Zastosowanie systemów diagnostyki jako narzędzia wspomagającego eksploatację tramwajów

Application of diagnostic systems as a tool supporting the tram rolling stock utilization

WERONIKA PĘGIELSKA1, MACIEJ SZKODA2

1 Szkoła Doktorska Politechniki Krakowskiej, ul. Warszawska 24, 31-155 KrakówMPK S.A. w Krakowie, ul. Św. Wawrzyńca 13, 31-060 Kraków
2 Politechnika Krakowska, Katedra Pojazdów Szynowych i Transportu

**Abstrakt:** Kluczowym aspektem w zarządzaniu potencjałem przewozowym taboru tramwajowego jest utrzymywanie wysokiej niezawodności pojazdów. Dokonuje się tego głównie poprzez przeprowadzanie obsług technicznych w trakcie, których realizowane są wymagane w specyfikacji producenta naprawy oraz przeglądy. Takie podejście jednak nie eliminuje występowania uszkodzeń awaryjnych. W ostatnich postępowaniach zakupowych dotyczących wagonów tramwajowych w Krakowie, jednym z warunków przetargowych było wyposażenie pojazdów w systemy diagnostyczne, które pozwalają na kontrolę stanu technicznego pojazdów. Za pomocą tych systemów można monitorować stan pojazdów wykonujących pracę przewozową na liniach w czasie rzeczywistym. Dostęp do danych jest również z pozycji prowadzącego i wspomaga zarówno jego jak i główną dyspozytornię w podejmowaniu decyzji w sytuacjach odnotowanych nieprawidłowości pracy pojazdu. Kolejnym aspektem systemu jest wspomaganie serwisu w przypadku awarii. Dostęp do danych diagnostycznych umożliwia szybszą lokalizację przyczyn awarii a więc skraca się czas przestoju, a w konsekwencji zwiększa się gotowość techniczną pojazdu. Po przeprowadzanej naprawie, możliwa jest kontrola stanu tramwaju. Obecnie eksploatowane systemy wspomagają eksploatację taboru oraz wskazują aspekty w których wymagają dostosowania do potrzeb indywidualnego użytkownika w celu zmaksymalizowania jego funkcjonalności.

**Abstract:** A key aspect in managing the transport potential of tram rolling stock is maintaining high vehicle reliability. This is implemented by technical services, during which repairs and inspections required by the manufacturer's specifications are performed. However, this approach does not eliminate the occurrence of emergency damage. In recent purchase procedures, one of the tender conditions was to equip the vehicles with diagnostic systems that allow checking the technical condition of the vehicles. Using these systems, the condition of vehicles performing transport work on lines is monitored in real time. Access to the data is also available from the driver's perspective and supports both, him, and the main dispatcher in making decisions in the event of recorded vehicle operation irregularities. Another aspect of the system is service support in the event of a failure. Access to diagnostic data enables faster location of the causes of failure, thus reducing downtime and, consequently, increasing the technical readiness of the vehicle. After the repair, it is possible to check the condition of the tram. Currently used systems support the operation of rolling stock and indicate aspects in which they require adaptation to the needs of an individual user in order to maximize its functionality.

1. Wprowadzenie

Tramwaj jest złożonym obiektem technicznym charakteryzującym się wysokimi kosztami eksploatacji i długim okresem użytkowania. Koszty te, zwiększają się w związku z występującą koniecznością wyłączania pojazdu z eksploatacji w związku z wykonywanymi naprawami, obsługami technicznymi, obsługami sezonowymi i badaniami technicznymi. Czynności te mają na celu zapewnienie sprawności technicznej i eksploatacyjnej na wymaganym poziomie z punktu widzenia pewności realizacji usługi przewozowej, spełnienia warunków bezpieczeństwa czy wymagań środowiskowych. Wyłączenie pojazdu z użytkowania generuje straty dla przedsiębiorstwa i obniża niezawodność oraz gotowość techniczną taboru. Należy podejmować działania nakierunkowane na minimalizowanie czasu wyłączenia związanego z koniecznością przeprowadzania czynności obsługowych. Oczywiście, nie można wyeliminować całkowicie występowania czasu wyłączenia pojazdu ze względu na konieczność przeprowadzania prac związanych z utrzymywaniem czy przywracaniem gotowości technicznej na wymaganym poziomie. Dlatego tabor tramwajowy można określić jako obiekty odnawialne, dla których wyróżnia się opis niezawodności do pierwszego uszkodzenia i opis niezawodności uwzględniający wiele uszkodzeń oraz odnów. Ocena niezawodności przeprowadzana jest przy założeniu, że odnowa w pełni przywraca stan początkowy pojazdu [7].

