

## Badania diagnostyczne dla oceny i prognozowania stanu elementów elektrycznego wyposażenia trakcyjnych pojazdów szynowych Diagnostic tests aimed at assessment and forecasting of the condition of electrical equipment components of the rail traction vehicles

*The article describes the ongoing and already implemented projects regarding the use of diagnostic tests to assess the current and past condition of electrical devices of the railway traction vehicles. The results of several R&D works are presented, related to selected parts of the power supply system and traction drive system as well as their possible practical use during vehicle operation. In conclusion, a solution of the diagnostic system was outlined, that has been developed and implemented by the Institute of Rail Vehicles "Tabor" on the EU07A locomotive.*

*W artykule opisano prowadzone i wdrożone prace dotyczące wykorzystania badań diagnostycznych do oceny aktualnego i przeszłego stanu urządzeń elektrycznych w trakcyjnych pojazdach szynowych. Przedstawione zostały wyniki kilku prac badawczych dotyczących wybranych elementów układu zasilania oraz układu napędu trakcyjnego i możliwość ich praktycznego wykorzystania podczas eksploatacji pojazdów. Na zakończenie przedstawiono rozwiązanie systemu diagnostycznego opracowanego i wdrożonego przez Instytut Pojazdów Szynowych "Tabor" na lokomotywie EU07A.*

**Keywords:** diagnosis, electrical equipment, rail traction vehicle, prognosis of the state

**Słowa kluczowe:** diagnostyka, trakcyjny pojazd szynowy, wyposażenie elektryczne, prognoza stanu

### 1. Introduction

According to the provisions of European regulations [9, 10], development of the research methods provides not only support for placing the rail vehicles and their subassemblies in service but is also helpful during their operation, when the tests are among the main diagnostic tools. An additional application of the diagnostic tests comprises assessment and forecasting of future condition of the main components of a rail vehicle.

The modern information technology and the diagnostic systems embedded in the vehicle subassemblies with a view to monitor their conditions provide such opportunities. Appropriate programs enable forecasting of the wear rate of important vehicle components and reasonable planning of necessary replacements of the elements and components being parts of them.

Most modern vehicle systems are equipped with various types of the sensors and transducers, providing objective information on the condition of the device, its effective working time and the disturbances arising during its operation.

An important stage of the railway vehicle maintenance includes the inspection and repair works (level 1 ÷ 5), the scope of which is described in detail by the Maintenance System Documentation [13] individually for each vehicle. Frequency of these operations is imposed by the regulations. The works should be carried out regardless of current condition of a concerned component or part of the vehicle.

The results of research and development works are regularly published. Therefore, the case studies and recommendations included therein should be implemented by the carriers and organizers of this type of

### 1. Wstęp

Rozwój metod badawczych służy, zgodnie z zapisami regulacji europejskich [9, 10] nie tylko procesowi dopuszczenia kolejowych pojazdów szynowych i ich podzespołów do eksploatacji, lecz także w okresie ich eksploatacji, w czasie której badania są jednym z głównych narzędzi diagnostycznych. Dodatkowym zastosowaniem badań diagnostycznych jest umożliwienie oceny i prognozowania przyszłego stanu głównych podzespołów pojazdu szynowego.

Możliwości takie stwarza współczesna technika informatyczna i wyposażanie podzespołów w systemy diagnozujące ich stan. Stosowanie odpowiednich programów pozwala prognozować tempo zużywania się istotnych podzespołów pojazdów i odpowiednio, w racjonalny sposób planować niezbędne wymiany elementów i składników, które są ich częścią.

Większość nowoczesnych układów stosowanych w pojazdach szynowych jest wyposażona w różnego rodzaju czujniki i przetworniki dające obiektywną informację o stanie urządzenia, efektywnym czasie pracy i zakłóceniach, jakie wystąpiły w czasie pracy danego urządzenia.

Istotnym etapem utrzymania pojazdów kolejowych są prace przeglądowo-naprawcze (poziomu 1 ÷ 5), których zakres opisany jest szczegółowo, dla każdego pojazdu indywidualnie, w Dokumentacji Systemu Utrzymania [13]. Częstość wykonywania tych prac jest narzucona przepisami i prace te mają być przeprowadzane bez względu na aktualny stan danego podzespołu lub elementu pojazdu.

Wyniki prac badawczo-rozwojowych są systematycznie publikowane, zatem opracowania i zalecenia w

transport, that shall result in minimizing the vehicles maintenance cost and improving their competitiveness. This article presents the potential of diagnosing some parts of electrical equipment of the traction vehicles, with a view to assess their current and predicted condition.

## 2. Parts of the power supply system

Diagnostic methods related to the traction drive are focused on several groups of the devices compatible with the traction drive system. The traction motor operation depends on the condition of the components of the power supply system, shown schematically in Fig. 1.

Pantographs are important parts of the electric traction vehicles, therefore, timely detection of their failure allows to avoid more serious damage and contributes to reduce its effects and lower operating cost of the vehicle.

As part of the project carried out by the Institute of Rail Vehicles "Tabor", the design and experience of pantograph operation have been analyzed, that served as a basis for identification of critical parts of the pantographs and for developing the methods of objective assessment of their technical condition.

Among the critical elements and parameters of the pantographs, the condition of which should be checked in order to maintain the assumed operational characteristics of the vehicle, the following should be mentioned:

- pantograph contact shoe;
- arms, bearings, springs, vibration dampers, rubber bumpers;
- high voltage wiring and insulators;
- pneumatic control system and air ducting;
- contact wire pressure;
- raise/lower time.

Not only the critical elements have been specified, but also the ways of their detection and evaluation. Forecasting the pantograph condition is necessary to enable uninterrupted operation of the electric traction vehicles [11].

However, the extreme situations, e.g. pantograph damage caused by a damaged section of the overhead line, cannot be predicted.

Characteristic symptoms arising in the pantograph itself, that may indicate dangerous situations, are as follows:

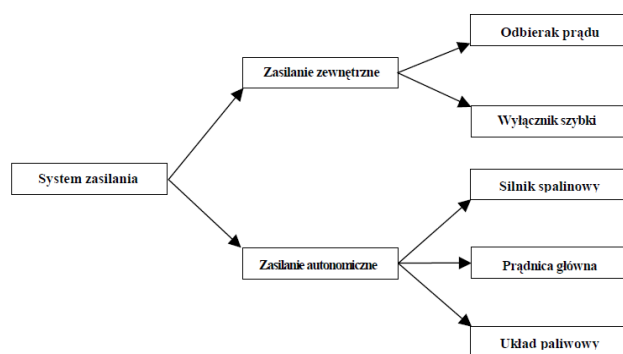
- o extended rise/lower time, that may be caused by:
  - damage to the pneumatic system;
  - extensive friction in the bearings;
  - damaged shock absorber;
  - uncontrolled lowering and inability to raise, caused by activation of the Automatic Dropping Device (ADD) system, e.g. in result of the wear limit of the pantograph shoe,
- o interruptions in electrical power supply resulting from:

nich zawarte powinny być wdrażanie przez przewoźników i organizatorów tego rodzaju transportu, co przełoży się na minimalizowanie kosztów obsługi pojazdów i zwiększenie ich konkurencyjności.

W niniejszym artykule przedstawiono możliwość diagnozowania niektórych elementów wyposażenia elektrycznych pojazdów trakcyjnych w celu oceny ich bieżącego i prognozowanego stanu.

## 2. Elementy układu zasilania

Metody diagnostyczne dotyczące napędu trakcyjnego koncentrują się na kilku grupach urządzeń współpracujących z systemem tego napędu. Praca silnika trakcyjnego jest uzależniona od stanu elementów tworzących układ zasilania, przedstawionych w sposób schematyczny na rys. 1.



