

*Sprawozdanie merytoryczne z wykonanych badań przemysłowych (stosowanych) i prac rozwojowych w ramach projektu rozwojowego Nr R10 0048 06 pt.:*

**„Mikroprocesorowy system diagnostyczny głównych systemów trakcyjnego pojazdu szynowego uwzględniający ocenę bieżącą i prognozowanie stanów”**

**Zadanie 1: *Analiza wdrożonych systemów sterowań i diagnostycznych. Opracowanie specyfikacji strukturalnej i funkcjonalnej systemu oraz architektury***

1. Przeanalizowano europejskie dokumenty normatywne (normy EN i TSI oraz kart UIC) i zestawiono wynikające z nich wymagania dotyczących systemów sterowania i diagnostyki pod kątem określenia struktury sprzętowej i podstawowych założeń systemu diagnostyki. Zgodnie z tymi dokumentami wymagane są następujące działania diagnostyczne: diagnostyka stanu łożysk osi, monitorowanie obracanie się kół, diagnostyka awarii układu hamulcowego, wykrywanie pożaru, wykrywanie niestateczności i wykolejeń, wykrywanie awarii urządzenia do kontroli czujności maszynisty oraz wykrywanie nadmiernej prędkości.

Ustalono wymagania dotyczące sprzętu elektronicznego instalowanego na podkładzie pojazdów szynowych zawarte w normach europejskich przeanalizowanych w ramach zadania. Wynika z tego, że należy zastosować urządzenia spełniające wymagania tych norm, albo przeprowadzić odpowiednie badania urządzeń wytworzonych w ramach prac rozwojowych.

Stwierdzono ponadto, że także dla oprogramowania sterowników dla pojazdów kolejowych w normach europejskich są zawarte wymagania ich dotyczące.

Istotne będzie zdefiniowanie w kolejnych zadaniach, które dane diagnostyczne będą odbierane i przetwarzane przez system sterowania, a które przez system diagnostyki. Dotyczy to wszystkich danych które dotyczą obydwu systemów.

2. W kolejnym opracowaniu na podstawie przeglądu literaturowego zestawiono i opisano warianty architektury sprzętowej systemu sterowania i diagnostyki pojazdu trakcyjnego umożliwiającej ocenę bieżącą oraz prognozowanie stanów.

System diagnostyki powinien obejmować część sprzętową (sterowniki oraz pozostałe urządzenia związane z realizowaniem diagnostyki połączone siecią komunikacyjną, a także część programową (metody i algorytmy).

Diagnostyka pokładowa powinna opierać się na monitorowaniu funkcji realizowanych przez układ sterowania i określaniu stanu mechanicznych i elektrycznych części najważniejszych podzespołów wchodzących w skład pojazdu, w szczególności sterowników mikroprocesorowych, zarówno wchodzących w skład rozproszonego systemu sterowania jak i innych, istotnych dla funkcjonowania pojazdu.

Zastosowanie w systemie transmisji protokołu CANopen zapewnia wysoki poziom diagnozowania poprawności działania poszczególnych jednostek mikroprocesorowych. Diagnostyka pokładowa powinna obejmować zarówno testy przeprowadzane przed rozpoczęciem jazdy, jak i kontrolę on-line podczas jazdy.

Uporządkowano funkcje diagnostyczne. Informacje diagnostyczne wykorzystywane są na kilka sposobów:

- bezpośrednio do sterowania pojazdem: w przypadku uszkodzenia urządzeń głównych systemów następuje automatyczne zatrzymanie pojazdu
- informacje diagnostyczne istotne dla prowadzenia pojazdu, np. komunikaty o usterkach oraz środki zaradcze, prezentowane są na bieżąco na tzw. panelu operatorskim
- dane diagnostyczne zapisywane są w pamięci nieulotnej, skąd mogą zostać odczytane przez personel warsztatowy, a przy pomocy interfejsu diagnostycznego mogą zostać przeniesione do komputera PC. Umożliwia to dalsze przetworzenie danych i poddanie ich szczegółowej analizie.
- celowe jest wysyłanie informacji o uszkodzeniach z pociągu do zakładów utrzymania taboru drogą radiową. Może odbywać się to automatycznie lub na żądanie obsługi
- możliwa jest również diagnostyka pracy systemu sterowania podczas jazdy, przeprowadzana za pomocą przenośnego komputera PC.