**Rys. 1.** Czynności utrzymania i zapewnienia sprawności techniczno-eksploatacyjnej taboru.

Activities of maintaining and ensuring the technical and operational capability of rolling stock.

W związku z występującymi sytuacjami w przypadku których, w celu utrzymania lub przywrócenia sprawności techniczno-eksploatacyjnej należy wyłączyć pojazd z użytku przedstawionych na rysunku 1, można dokonać podziału na czynności możliwe do zaplanowania oraz losowe. Analizując przypadki konieczności wyłączenia pojazdu z eksploatacji, szczególną uwagę w kontekście kosztochłonności pełnią czynności związane z nieplanowanymi pracami, mającymi na celu przywrócenie żądanej sprawności czyli naprawy. Są to bowiem przypadki których nie można dokładnie zaplanować w trakcie tworzenia planu eksploatacyjnego czy budżetu a przyczyniają się w dużym stopniu do wzrostu kosztów, pracochłonności przypadającej na dany pojazd oraz spadku niezawodności. Dlatego tak ważnym jest, minimalizowanie sytuacji występowania wyłączeń awaryjnych z tytułu naprawy bieżącej. Dokonuje się tego głównie przez wykonywanie obsług technicznych i codziennych w trakcie których dokonuje się planowanych napraw jak i kontroli stanu i funkcjonowania systemów oraz mechanizmów. Wykrywanie nieprawidłowości funkcjonowania składowych elementów tramwajów dokonuje się również poprzez wykorzystywanie wdrażanych systemów diagnostycznych, dostarczających danych na temat funkcjonalności systemów pojazdu. Kluczowym aspektem w eksploatacji pojazdów jest utrzymanie ich wysokiej niezawodności. W celu realizacji usługi, której nie można wykonywać na zapas, aspekt niezawodności jest kluczowy. W tym celu podejmuje się przedsięwzięcia związane z badaniami niezawodności oraz wskazywaniem sposobów zapewnienia wymaganego poziomu gotowości i niezawodności. Wiąże się to z odpowiednim utrzymywaniem zaplecza technicznego oraz jakością jego działania. Wymaga to racjonalnego i efektywnego użytkowania oraz utrzymywania taboru. W tym celu dokonuje się też przedsięwzięć związanych z ulepszaniem systemu utrzymania, organizacji, technologii czy wprowadzaniem wyposażenia diagnostycznego. Działania te, zaliczyć można do przedsięwzięć związanych z podwyższaniem efektywności eksploatacji taboru [6]. Ze względu na te cechy istotnym w eksploatowaniu taboru tramwajowego, jest wykorzystywanie narzędzi wspomagających eksploatację i predykcji sytuacji awaryjnych w celu maksymalizacji niezawodności. Wspomnianą niezawodność można przedstawić przy wykorzystaniu charakterystyki kompleksowej obejmującej nieuszkadzalność, gotowość, podatność na utrzymanie i bezpieczeństwo (z ang. Realiability, Avaliability, Maintainability and Safety w skrócie RAMS). Oznacza ona prawdopodobieństwo prawidłowego wykonania przez pojazd pracy w ustalonym czasie i warunkach eksploatacji. W ramach utrzymania i zapewnienia sprawności techniczno-eksploatacyjnej taboru komunikacji miejskiej stosowane są procedury określone w ramach prowadzonej polityki jakości i zarządzania środowiskowego. Gwarantują one posiadanie przez tabor deklarowanych cech oraz utrzymywania sprawności technicznej i eksploatacyjnej na wymaganym poziomie pod kątem pewności realizacji usługi przewozowej, spełnienia warunków bezpieczeństwa oraz wymagań środowiskowych. W myśl założeń zapobiegania i przewidywania awarii, w firmie prowadzone są przedsięwzięcia mające na celu umożliwienie predykcji wystąpienia wyłączenia pojazdu z eksploatacji ze względu na stan techniczny. Jednymi z nich są prace prowadzone od paru lat przez Mirosława Czechowskiego, mające między innymi na celu opracowanie systemu wykrywania nieprawidłowości pracy układów napędowych pojazdów szynowych [1, 2, 9].