		Pantograph
	External power supply	Quick circuit breaker
Supply system		Internal combustion engine
	Autonomous power supply	Main generator
		Fuel supply system

Rys. 1. Schemat systemu zasilania pojazdu trakcyjnego [5]  
Fig. 1. Diagram of the traction vehicle power supply system [5]

**Odbieraki prądu** są istotnymi elementami w elektrycznym pojeździe trakcyjnym, więc wczesne wykrycie ich niesprawności pozwoli na uniknięcie poważniejszych uszkodzeń i służy ograniczeniu ich skutków i obniżeniu kosztów eksploatacji pojazdu.

W ramach projektu realizowanego przez Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” przeanalizowano konstrukcję i doświadczenia z eksploatacji pantografów i na tej podstawie wskazano elementy krytyczne odbieraków prądu oraz sposoby obiektywnej oceny ich stanu technicznego.

Do elementów i parametrów krytycznych odbieraków prądu, których stan należy nadzorować w celu utrzymania zdolności ruchowej pojazdu na założonym poziomie, należą:

- nakładki ślizgowe
- ramiona, łożyska, sprężyny, tłumiki drgań, odbojniki gumowe
- okablowanie wysokiego napięcia i izolatory
- układ sterowania pneumatycznego i przewody powietrzne

1. damage to the pressure regulator;
2. insufficient contact pressure;
3. non-parallel position of the pantograph shoe with regard to the overhead contact wire;
4. extensive friction in the bearings;
5. charge arc-over onto the vehicle roof in result of contamination or damage of the insulators.

The following parameters should be subjected to control and registration in real time:

- traction network voltage;
- the current drawn from overhead contact line;
- pressure in the pantograph actuator;
- pressure in the pantograph(s) tank;
- ADD signal [4].

**The main (high-speed) breakers** are manufactured both in the version with contacts in the arc chamber or in the vacuum chamber. The latter are usually provided with multifunctional microprocessor controllers with diagnostic functions.

In the case of the version with classic arrangement of mechanical contacts, the condition of these contacts can be diagnosed, according to the number of activations and the value of current being switched off. Taking into account a possible fault, the condition of the arc chamber is important, as it determines correct course of switching off the operating current and short-circuit current. This, in turn, affects the service life of other devices of the high-voltage circuit.

**Line contactors** were the subject of the work devoted to the previously mentioned research project. Assessment parameters were defined and identified based on direct diagnostic data and the limitations have been subjected to analysis.

Results of the analysis of the data derived from the diagnostic system permanently installed in the control system, recorded during several days of the locomotive's operation, have been presented. They were obtained from a common diagnostic stream, without additional involvement of the control system.

Analysis of the data derived from the locomotive diagnostic system enabled to determine the following indicators useful in assessing technical condition of the line contactor:

- average frequency of activations;
- total number of activations;
- mean time between activations;
- shutdowns due to exceeding the minimum current;
- shutdowns due to exceeding the rated current.

It has been shown that a simple stream of diagnostic data fails to meet the basic requirement consisting in necessary recording of the indicators in the controller memory, with a view to store the data collected from the entire life of the contactor and to enable determination of the variation trend in key parameters [11].

**The power generator** should also be considered as an electric power supply element of the drive system of internal combustion vehicles. The proposed diagnostic

- siła docisku do przewodu jezdnego
- czasy podnoszenia i opuszczania.

Określone zostały nie tylko elementy krytyczne, lecz także przedstawiono sposoby ich wykrywania i oceny. Prognozowanie stanu odbieraków jest konieczne w celu umożliwienia nieprzerwanej eksploatacji elektrycznych pojazdów trakcyjnych [11].

W procesie prognozowania nie da się przewidzieć sytuacji ekstremalnych, np. uszkodzenia odbieraka wskutek wjechania pojazdu na uszkodzony odcinek sieci trakcyjnej.

Charakterystyczne objawy, leżące po stronie odbieraka, które mogą wskazywać na rozwijanie się niebezpiecznych zjawisk, są następujące:

- o wydłużony czas podnoszenia/opuszczania, którego przyczyną może być:
  - uszkodzenie w instalacji pneumatycznej
  - zbyt duże tarcie w łożyskach
  - uszkodzony amortyzator
  - niekontrolowane opuszczenie i brak możliwości podniesienia spowodowane zadziałaniem układu automatycznego opuszczania (ADD - Automatic Dropping Device), np. po wykryciu granicznego zużycia nakładki ślizgowej,
- o przerwy w przepływie prądu wynikające z:
  - uszkodzenia regulatora docisku
  - zbyt małej siły docisku
  - braku równoległości ślizgów i przewodu jezdnej sieci trakcyjnej
  - zbyt dużego tarcia w łożyskach
  - przeskoków ładunku na dach pojazdu wskutek zabrudzenia lub uszkodzenia izolatorów.

Bieżącej kontroli i rejestracji w czasie rzeczywistym powinny podlegać następujące parametry:

- napięcie sieci trakcyjnej
- prąd pobierany z sieci trakcyjnej
- ciśnienie w siłowniku odbieraka prądu
- ciśnienie w zbiorniku odbieraka(-ów)
- sygnał ADD [4].

**Wyłączniki główne** (szybkie) budowane są zarówno w wersji ze stykami w komorze łukowej, jak i ze stykami umieszczonymi w komorze próżniowej. Te drugie są z reguły wyposażone w wielofunkcyjne sterowniki mikroprocesorowe z funkcjami diagnostycznymi.

W wersji z klasycznym układem styków mechanicznych diagnozowany może być stan tych styków, zależny od liczby łączów i wartości wyłączanych prądów. Istotny ze względu na możliwość wystąpienia usterki jest stan komory łukowej decydującej o prawidłowym przebiegu wyłączania prądów roboczych oraz prądów zwarciovych, co wpływa z kolei na żywotność innych aparatów obwodu wysokiego napięcia.

**Styczniki liniowe** były obiektem prac w ramach przywołanego wcześniej projektu badawczego. Określono i wyznaczono parametry oceny na podstawie bezpośrednich danych diagnostycznych oraz



tests of this component focus primarily on the assessment of the condition of the internal combustion engine. The generator itself is usually subjected to simplified assessment procedure during the tests carried out on the test bench that is limited only to checking:

- rotor ovality;
- spring tension of the brush holders;
- generator resistance;
- insulation resistance under heated condition;
- resistance of the self-excitation insulation resistance.

Full list of diagnostic features of the generator set, inclusive of the main generator, may be an important part of an automated computer diagnostics system. This provides opportunity to record and store the measurable values, allowing for quick diagnosis of the current state and its comparison with the previously saved state. Such a system shall ensure an objective assessment and improve the work of vehicle service personnel. Additionally, it helps to avoid random errors of the manual documentation of the procedure [7].

### 3. Drive system subassemblies

An important part of the electric drive system includes various types of power electronic converters supplying traction motors and auxiliary circuits. They are provided with work control modules, performing the so-called self-tests after switching the system on, checking efficiency of the sensors and measuring and control converters as well as constant monitoring of the drive system operation. The disturbances arising during operation of these systems are mainly caused by faults of the above-mentioned control and measurement elements, damage to semiconductor elements, and sometimes by cooling systems supplied with medium voltage or disturbances in their control systems supplied with low voltage.

The signals of any observed irregularities are transmitted to the central control and diagnostics system and displayed on the operator's panel on the driver's console [4].

Additional devices, namely converters and accumulator batteries, are the components that make up a complete drive system.

