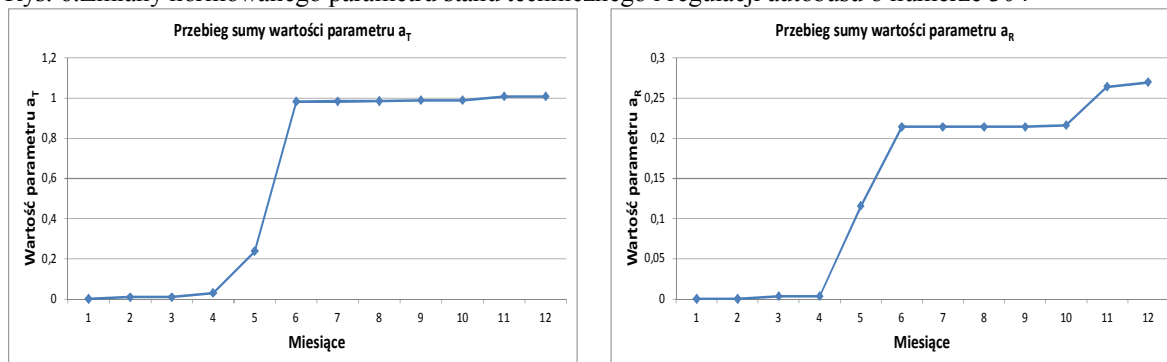
Rys. 4. Zmiany normowanego parametru stanu technicznego i regulacji autobusu o numerze 303



Rys. 5. Przebieg sumy wartości normowanego parametru stanu technicznego i regulacji autobusu o numerze 303



Rys. 6. Zmiany normowanego parametru stanu technicznego i regulacji autobusu o numerze 304



Rys. 7. Przebieg sumy wartości normowanego parametru stanu technicznego i regulacji autobusu o numerze 304

Tabela 10. Procedura wyliczania parametrów stanu technicznego i regulacji

	autobus o numerze 301	autobus o numerze 303	autobus o numerze 304
średnia z $a_T$	0,0027	0,0263	0,1120
suma z $a_T$	0,0134	0,1053	1,0081
średnia z $a_R$	0,0063	0,0060	0,0385
suma z $a_R$	0,0501	0,0541	0,2698

Na podstawie danych uzyskanych z tabeli 10 ekspert otrzymuje kompleksową informację o stanie technicznym obiektu ( $a_T$ ) i stanie działania ( $a_R$ ). Suma  $a_T$  jest informacją o zużyciu obiektu, a suma  $a_R$  jest informacją o zmianie podatności regulacyjnej. Można zatem stwierdzić, że najlepszy stan techniczny (czyli najmniej zużytym autobusem jest autobus o numerze 301. Największy potencjał stanu działania (regulacyjny) posiada także autobus o numerze 301. Powyższy wniosek został pozytywnie zweryfikowany przez 20 ekspertów (tabela 3).

Takie podejście do problemu pozwala prosto kwalifikować obiekty do dalszego użytkowania lub obsługi.

## 5. Podsumowanie

W procesie eksploatacji obiektu realizowana jest eksploatacyjna działalność badawcza w celu określenia jego bieżącego oraz przyszłego stanu działania i stanu technicznego. W złożonych i zaawansowanych obiektach technicznych stosuje się równocześnie kilka metod badawczych, które bazują na informacji o różnej postaci (sygnały zdeterminowane, probabilistyczne i heurystyczne). [4,5,8,9,12,13,16,18,21,25,26,29]

W artykule przedstawiono założenia nowatorskiego sposobu wykorzystywania różnorodnej informacji diagnostycznej (przedstawionej w postaci punktów). Każdej zmianie sygnału (w zależności od jej wartości i chwili pojawienia) przypisana jest odpowiednia ustalona przez ekspertów liczba punktów. Dotychczas w tej metodzie badania zdatności obiektów stosuje się zsumowanie wszystkich punktów, a następnie określenie przedziału, w jakim znajduje się obiekt oraz stan i stopień jego wyeksploatowania [22].

Metoda ta jest uniwersalna. Może być stosowana do każdego obiektu (autobusu, śmigłowca, samolotu). Metoda ta wymaga wyszczególnienia sygnałów związanych z badanym obiektem i sygnałów związanych z jego otoczeniem, a następnie wyrażenia tych sygnałów odpowiednimi wagami w postaci punktów. Tą czynność wykonuje ekspert lub zespół ekspertów. Następnie wykorzystuje się sygnały sprowadzone do postaci punktowej do wyznaczenia ze sprzężonych równań stanu [1,2,3,6,12,13] parametrów stanu regulacji i stanu technicznego (równania 4,6) [3,6,7,12,13,14,15,19]. Pozwoli to na ciągłą kontrolę stanu technicznego i stanu działania obiektu w czasie eksploatacji. Opisany sposób może okazać się bardzo przydatny, ponieważ jednoznacznie przedstawia globalny eksploatacyjny stan obiektu za pomocą parametrów stanu  $a_R$ ,  $a_T$  i pozwala dzięki temu przewidzieć jak obiekt powinien być użytkowany i kiedy obiekt powinien być obsługiwany (naprawiany, remontowany).