Przedstawiona została struktura rozproszonego mikroprocesorowego systemu diagnostyki pojazdu szynowego, zapewniająca diagnostykę on-line oraz off-line oraz umożliwiającą bezprzewodową transmisję danych diagnostycznych, w której zastosowano redundanтную magistralę pociągu, redundanтную magistralę pojazdu oraz redundanтные sterowniki zapewnia jego wysoką dyspozycyjność.

3. Rozpoznano zagadnienia dotyczące podstaw prognozowania w ujęciu oceny stanu technicznego urządzeń zabudowanych na pojazdach szynowych. W oparciu o literaturę przytoczone zostały definicje prognozowania, podziału metod prognozowania oraz omówiono niektóre z nich. Wymagany poziom niezawodności i bezpieczeństwa współczesnego pojazdu szynowego nie może zostać osiągnięty bez realizacji prac obsługowych, pomimo zapewnienia już na etapie konstruowania spełnienia najwyższych z możliwych wymagań. Ustalenie konkretnej strategii eksploatacji i wybór właściwego systemu obsług zależy przede wszystkim od typu pojazdu. W celu wyznaczenia optymalnego modelu eksploatacji konieczne jest prawidłowe rozpoznanie procesów i zjawisk charakterystycznych dla eksploatacji techniki, ich opisanie z wykorzystaniem odpowiednich narzędzi matematycznych, a następnie przeprowadzenie właściwej oceny eksploatacji w oparciu o wiarygodne metody i wskaźniki.

Systemy elektroniczne wykonane na mikroprocesorach o wysokim stopniu integracji umożliwiają w pełni skuteczną diagnostykę. W systemie rozproszonym układy diagnostyczne zabudowane są w różnych miejscach pojazdu, dla uzyskania optymalnego rozdziału zadań. W pojazdach szynowych układy diagnostyczne podzielone są hierarchicznie na następujące poziomy:

- diagnostyka pociągu
- diagnostyka pojazdu
- diagnostyka podsystemów.

Każdy wynik uzyskany z diagnostyki zawiera następujące informacje:

- kod błędu
- miejsce błędu (pociąg, pojazd, system)
- aktualny stan błędu
- liczbę błędów
- dane dotyczące błędu
- datę i godzinę wystąpienia trwałego lub chwilowego błędu.

4. Układ biegowy pojazdu szynowego wywiera znaczny wpływ na bezpieczeństwo i spokojność jazdy oraz współpracę pojazdu z torem, dlatego istotna jest bieżąca ocena stanu technicznego głównych zespołów układu biegowego, do których można zaliczyć: zestaw kołowy, łożyska osiowe, usprężynowanie I-go stopnia, prowadzenie zestawów kołowych, oparcie nadwozia pojazdu na wózkach, układy przeniesienia sił hamujących oraz układy powiązań międzywózkowych.

Dokonano przeglądu rozwiązań układów diagnostycznych pojazdu szynowego lub/oraz jego komponentów. Do tego typu urządzeń można zaliczyć:

- stanowisko diagnostyczne do badania rozkładu nacisków wózków wagonowych - STOLEM NW
- system wykrywania stanów awaryjnych taboru kolejowego podczas jazdy – ASDEK
- stanowisko diagnostyczne do badania układów hamulcowych elektrycznych zespołów trakcyjnych HADIAG/EZT
- stanowisko diagnostyczne do badania układów hamulcowych wagonów osobowych HADIAG/P i towarowych HADIAG/T
- stanowisko diagnostyczne do badania zaworów rozrządczych i zespołów hamulcowych układu hamulcowego wagonów HADIAG/ZR
- systemy kontroli, oceny stanu technicznego i regulacji zawieszenia taboru kolejowego
- stanowiska diagnostyczne do pomiarów rozkładu nacisków kół i sztywności skrętnej pojazdów szynowych TENSAN/P i TENSAN/P3/L4.