The block diagram of the essential parts of the traction drive system is presented in Fig. 2. All these elements should be subjected to the tests aimed at assessing and forecasting their condition, due to their key importance for the technical efficiency of the vehicle and the complex structure.

Most of the work being carried out and the publications devoted to this subject concern the traction motor itself and its basic parts. This is the case with both the induction motors and DC motors still in use.

Examples of possible damage, namely the fragment of damaged winding of the traction motor rotor (Fig. 3) and the fracture of damaged rotor bars (Fig. 4) are presented below.

przeprowadzono analizę ograniczeń. Przedstawiono wyniki analizy danych pochodzących z układu diagnostycznego zainstalowanego na stałe w systemie sterowania i rejestrowanych w ciągu kilku dni pracy lokomotywy. Pozyskano je ze wspólnego strumienia diagnostycznego nie angażującego dodatkowo systemu sterowania.

Na podstawie przeanalizowanych danych z systemu diagnostycznego lokomotywy wyznaczono następujące wskaźniki mogące posłużyć do oceny stanu technicznego stycznika liniowego:

- średnia częstość załączeń
- łączna liczba załączeń
- średni czas między załączeniami
- wyłączenia z powodu przekroczenia prądu minimalnego
- wyłączenia z powodu przekroczenia prądu nominalnego.

Wykazano, że prosty strumień danych diagnostycznych nie zapewnia podstawowego wymagania, jakim jest konieczność zapisania wskaźników w pamięci sterownika w celu zapamiętania danych z całego okresu eksploatacji stycznika oraz umożliwienia tworzenia trendów zmian kluczowych parametrów [11].

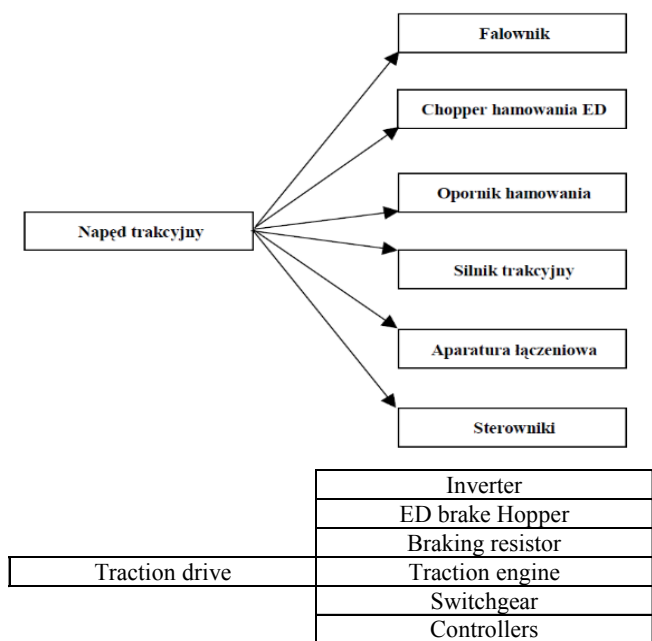
**Agregat prądowórczy** powinien być także traktowany jako element zasilania elektrycznego w układzie napędowym pojazdów spalinowych. Proponowane badania diagnostyczne tego podzespołu koncentrują się podstawowo na ocenie stanu silnika spalinowego. Sama prądnica w trakcie badań tego agregatu na hamowni podlega z reguły uproszczonej procedurze oceny i jej badania ograniczają się tylko do sprawdzenia:

- owalności wirnika
- naciągu sprężyny szczotkotrzymaczy
- oporności prądnicy
- oporności izolacji w stanie nagrzanym
- oporności izolacji wzbudzenia własnego w stanie nagrzanym.

Pełna lista cech diagnostycznych agregatu, w tym prądnicy głównej, może być elementem budowy systemu komputerowego zautomatyzowanej diagnostyki. Możliwe będzie wtedy zapisywanie i przechowywanie wartości cech mierzalnych, co umożliwi szybką diagnozę stanu aktualnego i porównanie ze stanem zapisanym wcześniej. Taki system zapewni obiektywną ocenę i ułatwi pracę personelu obsługi pojazdu, a dodatkowo wyeliminuje przypadkowe błędy w ręcznie opracowywanej dokumentacji procedury [7].

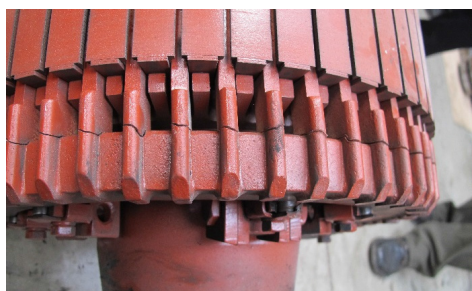
### 3. Podzespoły układu napędowego

Istotnym elementem elektrycznego układu napędowego są różnego rodzaju przekształtniki energoelektroniczne zasilające silniki trakcyjne i obwody pomocnicze. Wyposażone są one w moduły kontroli pracy, realizujące tzw. autotesty po załączeniu układu, kontrolę sprawności czujników i przetworników pomia-



Rys. 2. Podstawowe elementy elektrycznego napędu trakcyjnego pojazdu trakcyjnego [5]

Fig. 2. Basic parts of electric drive of a traction vehicle [5]



Rys. 3. Uszkodzone uzwojenie wirnika silnika trakcyjnego [1]

Fig. 3. Damaged winding of the traction motor rotor [1]



Rys. 4. Przełom uszkodzonych prętów wirnika silnika trakcyjnego [1]

Fig. 4. Fracture of damaged rotor bars of the traction motor [1]

One of the examples of the method of monitoring the condition of a traction motor consists in using a telemetric, multi-channel data acquisition system that enables monitoring of the operation of electrical machines and devices. This unit may operate even under unfavorable environmental conditions and allows to measure and save the results and to send the information on current state of the tested object. It enables recording of instantaneous values, average and rms values of measured signals, as well as defining the threshold values, the exceeding of which activates recording the parameters of exceeded values.

These devices were used, among others, in order to identify the causes of damage to the rotors of squirrel-cage induction motors used to drive the rail vehicles. Tests were carried out during usual operation of the traction vehicle.

The figure below shows the recorded results of the currents of the same phase of two motors supplied from the same inverter supplying the same drive set.

rowo-kontrolnych oraz w stały monitoring pracy systemu napędowego. Występujące zakłócenia w pracy tych układów są spowodowane głównie usterkami ww. elementów kontrolno-pomiarowych, uszkodzeniami elementów półprzewodnikowych, a czasami układów chłodzących zasilanych napięciem średnim lub zakłóceniami ich układów sterowania zasilanych napięciem niskim.

Sygnaly o wszystkich stwierdzonych nieprawidłowościach są przekazywane do centralnego systemu sterowania i diagnostyki i wyświetlane są na panelu operatorskim na pulpicie maszynisty [4].

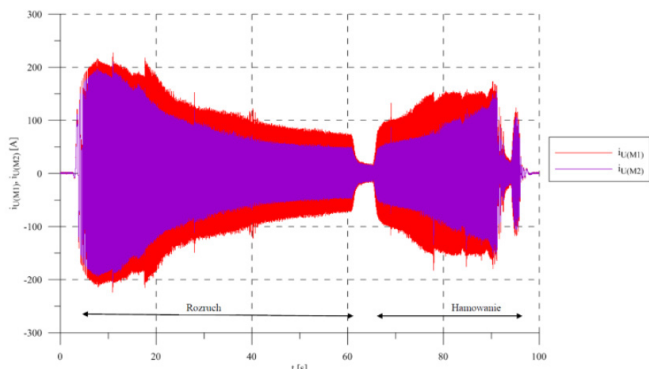
Elementami tworzącymi kompletny system napędowy są ponadto dodatkowe urządzenia, takie jak przetwornice i baterie akumulatorów.