### **Literatura:**

1. Ashby R. W. Wstęp do cybernetyki. Warszawa: PWN, 1963.
2. Bukowski L. Prognozowanie niezawodności i bezpieczeństwa systemów zautomatyzowanych, Materiały XXXI Szkoły Niezawodności, Szczyrk 2003.
3. Cempel C. Teoria i inżynieria. Poznań: Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacyjnej PIB, 2006.
4. Cempel C, Natke H G. Damage Evolution and Diagnosis in Operating Systems. Safety Evaluation Based on Identification Approaches Related to Time-Variant and Nonlinear Structures. Springer 1993: 44-61.
5. Filipczyk J. Faults of duty vehicles in the aspects of securing safety. Transport Problems 2011, Vol. 6; 1: 105-110.
6. Grądzki R, Lindstedt P. Determination of parameters of a technical and control states of the bus engine by using its discretized operation information. Journal of KONBIN 2013; Z.2: 97-108.
7. Günther H. Diagnozowanie silników wysokoprężnych. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2006.
8. Jardine A K S, Lin D, Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. Mechanical Systems and Signal Processing 2006, Vol 20; 7: 1483–1510.
9. Jaźwiński J, Klimaszewski S, Żurek J. Metoda prognozowania stanu obiektu w oparciu o badania kontrolne. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn 2003, Vol. 38; 2: 33-44.

10. Jaźwiński J, Szpytko J. Zasady wyznaczania zespołu ekspertów w badaniach niezawodności i bezpieczeństwa urządzeń technicznych. XXXIV Zimowa Szkoła Niezawodności PAN „Niekonwencjonalne metody oceny trwałości i niezawodności”. Szczyrk 2006: 157–167.
11. Jaźwiński J, Żurek J. Modelowanie i identyfikacja systemu „Człowiek–obiekt techniczny–otoczenie” w aspekcie jego niezawodności i gotowości. XIV Zimowa Szkoła Niezawodności PAN „Człowiek–obiekt techniczny–otoczenie. Problemy niezawodności i utrzymania ruchu”. Szczyrk 1986.
12. Lindstedt P. Reliability and its relation to regulation and diagnostics in the machinery exploitation systems. *Journal of KONBiN* 2006, Vol. 1; 2: 317-330.
13. Lindstedt P. The Method of complex worthness as assessment of an engineering object in the process of its use and service. *Solid State Phenomena* 2009, Vol. 144: 45-52.
14. Lindstedt P. The effect of pilot’s work quality on technical condition of propeller engine bearing. *Journal of Vibroengineering* 2006, Vol 8; 2: 6-10.
15. Lindstedt P, Sudakowski T. The Method of Assessment of Suitability of the Bearing System Based on Parameters of Technical and Adjustment State. *Solid State Phenomena Mechatronic systems and materials V* 2013; 73-78.
16. Madej H, Filipczyk J. The methods of assessment of car technical condition regarding environmental protection. *Journal of KONES* 2009, Vol. 16; 2: 103-108.
17. Nowakowski T. Reliability Model of Combined Transportation System. *Probabilistic Safety Assessment and Management*. Springer 2004: 2012-2017.
18. Sarangaa H, Knezevich J. Reliability prediction for condition-based maintained systems. *Reliability Engineering & System Safety*. Elsevier 2001, Vol 71; 2: 219–224.
19. Smalko Z. Podstawy eksploatacji technicznej pojazdów. Warszawa: Oficyna Wydawnicza PW, 1998.
20. Söderström T, Stoica P. Identyfikacja systemów. Warszawa: PWN, 1997.
21. Sudakowski T. Premises of operational method of calculation of reliability of machines on the base of parametric and momentary symptoms of damage. *Acta mechanica et automatica* 2009, Vol.3; 4: 73-79.
22. Szawłowski S. Przegląd kontrolny ASPA w systemie obsługiwanian śmigłowca pokładowego SH-2G, 8 Międzynarodowa konferencja AIRDIAG Warszawa 27-28.10.2005.

23. Szczepaniak C. Podstawy modelowania sytemu człowiek – pojazd – otoczenie. Warszawa: PWN, 1999.
24. Szpytko J, Kocerba A. Metodyka kształtowania niezawodności eksploatacyjnej środka transportu. Methodology of exploitation reliability shaping of transport device. XXXV Zimowa Szkoła Niezawodności PAN „Problemy niezawodności systemów”. Szczyrk 2007:483–492.
25. Szpytko J, Kocerba A. Przyczynowo-skutkowa metodyka oceny stanu technicznego środków transportu. XXXIII Zimowa Szkoła Niezawodności PAN „Metody badań przyczyn i skutków uszkodzeń”. Szczyrk 2005.
26. Tylicki H, Żółtowski B. Zmiana stanu maszyny w procesie eksploatacji. XXXIII Zimowa Szkoła Niezawodności PAN „Metody badań przyczyn i skutków uszkodzeń”. Szczyrk 2005.
27. Woropay M, Muślewski Ł, Ślęzak M, Szubartowski M. Assessment of the impact of human on safety of transportation system operation. Journal of KONBiN 2013, Vol 1; 25: 97-106.
28. Zając M. Wykorzystanie badań ankietowych do oszacowania niezawodności systemu transportu intermodalnego. XXXIV Zimowa Szkoła Niezawodności PAN „Niekonwencjonalne metody oceny trwałości i niezawodności”. Szczyrk 2006.
29. Żółtowski B. Metody diagnostyki technicznej w ocenie destrukcji maszyn. XXXV Zimowa Szkoła Niezawodności PAN „Problemy niezawodności systemów”. Szczyrk 2007.

Artykuł powstał podczas realizacji projektu unijnego „Podniesienie potencjału uczelni wyższych jako czynnik rozwoju gospodarki opartej na wiedzy” finansowanego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego oraz Budżetu Państwa realizowanego w Politechnice Białostockiej



**POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA**

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego