

Jacek Filipowicz

System niezawodnej eksploatacji autobusów

JEL: R41. DOI: 10.24136/atest.2019.212.

Data zgłoszenia: 24.07.2019. Data akceptacji: 22.01.2020.

W artykule przedstawiono problem działania nowoczesnego systemu eksploatacji autobusów. Poruszono zagadnienia niezawodności eksploatacyjnej taboru w aspekcie: badań diagnostycznych i ich organizacji, zbierania informacji, obróbki i przetwarzania danych oraz prawidłowego wnioskowania. Przedstawiono zagadnienie bezpieczeństwa oraz wpływu i udziału czynnika ludzkiego na eksploatację. Zaproponowano również metodykę badań eksploatacyjnych w celu stworzenia systemowego modelu niezawodnego zarządzania eksploatacją.

Słowa kluczowe: transport, eksploatacja, niezawodność, logistyka.

Wstęp

Nowoczesna eksploatacja autobusów wymaga wysokiej jakości ich wytwarzania i niezawodności. Pociąga to za sobą jednak szereg kombinacji zdarzeń i wymogów stawianych systemom eksploatacji. Fachowcy zajmujący się uszkodzeniami pojazdów, ich diagnostyką i przywracaniem stanu technicznego odchodzą od metod intuicyjnych ze słabo wykwalifikowaną kadrą pracowniczą na rzecz wykwalifikowanych pracowników wyposażonych w najnowocześniejszy sprzęt dokładnie lokalizujący usterkę i potrafiących ją bezproblemowo usunąć. Dodatkowo muszą znać sposoby dochodzenia przyczyn awarii i metod zapobiegania im w przyszłości eksploatacyjnej pojazdu.

Współczesne autobusy cechuje wysoka podatność obsługa i trwałość, które zapewnia doskonała konstrukcja, stworzona pod rygorami przyszłych wymogów eksploatacyjnych ze szczególnym uwzględnieniem ochrony środowiska. Opracowanie tych wymogów jest możliwe wyłącznie, jeśli dysponuje się materiałem informacyjnym, którego źródłem jest praktyka eksploatacyjna. Przedstawione wymagania muszą posiadać odpowiednią hierarchię ważności, co pozwala usystematyzować informacje zgodnie z kryteriami niezawodności, bezpieczeństwa i ochrony środowiska. Dlatego też firmy autobusowe przywiązują ostatnio tak dużą wagę do informatyzacji eksploatacji i tworzenia globalnych systemów zbierania danych eksploatacyjnych nie tylko z własnych autoryzowanych sieci serwisowych ale również współpracujących baz transportowych i zakładów naprawczych. Pozwala to na prowadzenie ciągłego monitoringu usterkowości, czego efektem jest eliminacja z już użytkowanych pojazdów usterek cyklicznych czyli występujących stale po określonym czasie lub przebiegu, jak również umożliwia prognozowanie usterkowości oraz symulacje eksploatacyjne w trakcie realizacji nowych projektów, co pozwala na ocenę globalnej niezawodności nowego autobusu.

1. Problem niezawodności autobusów

Jakość eksploatacyjna i niezawodność autobusów nabiera w skali ogólnosiwiatowej coraz większego znaczenia, co wynika z konieczności skuteczniejszego wykorzystywania istniejących zasobów energetycznych, ochrony środowiska jak również z aspektu niezawodności, czyli nieodzownej składowej jakości.

Wysoka niezawodność może mieć wpływ na następujące problemy:

- ♦ wybór producenta autobusu w zakupie warunkuje jego niezawodność i koszty eksploatacji w stopniu większym niż jego cena,
- ♦ z punktu widzenia producentów pojazdów danej marki na rynku światowym można osiągnąć i umocnić swoją pozycję wyłącznie poprzez wysoką jakość i niezawodność oraz ciągły wzrost tych czynników,
- ♦ zaostrzające się przepisy dotyczące ochrony środowiska, bezpieczeństwa czynnego i biernego autobusów oraz odpowiedzialności za produkty pociągające za sobą rosnące odszkodowania wypadkowe i eksploatacyjne muszą iść w parze ze wzrostem jakości i niezawodności.