Schemat blokowy zasadniczych elementów układu napędu trakcyjnego przedstawiony został na rys. 2. Wszystkie te elementy, ze względu na kluczowe znaczenie dla sprawności technicznej pojazdu i złożoną budowę, powinny zostać objęte badaniami służącymi ocenie i prognozowaniu ich stanu.

Większość prowadzonych i publikowanych na ten temat prac dotyczy samego silnika trakcyjnego i jego podstawowych części. Dotyczy to zarówno silników indukcyjnych jak i nadal stosowanych silników prądu stałego.

Jako przykład możliwych uszkodzeń przedstawiony został poniżej fragment uszkodzonego uzwojenia wirnika silnika trakcyjnego (rys. 3) oraz przełom uszkodzonych prętów wirnika (rys. 4).

Jednym z przykładów sposobu monitorowania stanu silnika trakcyjnego jest wykorzystanie telemetrycznego, wielokanałowego systemu akwizycji danych umożliwiający monitorowanie pracy maszyn i urządzeń elektrycznych. Urządzenie to może pracować nawet w niekorzystnych warunkach środowiskowych i umożliwia pomiar i zapisanie wyników oraz przesłanie informacji o aktualnym stanie obiektu badań. Możliwe jest rejestrowanie wartości chwilowych, średnich oraz skutecznych mierzonych sygnałów oraz definiowanie wartości progowych, których przekroczenie uruchamia rejestrację parametrów z przekroczonymi wartościami.



Rys. 5. Przebieg czasowy prądów silników podczas rozruchu oraz hamowania dynamicznego [1]

Fig. 5. Timing diagram of motor currents when starting-up and dynamic braking [1]

The data acquisition results reveal differences in the load on individual machines during acceleration and regenerative dynamic braking.

In another paper [2], a measurement was carried out using a laboratory testing kit that allows testing a controlled short circuit state in each stator windings phase. The testing kit consisted of several squirrel-cage rotors with broken bars. The induction motor that was used for error modeling was powered by an inverter controlled with the DS1103 system using dSPACE software. The load inducing machine is controlled by a separate inverter.

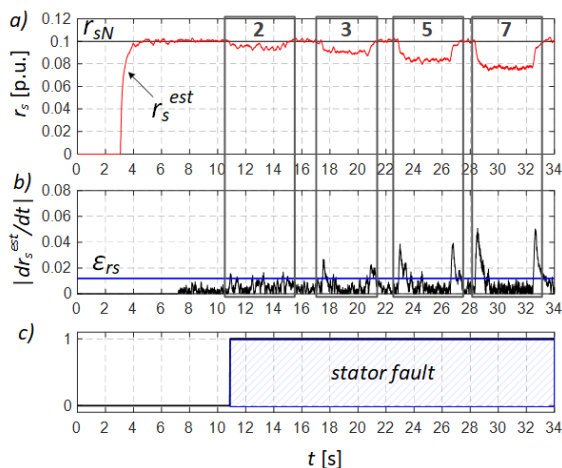
#### Faults in rotor winding

One of the research stages concerned the rotor error detection system. A 2-second parameter was used in the identification algorithm.

Figure 6 shows the estimated resistance values for a healthy and damaged rotor. It is apparent that the rotor resistance increases due to breakage/cracks in the bar/bars. The oscillation amplitudes of the assessed rotor resistance also increase temporarily.

#### Faults in stator winding

In the next research stage, an experimental validation of the stator damage detection system was performed. The system was tested for 2, 3, 5 and 7 shortened windings in phase A. One can notice a rapid decrease in the resistance value of the tested stator due to an inter turn short circuit (Fig. 7).



Urządzenia to wykorzystano m.in. do określenia przyczyn uszkodzania się wirników silników indukcyjnych klatkowych zastosowanych do napędu kolejowych pojazdów szynowych. Przeprowadzono badania w trakcie normalnej eksploatacji pojazdu trakcyjnego.

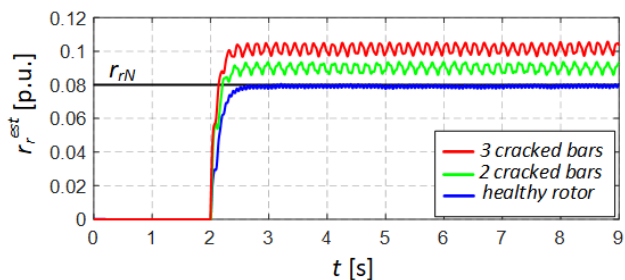
Na rysunku poniżej przedstawiono wyniki rejestracji prądów tej samej fazy dwóch silników zasilanych z tego samego falownika napędzających ten sam zestaw napędowy.

Wyniki rejestracji ujawniają różnice w obciążeniu poszczególnych maszyn podczas przyspieszania i odzyskowego hamowania dynamicznego.

W innej [2] pracy został przeprowadzony test eksperymentalny z użyciem zestawu laboratoryjnego, który umożliwia przeprowadzenie kontrolowanego zwarcia w każdej fazie uzwojeń stojana. Zestaw laboratoryjny składa się z kilku wirników z klatkami z pękniętymi prętami. Silnik indukcyjny, który został zastosowany do modelowania błędów był zasilany z falownika sterowanego z systemem DS1103 przez dSPACE. Maszyna obciążająca jest sterowana przez inny falownik.

#### Usterki uzwojeń wirnika

Jeden z etapów badań dotyczył systemu wykrywania błędów wirnika. Do algorytmu identyfikacji zastosowano parametr 2-sekundowy.



Rys. 6. Szacowane rezystancje uzwojeń wirnika dla sprawnego i uszkodzonego wirnika, wyniki doświadczalne [2] (opis: cracked bars – pręty pęknięte, healthy rotor – wirnik sprawny)

Fig. 6. Estimated rotor winding resistances for a healthy and damaged rotor, experimental results [2]

Rysunek 6 pokazuje szacowanych rezystancji dla wirnika sprawnego i uszkodzonego. Można łatwo zauważyć, rezystancja wirnika wzrasta z powodu pęknięcia/pęknięć pręta/prętów. Amplitudy oscylacji rezystancji ocenianego wirnika również przejściowo rosną.

#### Usterki uzwojeń stojana

W kolejnym etapie została przeprowadzona eksperymentalna walidacja systemu wykrywania uszkodzeń stojana. System był testowany dla 2, 3, 5 i 7 skróconych zwojów w fazie A. Można zauważyć gwałtowne zmniejszanie wartości rezystancji badanego stojana z powodu zwarcia międzyzwojowego (rys. 7).

Rys. 7. Rezystancja uzwojeń stojana (a) i sygnały detektorów (b, c) podczas zwarcia międzyzwojowego w fazie A [2] (opis: stator fault – uszkodzenie stojana)

Fig. 7. Stator winding resistance (a) and detector signals (b, c) during A phase inter turn short-circuit [2]



Two induction motor failure detection systems have been proposed. The first was intended for detecting broken rotor bars, and the second to allow detecting an inter turn short-circuit in the stator windings. Both systems were based on the assumption that each type of fault in the windings would cause a significant change in the values of the motor internal parameters, therefore the observation and analysis of ongoing changes in these parameters would allow to detect any faults or damage. The estimators of the induction motor parameters were based on the MRAS technique (**Model Reference Adaptive System**) and used to calculate the rotor and stator resistance. The obtained resistance values were then used in simple detection algorithms based on derivative calculations. The data collected from simulation and experimental studies were convergent, which confirms the validity of the proposed systems [2].