Wraz z rozwojem technicznym pojazdów w zakresie konstrukcji czy systemów bezpieczeństwa rozwijają się również technologie systemów diagnostycznych które dostarczają użytkownikowi danych odnośnie funkcjonowania systemów budujących funkcjonalność tramwaju. Praca z danymi systemu diagnostyki online umożliwia zdalną kontrolę stanu technicznego taboru objętego nadzorem. Aplikacja udostępnia zarówno aktualne jak i przeszłe zdarzenia diagnostyczne każdego tramwaju. Stworzona jest więc możliwość zdalnej kontroli pojazdów eksploatowanych na trasach w czasie rzeczywistym oraz analizy danych historycznych przy zadanych ograniczeniach okresu czy typu analizowanej informacji. Dostęp bazy zdarzeń zapewniony jest również z poziomu pojazdu, co pozwala na skuteczniejszą obsługę techniczną oraz wspiera prowadzących oraz dyspozytorów w podejmowaniu decyzji w trakcie wykonywania usługi przewozowej.

Wyposażanie pojazdów tramwajowych w systemy diagnostyczne jest już powszechną praktyką. W diagnostyce eksploatacyjnej monitoruje się podstawowe wielkości elektryczne czy mechaniczne. Analiza parametrów zarejestrowanych sygnałów pozwala na rozpoznanie i klasyfikację występujących w monitorowanych systemach nieprawidłowości. Aby możliwa była taka analiza, niezbędna jest odpowiednia aparatura pomiarowa [5]. Pomimo wysokich standardów jakości wykonywania pojazdów tramwajowych, z racji na trudne warunki pracy, tramwaje są narażone na awarie powodujące kosztowne przestoje i konieczności napraw. Pożądanym jest więc, ciągłe monitorowanie systemów umożliwiające wczesne wyłapanie i rozpoznanie sygnałów wskazujących na uszkodzenie jeszcze przed jego wystąpieniem. Monitorowanie licznego taboru, w trakcie wykonywania pracy przewozowej w myśl założeń o odczytywaniu sygnałów i zapobiegania przestojom rodzi konieczność zdalnego dostępu do danych przez pracowników zaplecza technicznego umożliwiającego nadzór nad całym taborem przy wykorzystaniu jednego, prostego i intuicyjnego programu. Program taki powinien zapewniać szybką ocenę stanu technicznego floty, wskazywać obiekty wymagające interwencji serwisowej i wskazywać obiekty których mierzone parametry zaczynają odbiegać od przyjętych standardów.

2. Zagadnienie badawcze

W celu właściwej oceny stanu technicznego tramwaju, potrzebna jest wiedza na temat procesów zmniejszających jego trwałość oraz intensywności ich zachodzenia w trakcie eksploatacji. W kontrolowaniu stanu pojazdów, kluczowym jest planowanie badań, profilaktyka oraz monitorowanie stanu z wykorzystaniem dostępnych technik inżynierskich. Działania te należy przeprowadzać w sposób dopasowany do charakterystyki pojazdu. Funkcjonowanie systemu diagnostycznego, nakierowane jest na jak najtrafniejszą ocenę rzeczywistego stanu technicznego oraz określenie na jego podstawie perspektyw dalszej eksploatacji, w tym ewentualnych prac mających na celu utrzymanie stanu sprawności. Wynikająca z tego ścisła korelacja badań diagnostycznych z prognozowaniem, powoduje konieczność wyboru odpowiednich metod badawczych, eksploatowanych w określonych warunkach systemów oraz uwzględnianiu wyników historycznych. Ocena stanu technicznego tramwaju powinna uwzględniać historię eksploatacji. Ilość informacji do uwzględnienia w celu oceny stanu technicznego jest znacząca. Tylko pełna analiza gwarantuje rzetelność informacji możliwości bezpiecznej eksploatacji czy decyzyjności co do planowania remontów czy modernizacji.