5. Przeanalizowano i opisano metody diagnostyczne części i podzespołów układów biegowych pojazdów trakcyjnych (lokomotywy, zespoły trakcyjne) oraz tocznych (wagony towarowe, wagony osobowe) na etapie wytwarzania i eksploatacji. Przedstawiono również nowe metody diagnostyczne, które mają szanse wdrożenia w niedalekiej perspektywie, a także rozwój metod diagnostycznych dla podzespołów układów biegowych pojazdów szynowych:

- ramy wózka wraz z częściami przyspawanymi (wspornikami)
- zawieszenia pierwszego i drugiego stopnia
- zestawów kołowych wraz z częściami
- stabilizatorów pochylania
- korpusów maźnic zastosowanych w zawieszeniu pierwszego stopnia
- aparatu pociągowego w wózkach trakcyjnych
- elementów do oparcia pudła na wózku lub połączeń wózek-nadwozie

- elementów hamulca
  - łożysk tocznych.
6. Opracowano ogólne wytyczne dla układu diagnostycznego systemu pneumatycznego pojazdów szynowych:
- należy stworzyć program analizujący dane diagnostyczne, który umożliwi automatyczne wykrywanie korelacji między zadanymi sygnałami. Możliwe dzięki temu stanie się szybkie analizowanie obszernych zbiorów danych diagnostycznych.
  - wśród danych powinien się znaleźć czas bezwzględny, który umożliwi łatwiejszą synchronizację danych z ustnym zgłoszeniem nieprawidłowości
  - oprócz danych pozyskiwanych bezpośrednio w trybie pracy on-line należy archiwizować dane związane z liczbą zadziałań aparatów elektrycznych, łączników, przycisków oraz w przypadku ciśnień liczby przekroczeń wyznaczonych wartości granicznych. Umożliwi to ocenę stopnia awaryjności aparatów elektrycznych oraz przetworników ciśnień związanej ze stopniem narażenia. Taka postać danych wymaga dodatkowej wydzielonej pamięci nieulotnej w diagnozowanych sterownikach mikroprocesorowych.
7. Dokonano analizy i oceny aktualnie stosowanych w eksploatacji metod diagnozowania hamulcowego wyposażenia diagnostyczne dominujących w Polsce pojazdów z hamulcami sterowanymi klasycznie. Metody te są niezwykle prymitywne, jak na stan techniki w XXI w., bowiem opierają się do wykorzystywania:
- króćców pomiarowych w wagonach towarowych
  - wskaźników i testerów hamulców w wagonach pasażerskich z hamulcami tarczowymi i hamulcem Mg
  - manometrów zabudowanych na stanowiskach maszynisty w pojazdach trakcyjnych.

Jedynie pojazdy trakcyjne z hamulcami sterowanymi mikroprocesorowo są potencjalnie przygotowane do wykonywania diagnostyki układu hamulcowego w oparciu o urządzenia zabudowane w pojeździe. Zakres prób hamulca realizowanych w tych pojazdach we współdziałaniu maszynisty ze sterownikiem hamulców zależy od oprogramowania diagnostycznego tego sterownika. Istnieją też możliwości rejestrowania wybranych parametrów pracy układu hamulcowego przez sam sterownik hamulców bądź też przez odpowiednie urządzenie mikroprocesorowe podłączone doń za pośrednictwem gniazda diagnostycznego.

Próby układu hamulcowego mają na celu tylko bieżącą ocenę jego stanu. W funkcjonujących systemach diagnostycznych układów hamulcowych nie występuje prognozowanie stanu układu hamulcowego. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że najbardziej zaawansowane układy diagnostyczne układów sterowania hamulcami są wdrażane jedynie w nowoczesnych pojazdach trakcyjnych (lokomotywy i zespoły trakcyjne), które zostały wyposażone w mikroprocesorowe układy sterowania.

**Zadanie 2: Wyznaczenie kryteriów obiektywnej oceny sprawności i prognozowanych stanów dla podstawowych układów pojazdu trakcyjnego na podstawie analizy zmienności w czasie**

### ***makro wybranych parametrów.***

1. Zestawiono wymagania dotyczące parametrów diagnostycznych wybranych podzespołów zawarte w europejskich dokumentach normatywnych (na podstawie norm TSI i EN oraz kart UIC). W opracowaniu określono nie tylko, które podzespoły i funkcje powinny być objęte diagnostyką pokładową, ale także szczegółowe informacje dotyczące podzespołów i funkcji, które powinny zostać poddane diagnostyce, a zwłaszcza określone zostały parametry diagnostyczne poszczególnych podzespołów.