Przemysł autobusowy z uwagi na konieczność wzrostu niezawodności eksploatacyjnej zmuszony został do działań o następującym charakterze:

- ♦ konieczność porozumiewania się między poszczególnymi wytwórcami i wymiany informacji, co w efekcie prowadzi do ściślejszej współpracy lub łączenia się firm,
- ♦ ujednolicenia podstaw zbierania i magazynowania informacji eksploatacyjnych i diagnostycznych przez różne firmy i ich wzajemnej wymiany.

Niezawodność eksploatacyjna stała się integralną składową wszystkich faz procesu tworzenia i eksploatacji autobusu. Coraz większe znaczenie przypisywane jest fazie przygotowania produkcji, w celu uniknięcia częstych błędów konstrukcyjnych oraz wad w technologii wytwarzania i materiałowych ze szczególnym naciskiem na proces wytwarzania, gdzie istnieje znacznie większy wkład pracy ludzkiej w porównaniu z produkcją samochodów osobowych. Jak podają różne źródła decydujący wpływ na niezawodność eksploatacyjną w około 55-65% mają fazy projektowania, konstruowania i produkcji. Na montaż i wykonanie przypada około 10%, natomiast błędy eksploatacji, starzenie fizyczne i przyczyny losowe to pozostałe 25-35%.

Z punktu widzenia podanych powyżej czynników hierarchizacja niezawodność różni się w zależności od rozpatrywanej jednostki. Hierarchia ta rozpatrywana jest na poziomie elementu, podzespołu, zespołu i całego pojazdu. Pomiedzy przykładowo przedstawionymi poziomami mogą istnieć jednak duże różnice pod względem charakterystyk technicznych i ekonomicznych, co nie pozostaje bez wpływu na zróżnicowanie niezawodności. Charakterystyki takie mogą obejmować między innymi: złożoność pełnionych funkcji w układzie, dojrzałość i zaawansowanie konstrukcji, jak również warunki zastosowania.

W procesach badań niezawodności eksploatacyjnej rośnie udział badań fizykochemicznych przyczyn uszkodzeń. Efektem tych zabiegów jest obok podstawowych danych eksploatacyjnych, zbiór dodatkowych informacji diagnostycznych służących do opisu i charakterystyki technicznej zużycia oraz jego systemowego zwalczania. Bardzo znaczące postępy osiągnięto głównie w badaniach procesów przebiegających w funkcji czasu, jak np. zużycie zmęczeniowe i różne postacie zużycia korozyjnych.

Teoria niezawodnej eksploatacji całej jednostki autobusowej i jej elementów musi być silnie powiązana z kwantyfikacją

niezawodnościową zachowania się poszczególnych poddanych analizie jednostek. W tym celu należy stosować:

- ♦ matematyczne modelowanie przebiegających procesów i konieczność możliwie szerokiego i miarodajnego ich weryfikowania empirycznego,
- ♦ wybór znaczących, w możliwie dużej dawce, parametrów technicznych.

W celu precyzyjnego wyznaczenia parametrów technicznych i ich odpowiedniej liczby niezbędna jest systemowa metodyka zbierania i rejestracji występujących uszkodzeń i danych diagnostycznych, stosowanie zaawansowanych technicznie badań technicznych oraz doświadczalne wyznaczania niezawodności.

2. Pozyskiwanie i analiza informacji diagnostycznych

Skuteczna i niezawodna eksploatacja autobusu związana jest ze stopniową kwantyfikacją niezawodnościową zachowania technicznego. Uzyskane w ten sposób symptomy diagnostyczne mają decydujący wpływ na poprawę jakości i wyznaczają kierunki poprawy niezawodności.