An interesting monitoring method, which enables taking preemptive action to prevent the locomotive from becoming immobilized during a transport operation, was developed for the Czech series 757 locomotive modernized by the ZOS Zvolen factory [6].

The diagnostic system that it used enables the commissioning of procedures to remove faults displayed as an error code and facilitates the repair and maintenance of the locomotive.

The diagnostics system monitors the current asymmetry value. High asymmetry can have a significant impact on the connected traction motors. Significant current asymmetry may result in excessive losses in the rotors and stators of the motor and may lead to their complete destruction or the shutdown of the motor as a result of overheating. Although motors are designed with a consideration of a certain asymmetry margin, when a predefined threshold is exceeded, it becomes necessary to reduce the load on the motor or disconnect it from the power supply system entirely. The service life of motors is sharply reduced when high voltage asymmetry is present.

When an error occurs and an error message is displayed, the operator has the option of displaying the error details. These details include an in-depth description of the error that occurred, as well as further instructions on how to rectify the fault or what measures to take to continue safe driving.

The error report is forwarded to the vehicle maintenance crew, who can take action based on the information contained in the report.

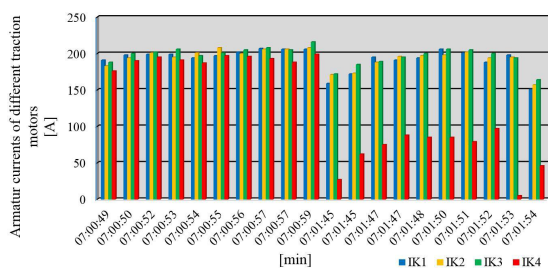


Figure 8 clearly shows that in its first part the rotor currents A graphic representation of such an event is shown in are approximately the same and that the control system shows no failure. Later (07:01:45), there is a clear difference between the currents marked IK1-IK3 compared to the current IK4, indicating the presence of a current asymmetry error. It can be seen that the currents of the 4th motor do not reach the

Zaproponowane zostały dwa systemy wykrywania uszkodzeń silników indukcyjnych. Pierwszy dla wykrywania pękniętych prętów wirnika i drugi dla wykrycia zwarcia międzyzwojowego w uzwojeniach stojana. Oba systemy oparto na założeniu, że każde uszkodzenie uzwojeń powoduje istotną zmianę wartości parametrów wewnętrznych silnika, zatem obserwacja i analiza zmian tych parametrów umożliwia wykrycie uszkodzeń. Estymatory parametrów silnika indukcyjnego oparto na technice MRAS (**Model Reference Adaptive System** - Model Odniesienia Systemu Adaptacyjnego) i zastosowano do obliczenia rezystancji wirnika i stojana. Uzyskane wartości rezystancji są wykorzystane w algorytmach prostego wykrywania opartych na obliczaniu pochodnej. Zgromadzone dane z symulacji i z badań doświadczalnych są zbieżne, co potwierdza użyteczność proponowanych systemów [2].

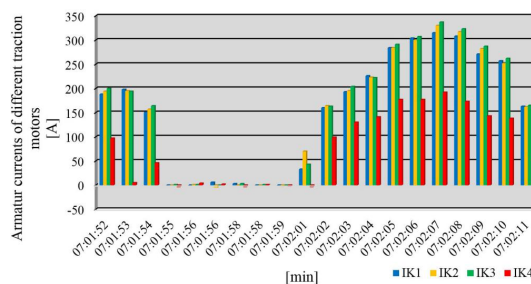
Interesującą metodę monitorowania, umożliwiającą uruchomienie wyprzedzającego działania zapobiegającego unieruchomieniu lokomotywy w trakcie pracy przewozowej, opracowano dla czeskiej lokomotywy serii 757 zmodernizowanej przez fabrykę ZOS Zvolen [6].

Zastosowany w niej układ diagnostyczny umożliwia uruchomienie procedur dla usunięcia uszkodzeń wyświetlonych jako kod błędu i ułatwia naprawę lokomotywy.

Układ diagnostyczny monitoruje wielkość asymetrii prądów. Duża asymetria może mieć istotny wpływ na podłączone silniki trakcyjne. Znacząca asymetria prądów może powodować nadmierne straty w wirnikach i stojanach silnika i może prowadzić do ich całkowitej destrukcji lub wyłączenia przeciążonego cieplnie silnika. Mimo, że silniki są projektowane z marginesem pewnej asymetrii, to gdy wcześniej zdefiniowany próg zostanie przekroczony, niezbędne będzie zredukowanie obciążenia silnika lub odłączenie go od układu zasilającego. Czas życia silników gwałtownie się skraca przy asymetrii wysokiego napięcia.

Gdy pojawi się błąd i zostaje wyświetlona informacja o błędzie, operator ma możliwość wyświetlenia szczegółów błędu. Te szczegóły zawierają pogłębiony opis błędu, który się pojawił, a także dalsze instrukcję jak usunąć usterkę lub jakie środki podjąć dla kontynuowania bezpiecznej jazdy.

Raport o błędzie jest przekazywany przez łącza dalej do załogi odpowiedzialnej za utrzymanie pojazdu, która może podjąć działania oparte na informacji zawartej w raporcie.



Rys. 8. Pojawienie się zakłóceń w napędzie(po lewej). Przebieg uszkodzenia i odblokowania napędu (po prawej) (opis: armatur currents of different traction – prądy twornika różnych się napędów

Fig. 8. The appearance of faults in the drive system (on the left) and the process of failure and unlocking the drive (on the right)

Graficzny obraz zjawiska przedstawiony został na rys. 8. Na rysunku 8 wyraźnie widać, że w jego pierwszej części prądy wirników są w przybliżeniu takie same i że system kontroli nie wskazuje uszkodzenia. Później (07:01:45) pojawia się wyraźna różnica między prądami oznaczonymi IK1-IK3 w porównaniu do

expected value and that the failure manifests itself even after intervention (07:02:01) by the control system.

Current asymmetry can occur as a result of several problems, such as:

- wear and tear of brushes
- deformation of the brush assembly (mechanical damage to ceramic insulators)
- overheating and loosening of the stator poles and their connections.

Modern power electronic components used in rail vehicles are equipped with diagnostic systems that halt the operation of a component in the event where its condition deteriorates, which would risk further degradation until the point of failure. An example of such a device is the Medcom SFT-1800k-3000 traction converter used in the type 111DE locomotive. The trainset includes the following devices: two traction inverters, a PSM-125-SiC static converter, a ZT-1000 rectifier and a ZB24DC400 emergency power supply [3].

e) The traction engine is connected to the traction gear, therefore it is reasonable to assess and forecast the condition of not only the engine itself, but also the entire engine-transmission system.

The functional unit of a type 4E and 201E locomotives engine-transmission system with an EE541b traction engine along with the drive system was selected as the test object for analysis for the research carried out by IPS "Tabor". Symptoms indicative of the technical condition of the assembly, such as thermal condition and vibrations over time for a vehicle in motion, can be used in order to assess its condition in operation. When selecting this model, the following aspects were taken into account:

- the possibility of using the selected model for locomotives of various types
- the possibility of carrying out research on a test stand at IPS "Tabor" in Poznań.

A vibration sensor (accelerometer) located on the bearing housing picked up the vibrations generated by the bearings and gear. The information necessary to accomplish this was obtained from the frequency (spectral) analysis of vibrations obtained from splitting the vibration signal into harmonic components with specific frequencies corresponding to a given damage type. The tests were performed for the entire model (bearing and transmission) as well as for the minimum configuration, meaning only for the traction motor bearing.