Zarówno system sterowania jak i diagnostyki do właściwego realizowania swoich zadań wymagają znajomości wartości sygnałów analogowych i cyfrowych poszczególnych podzespołów pojazdu, przy czym różne jest wykorzystanie tych sygnałów. System sterowania zasadniczo wykorzystuje sygnały wejściowe do wyznaczania wartości sygnałów sterujących w pętli sprzężenia zwrotnego, system diagnostyki natomiast system diagnostyki wykorzystuje te sygnały w celu określenia stanu diagnozowanego podzespołu. Należy zatem ustalić, czy oba systemy powinny korzystać z tych samych sygnałów, czy też każdy z nich powinien posiadać osobny zestaw czujników.

W obecnej chwili rozwój techniki odbywa się w kierunku coraz bardziej zwiększonej specjalizacji. Poszczególne podzespoły (takie jak np. przetworniki trakcyjne czy system wytwarzania i uzdatniania powietrza) dostarczane są razem z dedykowanymi sterownikami realizującymi zarówno funkcje sterujące jak i diagnostyczne. Czujniki zabudowane na tych urządzeniach często znajdują się w miejscach dostępnych jedynie dla producenta. Jednocześnie właściwości fizyczne tych urządzeń znane są przede wszystkim producentowi.

Powyższe wskazówki powinny być uwzględnione przy projektowaniu struktury sprzętowej systemu diagnostyki oraz oprogramowania zapewniającego komunikację pomiędzy sterownikami wchodzącymi w skład systemu sterowania a systemu diagnostyki.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że w celu realizowania diagnostyki wymaganej przez TSI należy realizować przynajmniej następujące pomiary:

- pomiar przyspieszeń na ramie wózka
- pomiar temperatury łożysk
- pomiar temperatury, przepływu powietrza i stężenia dwutlenku węgla w kabinie maszynisty
- pomiar prądu reflektorów
- pomiar prędkości obrotowych zestawów kołowych pojazdu
- obecność napięcia w określonych punktach układu.

Dodatkowo można rozpatrzeć realizację niezależnego pomiaru prędkości pojazdu przy pomocy urządzenia radarowego albo akcelerometrów.

2. Stwierdzono, że minimalny zestaw zmiennych niezbędny do tworzenia i analizy trendów wynika ze stopnia złożoności parametru oceny opisującego dane zjawisko fizyczne i jest funkcją wielu bezpośrednich danych diagnostycznych oraz czasu.

Wybór sposobu generowania danych na potrzeby analizy trendów zależy od konkretnego rozwiązania. Dla wdrożonych systemów diagnostycznych należy pozyskać parametry oceny ze wspólnego strumienia danych diagnostycznych z naciskiem na automatyzację procesu tworzenia parametrów oceny, analizy trendów i tworzenia raportów, który jest wyjątkowo żmudny i czasochłonny.

W systemach nowoprojektowanych najkorzystniejszym rozwiązaniem jest pozyskiwanie parametrów oceny bezpośrednio z diagnozowanych elementów pojazdu. Konieczność dodatkowego zastosowania lokalnych modułów tworzenia i zapamiętywania parametrów oceny przy szybkim rozwoju nowoczesnych technologii automatycznego zbierania i gromadzenia ogromnych ilości informacji, przestanie wkrótce być ograniczeniem stosowania tego rozwiązania.

3. Opracowano katalog typowych uszkodzeń i defektów podzespołów i układów. Ujęto w nim zespoły, uwzględniając: parametry diagnostyczne, skutki przekroczenia wartości granicznych oraz aspekt użytkowania, wg poniższego zestawienia:

- uszkodzenie koła zestawu kołowego
  - poligonizacja – zmiana kształtu koła
  - płaskie miejsce – zmiana kształtu
  - zmiana zarysu koła - zużycie
  - pęknięcia koła
- uszkodzenia łożysk tocznych
  - łożyska toczne maźnic
  - łożyskowanie toczne wału elektrycznego silnika trakcyjnego z osadzonym zębniakiem
  - łożyskowanie toczne dużego koła zębatego na piaście przekładni (lok. EP09)
  - łożyskowanie toczne zawieszania silników trakcyjnych
- uszkodzenie łożysk ślizgowych
- uszkodzenia przekładni
- uszkodzenie wózka.

Katalog typowych uszkodzeń i defektów podzespołów i układów musi być opracowany dla każdego typu pojazdu.

4. Wyznaczono kryteria oceny stanu przekładni zębatach przy wykorzystaniu nowoczesnych metod prognozowania diagnostycznego.