Decydujące znaczenie w kwantyfikacji mają informacje diagnostyczne w warunkach rzeczywistej eksploatacji pojazdu oraz dane o występujących uszkodzeniach i ich przyczynach. Szczególnie istotne są informacje na temat:

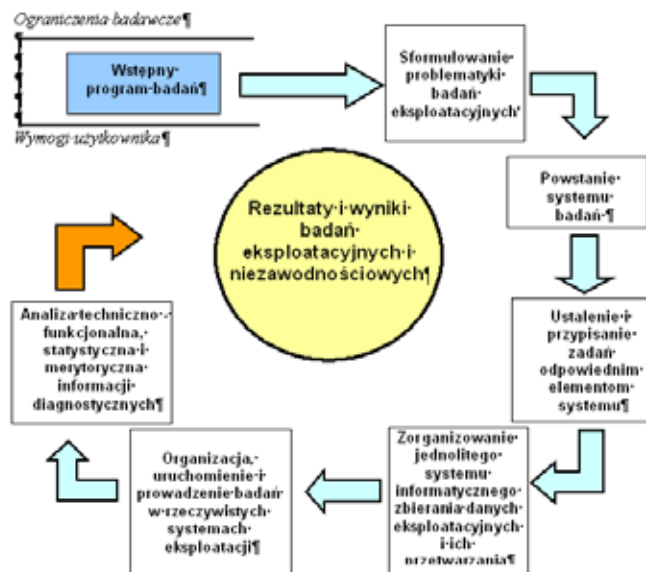
- ♦ co uległo uszkodzeniu,
- ♦ kiedy element przestaje nadawać się do użytku,
- ♦ wpływ warunków zewnętrznych na trwałość elementów,
- ♦ przyczyny uszkodzeń.

W przemyśle samochodowym zbieranie informacji nie jest sprawą prostą. Dużym utrudnieniem w. pozyskiwaniu danych na temat pojazdów jest ich liczba w procesie eksploatacji. Z punktu widzenia masowości produkcji, liczebność wytwarzania autobusów, w porównaniu do reszty pojazdów drogowych, nie jest największa na rynku motoryzacyjnym. Plusem jest natomiast niewielka liczba głównych producentów, zróżnicowanie marek i modeli autobusów. Dzięki temu może istnieć duża liczba stacji diagnostycznych, serwisów i warsztatów powiązanych siecią informatyczną z wytwórcami i ośrodkami badawczymi. Podstawowym i pewnym źródłem danych jest wyłącznie sieć autoryzowanych stacji obsługi autobusów, sprzęgniętych w sieć informatyczną, ale często tylko w okresie czasu obejmującym gwarancję techniczną na pojazd. Po tym okresie bardzo często, szczególnie w biedniejszych regionach świata, wytwórcy autobusu tracą kontakt z użytkownikiem i informacjami o dalszym przebiegu i awaryjności pojazdu.

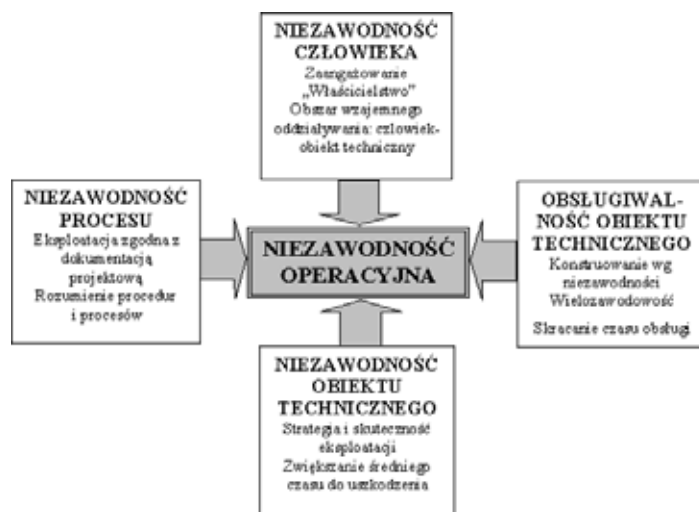
Dużym ułatwieniem w tworzeniu baz danych eksploatacyjnych autobusów jest znacznie mniejsze rozproszenie użytkowników tych pojazdów i obszarów ich działania w porównaniu z lekkimi pojazdami drogowymi. Zbieranie informacji w badaniach niezawodnościowych pojazdów to ciąg logicznie uporządkowanych czynności w określonym procesie działania (rys. 1). Proces ten może składać się z następujących grup czynności:

- ♦ ciągły monitoring eksploatacji pojazdów,
- ♦ obserwacja uszkodzeń,
- ♦ kontrola zaistniałych zdarzeń i ich następstw,
- ♦ metody i środki usuwania uszkodzeń i ich następstw,
- ♦ obserwacja otoczenia i warunków eksploatacji pojazdu w którym nastąpiło zdarzenie (uszkodzenie),
- ♦ rejestracja zebranych danych.

Po procesie obejmującym powyższe czynności następuje wstępna weryfikacja zarejestrowanych danych a następnie przekazanie ich do banku diagnostycznych informacji technicznych.



Rys. 1. Program badań eksploatacyjnych – schemat blokowy



Rys. 2. Ilustracja podejścia ukierunkowanego na niezawodność operacyjną

Cały proces kończy weryfikacja ostateczna oraz przetworzenie informatyczne danych, gotowych tym samym do obróbki statystycznej. Poważnym aspektem opisanych działań jest nadzór nad jednorodnością stosowanych metod obserwacji i zapisu zdarzeń eksploatacyjnych oraz kontrola wiarygodności prowadzonych badań i ich wyników.

W celu precyzyjnego wyznaczenia parametrów technicznych i ich odpowiedniej liczby niezbędna jest systemowa metodyka zbierania i rejestracji występujących uszkodzeń, stosowanie zaawansowanej technicznie diagnostyki technicznej oraz doświadczalne wyznaczania niezawodności.

W celu osiągnięcia najwyższej niezawodności operacyjnej musi nastąpić integracja oddziaływań takich czynników jak: niezawodność człowieka, niezawodność i obsługiwalność obiektu eksploatacji oraz niezawodność procesu (rys. 2) [1].

3. Bezpieczeństwo eksploatacji

Poważnym aspektem niezawodności eksploatacyjnej jest bezpieczeństwo. Transport autobusowy służy do przewozów masowych

ludzi a więc problem bezpieczeństwa jest jednym z głównych celów badań podnoszących sprawność eksploatacyjną. Wzrost liczby środków transportu, rozrost infrastruktury w ograniczonej przestrzeni, stały się przyczyną coraz mniejszej tolerancji społeczeństwa na zagrożenia płynące od szeroko pojętej motoryzacji. W odpowiedzi na ten fakt zaczęto tworzyć nieustannie liczbę praw i przepisów mających zapobiegać zagrożeniom lub sprowadzić je do jak najniższego dopuszczalnego poziomu. Wywiera to istotny wpływ na wzrost odpowiedzialności osób związanych z eksploatacją. Dlatego też od pewnego czasu zaczęły dominować w problematyce eksploatacyjnej, a szczególnie w transporcie związanym bezpośrednio z przewozem masowym ludzi, zapobiegania uszkodzeniom – zamiast stosowanej wcześniej przewagi efektywności.

Zadaniem bezpiecznej eksploatacji, nie tylko autobusów o których mowa w artykule, jest zapobieganie zdarzeniom przede wszystkim drogą napraw wg. stanu poprzedzonych monitorin- giem i diagnozą a następnie poprzez prowadzenie działań odpowiednich służb dla ulepszenia stanu technicznego metodami analizy uszkodzeń i awarii.

Poprawny proces eksploatacji autobusów miewa ograniczony wpływ na bezpieczeństwo, gdyż znaczny wpływ na nie wywierają inne czynniki do których można zaliczyć:

- ♦ wady konstrukcyjne elementów, podzespołów i całych autobusów,
- ♦ wady technologiczne i błędy technologii wytwarzania,
- ♦ starzenie fizyczne.