For this purpose, a simple model of a rigid bearing single-stage gear with straight teeth was developed. A finite bearing compliance has been assumed, as it does not significantly affect the dynamic phenomena and therefore the bearing can be tested separately.

Guidelines for laboratory tests were developed, the purpose of which was to detect changes in the technical condition in operation, thus indicating the relationship

prądu IK4, wskazując błąd asymetrii prądów. Można zauważyć, że prądy 4-tego silnika nie osiągają oczekiwanej wartości, i że uszkodzenie objawia się nawet po interwencji (07:02:01) systemu sterowania.

Asymetria prądów może być wywołana kilkoma przyczynami, np.:

- zużyciem szczotek
- deformacją montażu szczotek (uszkodzenie mechaniczne izolatorów ceramicznych)
- nadpaleniem i poluzowaniem biegunów stojana i ich połączenia.

Nowoczesne podzespoły energoelektroniczne stosowane w pojazdach szynowych wyposażone są w układy diagnostyczne, zapobiegające eksploatacji podzespołu w sytuacji pogorszenia jego stanu, co prowadziłoby do dalszej degradacji podzespołu. Przykładem takiego urządzenia jest przekształtnik trakcyjny SFT-1800k-3000 firmy Medcom zastosowany w lokomotywie typu 111DE. W skład zespołu wchodzi następujące urządzenia: dwa falowniki trakcyjne, przetwornica statyczna PSM-125-SiC, prostownik ZT-1000 oraz zasilacz buforowy ZB24DC400 [3].

e) Silnik trakcyjny jest ściśle powiązany z przekładnią trakcyjną, dlatego zasadne jest ocenianie i prognozowanie stanu nie tylko samego silnika, lecz także całości jaką stanowi układ silnik – przekładnia.

Jako obiekt do analiz w ramach prac badawczych prowadzonych przez IPS „Tabor” został wybrany zespół funkcjonalny silnik trakcyjny – przekładnia lokomotyw typu 4E i 201E z silnikiem trakcyjnym EE541b jako obiektem prognozowania układu biegowego pojazdu trakcyjnego. Dla oceny jego stanu wykorzystywane mogą być symptomy stanu technicznego zespołu, takie jak stan cieplny i drgania w czasie w ruchu pojazdu. Przy wyborze tego modelu uwzględniono:

- możliwości wykorzystania wybranego modelu do różnych typów lokomotyw
- możliwości realizacji badań na stanowisku badawczym w IPS "Tabor" w Poznaniu.

Czujnik drgań (akcelerometr) na obudowie łożyska odbierał drgania generowane przez łożyska i przekładnię. Niezbędne informacje uzyskano na podstawie analizy częstotliwościowej (widmowej) drgań polegającej na rozłożeniu sygnału drganiowego na składowe harmoniczne o określonych częstotliwościach odpowiadających danym uszkodzeniom. Badania wykonano dla całego modelu (łożysko i przekładnia) i dla konfiguracji minimalnej, tylko dla łożyska silnika trakcyjnego.

Dla postawionego celu opracowano prosty model sztywno ułożyskowanej przekładni jednostopniowej o zębach prostych. Wprowadzono skończoną podatność łożysk, gdyż nie wpływa to w sposób istotny na zjawiska dynamiczne i w związku z powyższym łożysko można badać oddzielnie.



between the features of the transmission system and the vibroacoustic parameters. The dynamic phenomenon assessment was done in conjunction with the typical damage types, which led to the transmission evaluation criteria (frequency bands,  $V_{eff}$ ,  $A_{peak}$ ,  $V_{peak}$ ) being defined [11].

#### 4. Railway vehicle additional equipment

Starting the locomotive drive system requires providing voltage to the traction motors, which takes place by switching on/starting the power supply system, i.e. the pantograph, main switch, power electronic converters as well as so-called linear contactors. The condition for the effectiveness of such a sequence of actions is an efficient, reliable source of energy powering the control and auxiliary circuits, which is typically a battery set. For this reason, it is important to correctly and on an ongoing basis assess its current and predicted condition.

The critical parameters, those whose condition should be monitored in order to maintain the mobility of the vehicle at the required level, in the case of primary and secondary sources of electric energy include:

- the service life of galvanic cells; the expected end-dates of use for each energy source should be entered into the permanent memory of the vehicle control and diagnostics system along with a feedback information reminding about the need to replace the devices with new ones in advance
- number of battery charge/discharge cycles; the number of charges and discharges should be recorded and updated in the permanent memory of the vehicle control and diagnostic system
- temperature increase during operation; the temperature should be monitored continuously and any cases of exceeding the threshold value should be detected, and whenever the limit value is exceeded, the charging should be stopped or the charging/discharging current should be reduced)
- battery charging/discharging voltage and current; if it is found that:
  - charging takes too long (required end voltage cannot be achieved)
  - the charging current is too low
  - there is an unexpected and rapid rise in the temperature of the device
  - the end discharge voltage is too low,

In each such case the charging source should be immediately disconnected and inspected and the entire battery or some of its cells might need to be replaced.

Manufacturers' guidelines should also be entered into the internal memory of charging device drivers and vehicle controllers that supervise the load applied to the energy sources.

Additionally, the batteries included in the auxiliary equipment set should be similarly monitored. In some

Opracowano wytyczne do badań laboratoryjnych, których celem było wykrycie zmian stanu technicznego w procesie jej eksploatacji, wskazując na związki między cechami przekładni, a parametrami wibroakustycznymi. Oceniono zjawisko dynamiczne w powiązaniu z powstającymi typowymi uszkodzeniami, co pozwoliło określić kryteria oceny przekładni (pasma częstotliwości,  $V_{skut}$ ,  $A_{szczyt}$ ,  $V_{szczyt}$ ) [11].

#### 4. Wyposażenie dodatkowe pojazdu kolejowego

Uruchomienie napędu trakcyjnego wymaga podania napięcia silnikom trakcyjnym, w wyniku załączenia/uruchomienia układu zasilania, tj. pantografu, wyłącznika głównego, przekształtników energoelektronicznych oraz tzw. liniowych styczników. Warunkiem skuteczności takiej sekwencji działań jest sprawne, wydajne źródło energii zasilającej obwody sterowania i pomocnicze, jakim jest bateria akumulatorów. Z tego powodu istotna jest prawidłowa, bieżąca ocena jej aktualnego i prognozowanego stanu.

Do parametrów krytycznych, których stan należy nadzorować w celu utrzymania zdolności ruchowej pojazdu na założonym poziomie, w przypadku pierwotnych i wtórnych źródeł energii elektrycznej należą:

- okres użytkowania ogniw galwanicznych; należy wpisać do pamięci nieulotnej systemu sterowania i diagnostyki pojazdu aktualne daty końcowe eksploatacji dla każdego źródła energii i odpowiednio wcześniej informować o konieczności wymiany źródła na nowe
- liczba cykli ładowania / rozładowania akumulatorów; należy odnotowywać w pamięci nieulotnej systemu sterowania i diagnostyki pojazdu liczbę ładowań i rozładowań
- przyrost temperatury podczas pracy; należy mierzyć temperaturę i wykrywać przekroczenie jej wartości progowej, a w razie jej przekroczenia należy przerwać ładowanie lub zmniejszyć prąd ładowania / rozładowania)
- napięcie i prąd ładowania / rozładowania akumulatorów; w razie stwierdzenia, że:
  - ładowanie trwa zbyt długo (nie osiąga się wymaganego napięcia końcowego)
  - prąd ładowania jest zbyt niski
  - następuje podejrzenie szybkiego przyrostu temperatury źródła
  - napięcie końcowe rozładowania jest zbyt niskie,należy niezwłocznie odłączyć źródło ładowania, dokonać przeglądu i ewentualnie wymienić całą baterię lub część jej ogniw.