Wybór metody diagnostycznej zależy od funkcji i stopnia złożoności (ilości wewnętrznych powiązań) obiektu. W obiektach z małą ilością występujących powiązań wystarczy niewielka ilość badanych parametrów. Przy dużej ilości powiązań zachodzi potrzeba wykorzystywania metod czasami niezwiązanymi bezpośrednio z przeprowadzanymi pomiarami.

Zastosowanie jednoznacznych kryteriów opisujących stan urządzeń w diagnozowaniu obiektów nie jest możliwe do zrealizowania w sposób uniwersalny. Na podstawie cech i opisów stanów diagnostycznych w celu wyboru właściwej metody oceny stanu diagnostycznego obiektu można wykorzystać wiele metod diagnostycznych. W związku z rosnącymi możliwościami poznawania

stanów diagnostycznych wykorzystujących różne dyscypliny naukowe można wybrać najbardziej odpowiadającą procedurę opisującą stan eksploatacyjny urządzenia.

Wybór metod diagnozowania stanów przekładni zębatych wykorzystywanych powszechnie między innymi przy napędach pojazdów szynowych wymaga dokładnego przeanalizowania konstrukcji oraz analizy wzajemnego oddziaływania na siebie elementów przekładni (łożyska, sprzęgła, wały, koła zębate, korpus).

Dobór cech diagnostycznych w diagnostyce zorientowanej na uszkodzenia, przy założeniu możliwości jednoczesnego występowania wielu uszkodzeń, jest zagadnieniem niezwykle skomplikowanym.

Najbardziej miarodajnymi parametrami diagnostycznymi dla układów przekładni zębatych są pomiary drgań. Wybór punktów pomiarowych drgań muszą wykazywać wzajemne korelacje.

Z rozpoznanych różnorodnych metod diagnostycznych wnioskować można, że możliwa jest precyzyjna diagnostyka w każdej fazie eksploatacyjnej przekładni zębatych.

W pojazdach szynowych będących w ruchu w celu precyzyjnego ustalenia stanu pracy przekładni niezbędne okazują się metody automatycznego zbierania informacji i jej bezpośredniego przetwarzania, wiąże się to bowiem z faktem powstających w pobliżu przekładni różnego rodzaju zakłóceń sygnału pochodzących zarówno od urządzeń instalowanych bezpośrednio w pobliżu przekładni (np. silnik elektryczny, sprzęgło elastyczne napędu, łożyska osiowe itp.) jak i innych czynników zakłócających ustalony sygnał diagnostyczny (np. wymuszenia od współpracy pojazdu z torem, urządzeń znajdujących się na pojeździe-silnika spalinowego). Wszystkie te zakłócenia powinny być brane pod uwagę przy sporządzaniu „decyzji diagnostycznej” określającej stan pracy przekładni zębatej.

Niewątpliwą trudnością w ocenie diagnostycznej układu okazuje się być połączenie wiedzy z kilku niezależnych dziedzin nauki (eksploatacja, trybologia, pomiary wielkości fizycznych, wnioskowanie matematyczne), które muszą razem dawać spójny system oceniający bieżący stan przekładni trakcyjnej pojazdu szynowego.

5. Przeprowadzona została analiza stanów awaryjnych rozproszonego mikroprocesorowego systemu sterowania hamulcami elektrycznego zespołu trakcyjnego. Zestaw sygnałów diagnostycznych na każdym wyjściu zawiera identyczne dane z wszystkich tablic układu sterowania hamulcem. Budowa układu umożliwia również bezprzewodową transmisję danych diagnostycznych poprzez dodanie do dowolnego wyjścia diagnostycznego modułu transmisyjnego.

Jednymi z istotniejszych ze względu na bezpieczeństwo elementów układów hamulcowych oprócz sterowania są układy wykonawcze, np. układ pary czarnej koło-klocek. Przeanalizowano metody diagnozowania on-line grubości klocka. Jedną z nich jest metoda akustyczna. Z uwagi na plan opracowania numerycznego modelu zjawiska emisji fali akustycznej wskutek tarcia powierzchni koła i klocka podczas hamowania, konieczne było uwzględnienie kombinacji wielu czynników mających na nie bezpośredni wpływ. Dalszym celem będzie dopracowanie modelu metody numerycznej i badawczej oceny stanu zużycia klocków na podstawie, skorygowanie

modelu, znalezienie zależności pomiędzy symulacją a badaniem stanowiskowych oraz dobór wszystkich zmiennych parametrów badań stanowiskowych