W celu zminimalizowania skutków oddziaływania tych czynników w eksploatacji prowadzi się następujące działania naukowo-badawcze;

- ♦ wstępną analizę ryzyka,
- ♦ analizę uszkodzeń i ich skutków,
- ♦ analizę stanu krytycznego,
- ♦ analizę genealogiczną błędów,
- ♦ analizę przyczyn i skutków,
- ♦ studium ryzyka i operacyjnego działania.

4. Wpływ człowieka na eksploatację

Personel służb eksploatacji składa się z osób mających w prze- wazającej części wykształcenie specjalistyczne, głównie tech- niczne. Powoduje to określone konsekwencje w postrzeganiu i pojmowaniu określonych zjawisk, a myślenie i analiza może mieć charakter mechaniczny. Dlatego też ogromne znaczenie w zarządzaniu eksploatacją odgrywa właściwa organizacja. In- nowacyjność w procesie eksploatacji może nieść za sobą wiele komplikacji i przynosić niezamierzone skutki. Nowatorskie meto- dy muszą być wprowadzane systemowo, aby nie doprowadzać do niepotrzebnego zderzenia z nieprzygotowanym i nieuprzedzonym w porę personelem. Bardzo często winne jest nie przygotowanie sytemu eksploatacji, który w swojej istocie jest przeznaczony i zrozumiały tylko dla określonej grupy wtajemniczonych i eks- pertów, często nie powiązanych bezpośrednio z procesem eks- ploatacji, z określonej dziedziny.

Człowiek może zachowywać się w systemie eksploatacji w sposób poprawny (oczekiwany) lub niepoprawny, wywołujący zdarzenia niepożądane. Identyfikacja tych działań i powinna być skierowana na wiele obszarów takich jak [2, 4, 5]:

- ♦ człowiek jako podmiot działania w eksploatacji (użytkownik, obsługownik): poprawność działań jako procedur eksploata- cyjnych (czas wykonania, dokładność, zgodność z zalece- niami), błędy działania (brak działań, niezgodność czasowa,

niepełność), celowe i nieumyślne działania szkodliwe dla eksploatacji.

- ♦ człowiek jako przedmiot działania (pasażer, odbiorca usługi): zgodność zachowań z regulaminem (zasadami) eksploatacji, działania niepoprawne w eksploatacji (obojętne), celowe i nie- umyślne działania szkodliwe dla eksploatacji,
- ♦ człowiek w otoczeniu eksploatacji (osoba postronna): celowe i nieumyślne działania szkodliwe dla eksploatacji.

5. Przykład metodyki badań eksploatacyjnych

Proces niezawodnego zarządzania eksploatacją taboru autobu- sowego polega na wykorzystaniu wiedzy i informacji oraz osią- gnięcie założonych celów, które wymagają sformułowania pro- blemu, opracowania prawidłowych kryteriów oceny, zbudowania modelu i przyjęcia założeń w celu przeprowadzenia analizy teo- retycznej lub empirycznej [2]. Schemat takiego podejścia z wy- korzystaniem wiedzy i informacji ilustruje rys. 3 [3].

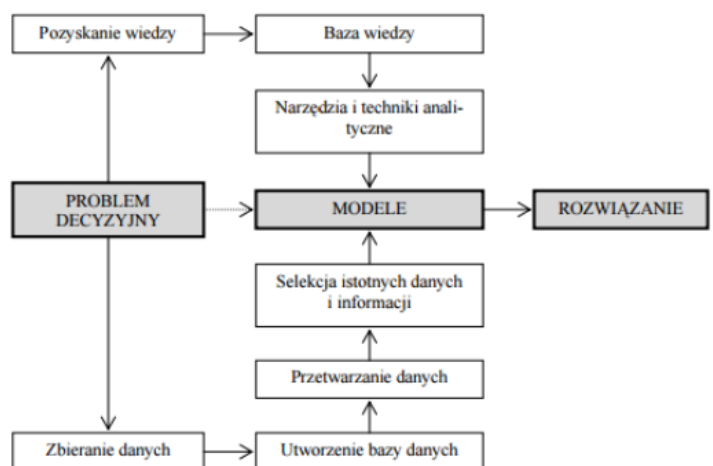
Głównym celem badań eksploatacyjnych autobusów jest gromadzenie danych do wspomagania zarządzaniem eksplo- atacją i bezpieczeństwem ruchu pojazdów w systemie publicz- nego transportu pasażerskiego. Tabor autobusowy, realizujący przewozy ludzi, tworzą pojazdy wymieniane sukcesywnie z do- stosowaniem eksploatacji do zmieniającego się systemu trans- portowego. Liczność pojazdów zmienia się a pojazdy pochodzą najczęściej od różnych producentów mających możliwie jedno- rodne cechy eksploatacyjne. Kolejne egzemplarze różnią się mię- dzy sobą najczęściej nowatorstwem użytkowym oraz szczegółami konstrukcyjnymi.