Wytyczne producentów powinny być wprowadzone do pamięci sterowników urządzeń ładujących i sterowników pojazdu nadzorujących obciążenia źródeł energii.

devices, such as in the electronic driving data recording device type EFA15 by Deuta-Werke, the parameters of its internal battery are monitored, and in the event of detecting that it is in poor technical condition, a signal is given to take preventive actions, in accordance with the instructions, as shown in Fig. 9.

11 Opis charakterystycznych usterek metod ich usuwania

## 11 Opis charakterystycznych usterek metod ich usuwania

### 11.1 Sygnalizacja stanów roboczych (LED)

<p>Dioda pulsuje ciągle na przemian w kolorach zielonym / żółtym:</p> <p>Do wykonania:</p>	<p><b>OSTRZEŻENIE!</b>          Urządzenie EFA15 pracuje poprawnie. Kod pulsowania oznacza, że kończy się żywotność baterii buforującej RTC (jeżeli urządzenie jest wyposażone w buforowany baterią zegar RTC).          Wymienić baterię RTC lub zwrócić się do naszego serwisu.</p>
--	---

Rys. 9. Zalecenie działania w przypadku złego stanu baterii wewnętrznej EFA15

Fig. 9. Recommendation to take action in case of fault detection in the EFA15 internal battery

Predicting the condition of the on-board energy sources is necessary for early detection and to avoid damage to the devices, this reduces the impact of the deteriorating conditions as well as ensures safe and uninterrupted operation of these energy sources.

The criteria for secondary energy sources can also be successfully applied to capacitor energy storage systems. The durability of modern supercapacitors reaches over 106 full charge/discharge cycles, which, assuming 104 cycles per month on average, ensures over 8 years of operation [8].

## 5. An example of a diagnostic system implementation on a traction rail vehicle

An example of an implemented and tested diagnostic system is the EU07A control and diagnostics system for the EU07A locomotive, developed by a team of specialists from the Institute of Rail Vehicles "TABOR", which performs basic control functions, i.e. normal driving or simplified driving [12].

In addition, a **local diagnostics system (driver's operator panels)** was developed and implemented as an element of the control system.

The operator panel is turned on after the locomotive camshaft in a given cabin is engaged. After the system start a welcome screen appears, which also shows initial diagnostics of all the basic elements of the locomotive. When the system detects an error, the message NO DRIVE AUTHORIZATION is displayed.

When all systems are operational, the DRIVE AUTHORIZATION message is displayed and then the **Drive** home screen is displayed, from which it is possible to go to the next screens:

- *Current messages*: preview of current failure states and notifications
- *Options*: selection of additional functions when the locomotive is stationary
- *Miniature circuit breakers*: on (green) or off (red) state of the miniature circuit breakers. The

Podobnie należy monitorować baterie akumulatorów w wyposażeniu pomocniczym. W niektórych urządzeniach, np. w elektronicznym urządzeniu do rejestracji danych jazdy typu EFA15 firmy Deuta-Werke monitorowane są parametry jej akumulatora wewnętrznego, a w przypadku jego złego stanu następuje sygnalizacja o konieczności podjęcia działań zapobiegawczych, zgodnie z instrukcją, jak pokazano na rys. 9.

Prognozowanie stanu pokładowych źródeł energii jest konieczne w celu umożliwienia wczesnego wykrycia lub uniknięcia uszkodzeń, co służy ograniczeniu ich skutków i zapewnia nieprzerwaną eksploatację tych źródeł.

Kryteria dotyczące wtórnych źródeł energii można z powodzeniem zastosować także do kondensatorowych zasobników energii. Trwałość współczesnych superkondensatorów wynosi ponad  $10^6$  pełnych cykli ładowania / rozładowania, co przy założeniu  $10^4$  cykli miesięcznie, zapewnia ponad 8 lat eksploatacji [8].

## 5. Przykład wdrożenia układu diagnostycznego na trakcyjnym pojeździe szynowym

Przykładem wdrożonego i przetestowanego systemu diagnostycznego jest opracowany przez zespół specjalistów Instytutu Pojazdów Szynowych „Tabor” system sterowania i diagnostyki lokomotywy EU07A, który realizuje podstawowe funkcje sterowania, tj. jazdę normalną lub jazdę w trybie uproszczonym [12].

Ponadto opracowano i wdrożono układ **diagnostyki lokalnej (panele operatorskie maszynisty)** jako element systemu sterowania.

Załączenie panelu operatorskiego następuje po załączeniu rozrządu lokomotywy w danej kabinie. Po uruchomieniu systemu pojawia się ekran powitalny będący również ekranem wstępnej diagnostyki wszystkich podstawowych elementów lokomotywy. Gdy system wykryje błąd następuje wyświetlenie informacji BRAK ZEZWOLENIA NA JAZDĘ.

W przypadku gdy wszystkie systemy są sprawne wyświetlona zostaje informacja ZEZWOLENIE NA JAZDĘ, a następnie zostaje wyświetlony ekran główny **Jazda**, a z niego możliwe jest przejście do kolejnych ekranów:

- *Aktualne komunikaty*: podgląd bieżących stanów awaryjnych oraz powiadomień
- *Opcje*: wybór dodatkowych funkcji na postoju lokomotywy
- *Wyłączniki nadprądowe*: stan włączenia (kolor zielony) lub wyłączenia (kolor czerwony) wyłączników nadprądowych. Wyłączniki oznaczone są symbolami wg schematu
- *Diagnostyka świateł pojazdu*: przedstawia w jakiej pozycji są światła reflektorów lokomotywy
- *Tablica pneumatyczna*: przedstawia schemat tablicy pneumatycznej wraz z różnymi wskazaniemami dotyczącymi stopnia hamowania, ciśnień w przewodach hamulcowych, itp.

switches are marked with symbols as shown in the diagram

- *Vehicle headlight diagnostics*: shows the position of the locomotive headlamps
  - *Pneumatic board*: shows a diagram of the pneumatic board with various indicators regarding braking rate, brake line pressures, etc.
  - *System diagnostics*: shows a diagram of the location of the various control system components. In case of any conflict in any of the elements, the block is highlighted in red.
- After selecting the appropriate tab, screens describing the correct operation of the system components are displayed:
- a) vehicle drive system
  - b) the anti-skid system
  - c) pneumatic board
  - d) manipulator control system
  - e) air preparation system
  - f) an auxiliary converter
  - g) speedometer
  - h) LV cabinets.
- *Brake tests*: allows the driver to perform the series of required tests, both for the functioning of the brake itself as well as for the potential pressure drops in the pneumatic system
  - *Error log*: contains messages, a list of possible failures and notifications. Along with the message and the time when it a given event was registered by the system.

The second system that has been developed and implemented was the **remote diagnostics** (HUB diagnostic controller and GSM modem).

GSM modems enable data transmission over a vast area covering the operating range of a given train operator's network. The use of GSM transmission eliminates the need for a delegated employee to be on the vehicle only in order to collect diagnostic data from a vehicle that is often several hundred kilometers away from the company's headquarters. It also allows to minimize costs and reasonably reduce the employees' workload, as the collection of diagnostic data is performed automatically around the clock. All this data is transferred directly to the computer at the dispatcher's central hub or data processing center.

The EU07A locomotive has a permanent built-in GSM modem, thanks to which it is possible to monitor the operation of the entire locomotive control system on an ongoing basis, i.e. a dozen or so controllers exchanging data via the CAN bus.