**Rys. 2.** Sposoby oceny stanu technicznego pojazdu tramwajowego.

Methods of assessing the technical condition of a tram vehicle.

Eksploatacja złożonych obiektów technicznych, od których oczekuje się wysokiej gotowości do świadczenia usługi przewozowej i niezawodności, stwarza potrzebę zarządzania procesami eksploatacji z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi i metod planowania użytkowania oraz obsług. Powinny zapewniać najefektywniejsze wykorzystanie zaplecza technicznego. Efektywne działania wiążą się z zarządzaniem uwzględniającym szereg czynników którymi są posiadane zasoby techniczne, ludzkie czy organizacyjne. W związku z dynamicznym charakterem pracy osób odpowiadających za utrzymanie sprawności techniczno-eksploatacyjnej taboru, niezwykle ważnym jest posiadanie funkcjonalnego systemu diagnostycznego wspomagającego podejmowanie odpowiednich decyzji wpływających na zapewnienie odpowiedniej niezawodności taboru.

**Rys. 3.** Schematycznie przedstawione elementy systemu diagnostycznego.

Schematic presentation of the diagnostic system elements.

Efektywne działania diagnostyczne cechować powinna: wszechstronność analiz poprzedzających same badania, zawierające historię eksploatacji i wyniki badań historycznych, wybór odpowiednio dobranych metod badawczych w oparciu o aktualny stan wiedzy inżynierskiej, dopasowanie odpowiednich metod analitycznych czy odpowiednia interpretacja uzyskanych wyników. Nadrzędnym celem systemu diagnostycznego bowiem powinna być ocena rzeczywistego stanu technicznego oraz określenie perspektywy dalszej eksploatacji ze spełnieniem założonych wymagań stawianych obiektowi technicznemu. Dodatkowo, pożądana jest informacja o potencjalnych możliwościach modernizacyjnych pozwalających na wydłużenie trwałości obiektu. Właściwe określenie stanu rzeczywistego umożliwia przewidzenie i zaplanowanie dalszej eksploatacji w zadanych warunkach pracy przy jednoczesnym wykorzystaniu danych historycznych. Z uwagi na długi czas eksploatacji tramwajów, analiza dużej ilości informacji dostępnych do efektywnego wykorzystania, ułatwiona może być za sprawą analizujących je systemów. Duża ilość danych poddanych odpowiedniej analizie, powinna wpływać na wzrost wiarygodności prognoz. Na akuratność prognoz wpływa bezpośrednio odpowiednia interpretacja dostarczanych danych [3]. Obecnie stosowane w przedsiębiorstwie systemy diagnostyczne, dostarczane przez producentów taboru, nie posiadają funkcji prognozowania stanu technicznego pojazdu. Próby predykcji i uprzedzenia stanu niezdatności tramwaju do świadczenia usługi przewozowej odbywają się obecnie w ramach prac opisanych w artykułach [1, 2, 9].

Obecnie systemy diagnostyczne dostarczane są wraz z dostawą taboru, dedykowane dla konkretnego typu pojazdów. W związku z tym, ilość systemów diagnostycznych do wykorzystania, paradoksalnie wydłuża czas chociażby oceny stanu technicznego całej floty danej zajezdni, ponieważ każda aplikacja wygląda inaczej i posiada różne funkcje. Pożądanym jest, aby wykorzystywane oprogramowanie było możliwie ujednolicone lub pozwalało na ocenę stanu całej floty za pośrednictwem jednej aplikacji, w jednym miejscu. W dalszej części, zostanie opisany sposób wspomagania eksploatacji z wykorzystaniem systemu diagnostycznego z najnowszych dostaw taboru.