Metodyka badań eksploatacyjnych zakłada dwa etapy prac poprzedzone długoterminową analizą sytuacji organizacyjnej i eksploatacyjnej działalności taboru (oprac. na podst. [2]):

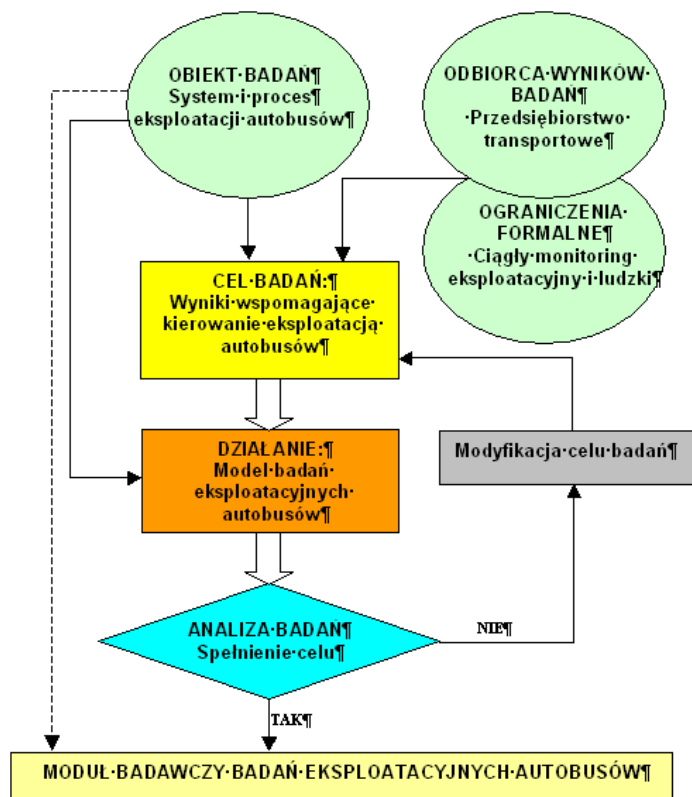
- ♦ opracowanie modelu badawczego,
- ♦ opracowanie wykonawczego modułu badawczego.

Wyznaczonym celem opisanego badania jest wspomaganie zarządzania eksploatacją i bezpieczeństwem autobusowego sys- temu transportowego opartego na informacjach pozyskiwanych z bieżącej eksploatacji. Schemat opracowanej metodyki badań pokazano na poniższym rysunku 4.

Metodyka badań wymaga długotrwałego procesu zbierania informacji a następnie jej weryfikacji. Wiarygodność analizy sta- tystycznej rośnie wraz z liczbą próbek a co za tym idzie możli- we jest coraz wierniejsze uzyskiwanie zależności funkcyjnych. Jak wynika z założeń metodycznych badań parametry, oceny



Rys. 3. System gromadzenia i przetwarzania danych



Rys. 4. Schemat badań eksploatacyjnych autobusów

związane są z określonym obszarem działań. Najważniejszymi uzyskanymi miarami oceny są[2]:

- eksploatacyjne miary oceny autobusu: wskaźnik gotowości technicznej, wskaźnik wykorzystania, średni czas między uszkodzeniami, średni czas naprawy, średni dzienny przebieg pojazdu, średni dzienny czas pracy, rodzaj i czas do najbliższej obsługi profilaktycznej
- miary oceny infrastruktury: średnia prędkość techniczna i eksploatacyjna oraz średni czas oczekiwania na określonych trasach,
- miary oceny człowieka: średni dzienny czas pracy, liczba zmian pracy, średnia absencja w miesiącu,
- miary oceny oddziaływania otoczenia: średnie wartości parametrów pogodowych (temperatura, ilość opadów, zamglenia, itp.).