The addition of prediction capabilities in diagnostic systems depends on the effectiveness of their ability to identify trends and changes in the values of the monitored parameters. The usefulness of various prediction methods for diagnostic systems allows them to be assigned to the following groups:

- classical extrapolation of time series values
- adaptive trend models

- *Diagnostyka układu*: przedstawia schemat rozmieszczenia poszczególnych elementów systemu sterowania. W razie jakiegokolwiek konfliktu któregoś z elementów następuje podświetlenie danego bloku na czerwono.

Po wybraniu odpowiedniej zakładki wyświetlane są ekrany określające poprawność pracy elementów systemu:

- a) napędu trakcyjnego
- b) układu przeciwoślizgowego
- c) tablicy pneumatycznej
- d) sterownika manipulatora
- e) układu uzdatniania powietrza
- f) przetwornicy pomocniczej
- g) prędkościomierza
- h) szafy NN.

- *Próby hamulca*: umożliwia maszyniście przeprowadzenie szeregu wymaganych prób, zarówno samego hamulca jak i szczelności systemu pneumatycznego

- *Rejestr awarii*: zawiera komunikaty, listę ewentualnych awarii i powiadomienia. Wraz z komunikatem zapisany zostaje czas wystąpienia danego zdarzenia.

Drugim opracowanym i uruchomionym układem jest **diagnostyka zdalna** (sterownik diagnostyczny HUB oraz modem GSM).

Modemy GSM umożliwiają przesyłanie danych na rozległym obszarze obejmującym zasięg działania sieci danego operatora. Zastosowanie transmisji GSM eliminuje konieczność przebywania na pojeździe pracownika oddelegowanego jedynie w celu zebrania danych diagnostycznych z pojazdu znajdującego się często kilkaset kilometrów od siedziby firmy. Pozwala on również zminimalizować koszty i racjonalnie wykorzystać czas pracy pracowników, gdyż zbieranie danych diagnostycznych odbywa się automatycznie przez całą dobę. Dane te przekazywane są bezpośrednio na komputer znajdujący się u dyspozytora.

W lokomotywie EU07A zabudowano na stałe modem GSM, dzięki czemu możliwe jest na bieżąco śledzenie działania całego systemu sterowania lokomotywy, tj. kilkunastu sterowników wymieniających dane po magistrali CAN.

Realizacja prognoz w systemach diagnostycznych uwarunkowana jest efektywnością procesu identyfikacji trendu zmian wartości kontrolowanych symptomów. Przydatność różnych metod prognozowania dla systemów diagnostycznych pozwala przypisać je do następujących grup:

- klasyczna ekstrapolacja wartości szeregów czasowych
- adaptacyjne modele trendu
- autonomiczna ekstrapolacja procesów stochastycznych
- modele obserwatora zmian monitorowanego stanu dynamicznego, opisanego stochastycznymi



- autonomous extrapolation of stochastic processes
- observer models of changes in the monitored dynamic states, described by stochastic differential equations
- statistical models of symptomatic changes.

## 6. Conclusion

The available scientific publications broadly describe the progress and results of diagnostic systems research and development works for various components used in rail vehicles. This article is limited to describing just a few examples relating to the electrical systems used in these vehicles. However, it should be emphasized that the mechanical components of rail vehicles and their diagnostics are also the subject of extensive research and analysis.

While the systems for diagnosing the condition of electrical components installed in rail vehicles are already becoming more commonly used, predicting the condition of these components will be in for the near future requires continued research and development in this field as well as the consistent and successive implementation of the obtained results.

- równaniami różniczkowymi
- statystyczne modele symptomatycznych zmian.

## 5. Podsumowanie

Dostępne publikacje naukowe szeroko opisują przebieg i wyniki prac badawczo-rozwojowych dotyczących układów diagnostycznych różnych podzespołów stosowanych w pojazdach szynowych. W niniejszym artykule ograniczono się do opisanie kilku przykładów dotyczących elektrycznych układów tych pojazdów. Należy jednak podkreślić, że mechaniczne podzespoły pojazdów trakcyjnych są także tematem szeroko zakrojonych badań i analiz.

O ile układy diagnozujące stan podzespołów elektrycznych zabudowanych w trakcyjnych pojazdach szynowych są już coraz szerzej stosowane, to prognozowanie przyszłego stanu tych podzespołów wymaga kontynuowania prac badawczo-rozwojowych w tym zakresie oraz ich konsekwentnego i sukcesywnego wdrażania.

## Bibliography / Bibliografia

- [1] Barański M., Decner A., Jarek T., Polak A.: *Autonomous, telemetric, multi-channel system of data acquisition to monitor the traction electric machines*. *Pojazdy Szynowe* nr 4/2016. DOI.org/10.53502/RAIL-138749
- [2] Bednarz S. A., Dybkowski M.: *Induction motor windings faults detection using flux-error based MRAS estimators*. *Diagnostyka*. 2019; vol. 20(2). DOI.org/10.29354/diag/109092
- [3] *Dokumentacja techniczno-ruchowa przekształtników trakcyjnych SFT-1800k-3000*. MEDCOM Sp. z o.o. NL780012, 14.04.2020
- [4] Durzyński Z.: *Diagnozowanie i prognozowanie stanu technicznego podstawowych podzespołów napędu trakcyjnego*. 11<sup>th</sup> International Scientific Conference - Modern Electric Traction. Politechnika Warszawska 2013
- [5] Durzyński Z.: *Katalog uszkodzeń i usterek systemów i układów na tle architektury pojazdu*. *Pojazdy Szynowe* 3/2012 .DOI.org/10.53502/RAIL-139440
- [6] Kašiar L. i inni: *Diagnostics of electric motor of locomotive series 757*. *Diagnostyka*. 2016; 17(3)
- [7] Kowalski S., Sowa A.: *Ocena stanu technicznego agregatów prądotwórczych lokomotyw spalinowych podczas badań na hamowni*. *Pojazdy Szynowe* nr 3/2010. DOI: <https://doi.org/10.53502/RAIL-139725>
- [8] Łastowski M.: *Ocena i prognozowanie stanu pokładowych chemicznych źródeł energii elektrycznej*. *Pojazdy Szynowe* nr 3/2012. DOI.org/10.53502/RAIL-139447
- [9] *Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor — lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej*
- [10] *Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2019/776 z dnia 16 maja 2019 r. zmieniające rozporządzenia Komisji (UE) nr 321/2013, (UE) nr 1299/2014, (UE) nr 1301/2014, (UE) nr 1302/2014 i (UE) nr 1303/2014, rozporządzenie Komisji (UE) 2016/919 oraz decyzję wykonawczą Komisji 2011/665/UE w odniesieniu do dostosowania do dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/797 oraz realizacji celów szczegółowych określonych w decyzji delegowanej Komisji (UE) 2017/1474*
- [11] *Sprawozdanie merytoryczne z wykonanych badań przemysłowych (stosowanych) i prac rozwojowych w ramach projektu rozwojowego Nr R10 0048 06*. <http://www.tabor.com.pl/wp-content/uploads/2013/03/raport-do-Poj-Szyn.pdf>
- [12] Stypka M. i inni: *Układ diagnostyki w systemie sterowania zmodernizowaną lokomotywą EU07A*. *Pojazdy Szynowe* nr 4/2012. doi.org/10.53502/RAIL-139455
- [13] *Szablon dokumentacji systemu utrzymania dla pojazdów kolejowych*. <https://www.utk.gov.pl/pl/aktualnosci/16359,Szablon-dokumentacji-systemu-utrzymania-dla-pojazdow-kolejowych.html?search=367602451>