**Rys. 4.** Działania realizowane przez system diagnostyczny.

Operations performed by the diagnostic system.

Funkcjonalność aktualnie wykorzystywanych systemów diagnostycznych można podzielić na trzy głównie spełniane działania jakimi są wspomaganie pracy motorniczych, pracowników obsługi oraz pracowników działu technicznego. Schematycznie zostało to przedstawione na rysunku 4. System jest zintegrowany z terminalem pulpitu motorniczego, rejestruje i sygnalizuje zdarzenia diagnostyczne systemu sterowania pojazdem. Dostęp do zdarzeń możliwy jest bezpośrednio na pojeździe jak i za pośrednictwem aplikacji online. W przypadku wykrycia zdarzenia diagnostycznego przez system sterowania, zostaje ono zarejestrowane w aplikacji. Zdarzenie diagnostyczne posiada przyporządkowaną dla siebie kategorię, których listę przedstawiono w tabeli 1.

**Tabeli 1.** Opis kategorii zdarzeń diagnostycznych.

Description of the diagnostic events categories.

|  |  |
| --- | --- |
| **Kategoria zdarzenia diagnostycznego** | **Ogólny opis kategorii zdarzenia diagnostycznego** |
| A | Awaria krytyczna uniemożliwiająca samodzielny zjazd do zajezdni. Należy podjąć holowanie pojazdu do zajezdni i rozpocząć procedurę serwisową. |
| B | Awaria uniemożliwiająca jazdę z pasażerami. Należy wysadzić pasażerów, zjechać pojazdem do zajezdni i rozpocząć procedurę serwisową. |
| C | Usterka nieumożliwiająca świadczenia usługi przewozowej. Należy kontynuować pracę na linii i rozpocząć procedurę serwisową po powrocie do zajezdni. |
| D | Zdarzenie diagnostyczne wspomagające szczegółową diagnostykę systemów. Wspomaga diagnostykę pracy podsystemów lub wskazuje na usterki które nie wpływają na możliwość świadczenia pracy przewozowej.  |
| E | Zdarzenie diagnostyczne o charakterze informacyjnym. Informują o aktualnym stanie pojazdu, obsłudze pojazdu czy zarejestrowanych wykonanych czynnościach. |

Na podstawie kategorii określana jest w jasny sposób ważność zdarzenia oraz ocena możliwości wykonywania pracy przewozowej. Wyświetlenie na pulpicie litery kategorii zdarzenia jest jasną informacją o stanie technicznym pojazdu i możliwości obsługi linii czy sposobie postępowania. Informacje te zestawiono w tabeli 2. Wyświetleniu informacji o zdarzeniu diagnostycznym towarzyszy sygnał dźwiękowy, wyświetlenie opisu zdarzenia i sposobu postępowania. Komunikaty grupowane są w obrębie tych samych kategorii w celu uniknięcia rozproszenia uwagi. Z pulpitu, możliwy jest również dostęp do historii zapisanych zdarzeń i ich przegląd. Wspomaganie w tej formie wykorzystywane jest w całości przez motorniczych. Wspomaganie decyzyjności dyspozytorów opiera się aktualnie jedynie na informacjach odczytanych i przekazanych przez motorniczych. Z uwagi na występowanie możliwości wspomagania decyzyjności osób z dyspozytorni tylko dla wybranych typów pojazdów, wspomaganie to nie jest wskazane w procedurach postępowania.