Zaprezentowana metoda charakteryzuje analityczne podejście do różnych sytuacji eksploatacyjnych autobusów. W wyniku której identyfikuje się pojazd, jego miejsce w systemie realizującym przewozy oraz zachodzące zarówno procesy sterowane, jak i niesterowane.

Podsumowanie

Prowadzenie działań monitorujących eksploatację taboru autobusowego ma na celu uzyskanie miarodajnej oceny przebiegu eksploatacji, w oparciu o którą można podjąć działania pozwalające na podniesienie niezawodności i optymalizację trwałości pojazdów. Wiarygodną ocenę trwałości i niezawodności użytkowania można uzyskać przeprowadzając niezbędne badania

eksploatacyjne na możliwie licznej próbie pojazdów użytkowanych w odmiennych warunkach otoczenia. Pociąga to oczywiście konieczność budowy rozległego systemu zbierania informacji diagnostycznych i użytkowych oraz ich przetwarzania. Specyfika i wielowątkowość kryteriów i wymogów techniczno-funkcyjnych w eksploatacji autobusów wiąże się przymusem pozyskiwania danych i wskaźników z zakresu: techniki działania, bezpieczeństwa, ekologii, ergonomii itp. Obliguje to firmy przewozowe do ciągłej rozbudowy i modyfikacji systemów.

Z punktu widzenia kierowania eksploatacją najważniejsze są koncepcje niezawodności, podatności obsługowej i dyspozycyjności z równoczesnym wychwytywaniem błędów technicznych różnych stosowanych systemów i zapobieganie im przez prowadzenie odpowiedniej polityki eksploatacji. Innym czynnikiem o istotnym znaczeniu są koncepcje planowania, kontroli i wprowadzania unowocześnień w systemach eksploatacji

Kierujący eksploatacją muszą być fachowcami w swojej dziedzinie, elastyczni otwarci na nowatorstwo i postęp technologiczny, znający specyfikę dziedzin pokrewnych oraz zdający sobie sprawę z postępu i stanu wiedzy, którą potrafią wykorzystać dla osiągnięcia wyznaczonego celu. Nie powinna im również sprawiać kłopotu adaptacja do nowoczesnych osiągnięć nauki i techniki oraz istniejących rozwiązań na rynku eksploatacyjnym.

Bibliografia:

1. Duran J., *What is Operational Reliability?*: <http://www.tpmon-line.com/operationalReliability.htm> 1999
2. Młyńczak M., *Metodyka badań eksploatacyjnych obiektów mechanicznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.
3. Murthy D.N.P., Rausand M., Østerås T., *Product reliability: specification and performance*, Springer series in reliability engineering, London 2008.
4. Chrószcz B., Hansel J., *Analiza i ocena ryzyka zawodowego*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2011.
5. Dhillon B.S., *Human Reliability and Error in Transportation Systems*, Springer Verlag Ltd., London 2007.

System for reliable bus exploitation

The article presents the problem of the exploitation of a modern bus operation system. The issues of operational reliability of the rolling stock were discussed in the aspect of: diagnostic tests and their organization, gathering information, processing and processing data and correct inference. The issue of security as well as the impact and contribution of the human factor to exploitation was also discussed. A methodology for research into calculations was also proposed in order to create a systemic model of reliable exploitation.

Keywords: transport, logistics, technical exploitation, reliability.

Autor:

dr inż. **Jacek Filipowicz** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki – Zakład Eksploatacji i Diagnostyki Środków Transportu