**Tabela 2.** Opis kategorii zdarzeń wyświetlanych na terminalu motorniczego.

Description of events categories displayed on the driver's terminal.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Kategoria** | **Zdarzenie diagnostyczne** | **Powód wystąpienia zdarzenia** | **Procedury postepowania pojazdu** | **Procedura postępowania motorniczego** |
| A | Awaria krytyczna | Poważna awaria zasilania lub wielu systemów | Hamowanie wymuszone i zatrzymanie pojazdu, blokada rozruchu | Kontakt z nadzorem ruchu, wyprowadzenie pasażerów, przygotowanie pojazdu do holowania |
| B | Awaria poważna | Awaria systemów ruchu lub krytyczne usterki kilku systemów | Możliwe samodzielne wyhamowanie, blokada rozruchu. Rozruch ponowny możliwy po potwierdzeniu komunikatu. Możliwe ograniczenie prędkości. | Kontakt z nadzorem ruchu, wyprowadzenie pasażerów lub jazda z pasażerami do najbliższego przystanku |
| C | Usterki | Usterki systemów innych niż ruchu lub ostrzeżenia o materiałach eksploatacyjnych | Wyświetlenie komunikatu, możliwe zastosowanie ograniczenia prędkości | Zgłoszenie pracownikom obsługi technicznej |
| E | Komunikaty informacyjne | Informacje o stanie pojazdu, wykonanych czynnościach, niewłaściwej obsłudze | Wyświetlenie informacji | Postępowanie zgodnie z komunikatem |

System diagnostyczny online pozwala na przegląd części floty dla której dedykowana jest aplikacja, w czasie rzeczywistym. Realizowane jest to poprzez wyświetlenie graficznego odwzorowania pojazdów. Podczas przeglądu floty, możliwy jest między innymi podgląd stanu technicznego pojazdów, aktualności zainstalowanego oprogramowania, miejsca znajdowania się pojazdu, numeru obsługiwanej linii czy obecności na zajezdni. Informacje te prezentowane są przy użyciu indywidualnych symboli graficznych, co pozwala na to aby w szybki sposób wychwycić wszelkie zgłoszenia o awariach, usterkach czy choćby miejscu przebywania tramwaju. Po wybraniu danego pojazdu, umożliwiony jest dostęp do aktualnych i historycznych zdarzeń diagnostycznych. Wybrane informacje przypisane do jednego zdarzenia diagnostycznego zestawiono na rysunku 5. Dane dotyczące zdarzeń diagnostycznych można eksportować w celu przeprowadzania analiz. Aktualnie, aplikacja umożliwia jedynie ilościową analizę zdarzeń ze względu na ich indywidualny kod, kategorię czy pojazd w określonym okresie. Dostępny moduł statystyczny umożliwia jedynie na generowanie raportu statystycznego z uwzględnieniem wspomnianych parametrów. W praktycznym wspomaganiu eksploatacji taboru, taki raport nie jest wystarczający. Potrzebna do poznania charakterystyki danego typu obiektu technicznego analiza jakościowa powinna uwzględniać nie tylko ilość występowania danych zdarzeń ale również wartość parametrów towarzyszących sytuacji. W celu analizy jakościowej dokonywane są prace nad danymi w celu określenia między innymi niezawodności systemów czy zależności między występowaniem zdarzeń a ich skutkami, w postaci wyłączenia pojazdu z eksploatacji. Pożądanym jest możliwość zaimplementowania takiej funkcjonalności w systemie diagnostycznym.

**Rys. 5.** Wybrane informacje dostępne dla każdego zdarzenia diagnostycznego.

Selected information available for each diagnostic event.

Aplikacja systemu diagnostycznego dostarcza eksploatacyjnych informacji o pojeździe jakimi są informacje o całkowitym przebiegu, energii całkowitej, energii pobranej przez napędy i urządzenia dodatkowe, ilości energii rekuperowanej do sieci i odbiorników czy pobranej z baterii trakcyjnych dla określonego okresu. Jest to szczególnie ważna informacja w przypadku eksploatacji taboru tramwajowego ponieważ pozwala na dokładne analizowanie energochłonności i planowanie zapotrzebowania na energię elektryczną. Jak wiadomo, konsumpcja energii elektrycznej jest jednym z istotnych aspektów wpływających na koszt eksploatacji taboru. W ostatnich latach, obserwuje się zmianę podejścia poprzez rozpoczęcie uwzględniania energochłonności pojazdów już na etapie procedury przetargowej. Wzrost świadomości i wpływu parametrów technicznych pojazdu na kryteria wyboru w pewnym stopniu można powiązać ze zmianami w Prawie Zamówień Publicznych (PZP) [4]. Zamawiający zobowiązany jest do wyboru oferty na podstawie jakościowych kryteriów oraz ceny lub kosztu. Rachunek kosztów cyklu istnienia może obejmować wybrane lub wszystkie koszty ponoszone w czasie cyklu życia produktu. Rozpoczęcie uwzględniania aspektów wpływających na koszty eksploatacji takich jak energochłonność czy niezawodność jest jednym z nurtów efektywnego eksploatowania taboru.

3. Podsumowanie

Realizowane przez wykorzystywane systemy diagnostyczne zadania, w znacznym stopniu wspomagają złożone zadanie jakim jest efektywna eksploatacja taboru. W ostatnich latach wykorzystywania w przedsiębiorstwie możliwości jakie dają, znajduje się jednak jeszcze parę obszarów, w których wydaję się, że system diagnostyczny mógłby w jeszcze lepszym stopniu wspomagać pracę zaplecza technicznego. Na podstawie zdobytych doświadczeń w eksploatacji taboru, potrzeb oraz dostrzeganych możliwości oferowanych przez systemy diagnostyczne oparte na informacjach rejestrowanych przez system sterowania pojazdem, można określić obszary zastosowania systemów diagnostyki jako narzędzia wspomagającego i sformułować oczekiwania przyszłych funkcjonalności.

Raport statystyki ilości zdarzeń danej lub kilku kategorii, w możliwych do określenia pojazdach, grupie pojazdów w wybranym przedziale czasu jest funkcjonalnością wspomagającą określenie ilości zdarzeń diagnostycznych. Na podstawie doświadczeń i potrzeb, oczekiwanym jest aby taki raport ewaluował do raportu statystyki ilości zdarzeń z uwzględnieniem ich jakościowej analizy, określającej wpływ występowania zdarzeń diagnostycznych na niezawodność pojazdu, taboru i ich gotowość techniczną, ilość zjazdów awaryjnych czy straconych kursów. Żądanym jest aby raporty posiadały możliwość określania parametrów wejściowych i uwzględnianych w celu możliwości tworzenia spersonalizowanych zestawień. Funkcjonalność powinna umożliwiać analizowanie zarówno wpływu na stan techniczny jak i zapewniać informację o intensywności występowania danych zdarzeń, i zmian tej intensywności w czasie, w celu możliwości znalezienia zależności między ich występowaniem a czynnikami zewnętrznymi jakimi może być jakość obsług czy warunki pracy pojazdu. Docelowym rozwiązaniem mógłby być moduł predykcyjny, który na podstawie określonych parametrów i danych historycznych, sygnalizowałby możliwość wystąpienia awarii i usterek poprzez określenie prawdopodobieństwa ich wystąpienia, na podstawie wykrycia określonych sekwencji zdarzeń diagnostycznych.

Realizowane przez system wspomaganie decyzyjności zarówno prowadzącego jak i dyspozytora, poprzez stosowanie opisu usterki i sposobu postępowania, niestety nie zawsze w jednoznaczny sposób umożliwia na wcześniejsze zapobieganie występowaniu zatrzymania czy straty kursu. Obecnie stosowane rozwiązanie jest bardzo obiecujące. W świetle zdobytych doświadczeń, można stwierdzić, że moduł ten wymaga zestawienia sygnałów systemu sterowania z rzeczywistym stanem technicznym pojazdu. Bywa, że część sygnałów odbierana i sygnalizowana jest przez system nadmiernie. Wspomaganie pracowników serwisu poprzez opis błędu, opis wymaganych prac czy wskazanie źródła występowania awarii czy usterki posiada potencjał na przeistoczenie się w centralny sposób zarządzania i wspomagania napraw. Z punktu widzenia zaplecza technicznego, wymaganym w tym miejscu jest dostęp do dokumentacji technicznej, schematów elektrycznych oraz schematów generowania danych zdarzeń diagnostycznych oraz warunków wymaganych do ich zaistnienia. Na podstawie weryfikacji tych założeń w trakcie eksploatacji czy umożliwieniu dokonywania zmian, możliwym byłoby jednoczesne weryfikowanie prawidłowości sygnałów i niejakie uczenie systemu prawidłowego reagowania na sekwencje zdarzeń diagnostycznych.

Aktualna możliwość wykorzystywania systemów diagnostycznych jedynie dla dedykowanych im pojazdów których dotyczy procedura przetargowa, pomimo zagwarantowania, że system jest uszyty na miarę części taboru, utrudnia całościową ocenę całej floty. Zmusza bowiem do stosowania różnych procedur oceny stanu technicznego w zależności od typu eksploatowanego taboru. Procedury i narzędzia wspomagające eksploatację taboru powinny być możliwie ujednolicone i zunifikowane. Jest to szczególnie istotne biorąc pod uwagę dynamiczny charakter pracy na stacjach obsług i zajezdniach. Wzrastająca ilość aplikacji i systemów obsługowych paradoksalnie może utrudnić i wydłużyć czas przeprowadzenia prawidłowej obsługi, naprawy czy nadzoru nad pojazdami. Możliwość zarządzania całą flotą z użyciem jednego, centralnego oprogramowania mogłaby pozwolić na wykorzystanie potencjału jakie dają systemy diagnostyki. Ze względu na wiek i typ części eksploatowanego taboru, nie jest możliwe objęcie systemem wszystkich pojazdów. Z uwagi jednak na realizowane przedsięwzięcia taborowe o charakterze inwestycyjnym i modernizacyjnym sformułować można założenia określające wymagania stawiane przyszłej floty tramwajowej. System diagnostyczny mógłby stać się w przyszłości aplikacją pozwalającą na globalne zarządzanie i eksploatację floty [8]. Wypracowane teraz rozwiązania, pozwolą na wykorzystanie ich przez następne lata, dlatego nie można pomijać możliwości systemu diagnostycznego w kontekście eksploatacji taboru. W związku z długim cyklem istnienia tramwajów i ich kosztochłonnością, podjęte dziś działania zdeterminują przyszłą efektywność i jakość transportu tramwajowego na kolejne lata.

**Literatura**

[1] CZECHOWSKI M., SUŁOWICZ M., *Diagnostyka układów napędowych wagonów tramwajowych,* [w:] Maszyny Elektryczne -Zeszyty Problemowe, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, 2017, vol. 2, nr 144, 197–204.

[2] CZECHOWSKI M., SUŁOWICZ M., ZIELONKA J., TULICKI J., STRADOWSKI M., *System do ciągłej diagnostyki silników indukcyjnych klatkowych pracujących w układach napędowych wagonów tramwajowych,* [w:] Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, 2022, vol. 1, nr 127, 207–213.

[3] JASIŃSKI A., *System diagnostyczny jako sposób na wydłużenie czasu bezpiecznej eksploatacji rurociągów parowych,* Energetyka, Oficyna Wydawnicza Energia, 2012, 501–506.

[4] Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 14 lipca 2023 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo zamówień publicznych (Dz. U. 2023, poz. 1605).

[5] PAWLAK M., ŻARCZYŃSKI Z., *Rozproszony system pomiarowy do diagnostyki przemysłowych napędów elektrycznych,* [w:] Maszyny Elektryczne -Zeszyty Problemowe, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, 2013, vol. 1, nr 98, 39–44.

[6] PSZCZÓŁKOWSKI J., GOLIASZ T., *Istota strategii eksploatacji wg kryteriów niezawodności*, [w:] Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 2019, vol. 24, nr 6, 161–167.

[7] SZKODA M., *Kształtowanie potencjału przewozowego przedsiębiorstw transportu kolejowego,* Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2017.

[8] ULATOWSKI W., GOLICKI R., *Zarządzanie nowoczesną zajezdnią*, [w:] Technika Transportu Szynowego TTS, 2009, vol. 9, 46–48.

[9] ZIELONKA J., SUŁOWICZ M., CZECHOWSKI M., *System zbierania danych z czujników zabudowanych w smartfonach na potrzebę monitorowania wybranych parametrów pojazdów z napędami elektrycznymi*, [w:] Maszyny Elektryczne -Zeszyty Problemowe, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, 2021, vol. 2, nr 126, 131–135.