6. Kolejnym wykonanym zadaniem w ramach etapu było wskazanie elementów krytycznych w eksploatacji napędów elektrycznych oraz sposobów oceny ich kondycji. Napędy elektryczne (silniki trakcyjne i napędów pomocniczych: wentylatorów, sprężarek, pomp, generatory w pojazdach spalinowych) są istotnymi elementami w pojeździe szynowym, więc wczesne wykrycie lub uniknięcie uszkodzeń posłuży do ograniczenia ich skutków i obniżenia kosztów eksploatacji pojazdu.

Do elementów krytycznych, których stan należy nadzorować w celu utrzymania zdolności ruchowej pojazdu na założonym poziomie, w przypadku napędów elektrycznych należą:

- motogodziny
- przyrost temperatury podczas pracy
- wzrost hałasu i wibracji oraz temperatury towarzyszące:
  - zużyciu smaru w łożyskach
  - zużyciu elementów łożysk.

7. Jako wstępny przykład opracowano i opisano algorytm diagnostyki reflektorów pojazdu szynowego oraz wymagania sprzętowe (ilość i rodzaj wejść i wyjść) w odniesieniu do sterownika, który realizowałby taką ocenę.

Diagnostyka reflektorów będzie bazować na następującej zależności: gdy zasilimy dane źródło światła i jest ono sprawne to w jego obwodzie popłynie prąd o odpowiedniej wartości. Jako źródła światła w pojazdach szynowych zazwyczaj stosuje się żarówki, chociaż coraz częściej producenci wyposażają tabor kolejowy w lampy LED.

Przedstawiono algorytm oceny sprawności źródeł światła reflektorów czołowych pojazdu szynowego. Przedstawiono wymagania co do ilości i rodzaju wejść i wyjść sterownika mikroprocesorowego realizującego taką ocenę oraz sposób włączenia układu diagnostycznego w obwody świateł zewnętrznych pojazdu. Zaproponowano również różne warianty konfiguracji systemu diagnostycznego.

**Zadanie 3: *Studium dostępnych na rynku elementów systemu (czujników, przetworników, procesorów sygnałowych, kart pomiarowych) niezbędnych do zbudowania narzędzi do analizy***

1. Dokonano przeglądu i zestawiono czujniki przyspieszenia jako elementy do budowy systemu monitorowania i diagnostyki pojazdów trakcyjnych. Będzie ona podstawą wyboru konkretnych typów akcelerometrów dla diagnozowania wskazanych elementów pojazdu. Uwzględniono następujące kryteria wyboru:
- zakres mierzonych przyspieszeń
  - dokładność
  - odporność na udary mechaniczne
  - napięcie zasilania



- pobór prądu
- rodzaj interfejsu
- cena.

W pomiarach położenia lub przyspieszenia stosowane są akcelerometry. Współczesne akcelerometry należą do jednych z najbardziej zaawansowanych układów elektronicznych, bowiem współczesne układy łączą w sobie mikromechaniczne układy czujnika z elektroniką przetwarzającą sygnał z czujnika. Tego typu układy należą do tzw. układów MEMS (Mikro Elektro Mechanical System).

Możliwości pomiaru przyspieszenia umożliwia stosowanie tego typu układów do pomiaru takich parametrów jak: przechył, nachylenie, drgania, udary, ruch liniowy i obrotowy, grawitacja.

Akcelerometry są aktualnie stosowane w bardzo wielu urządzeniach mechanicznych, jak np.: robotyka – układy równoważenia, nawigacja, symulatory jazdy – układy wychylenia w systemach sterowania, czujniki udarów i wstrząsów w przemyśle samochodowym, układy alarmowe, monitorowanie kolizji, narzędzia do pomiaru położenia, medycyna, seismologia oraz autopiloty w lotnictwie.

2. Opracowano założenia do budowy modelu dla symulacji zużywania się żeliwnych i kompozytowych klocków hamulcowych na podstawie analizy częstotliwości emitowanej fali akustycznej podczas hamowania.

Wstępne analizy przeprowadzono dla trzech grubości klocka 60, 30 i 10 mm. Model geometryczny klocka i koła wykonano w programie Solid Works, po czym zaimportowano go do programu ABACUS, gdzie zadano warunki zamocowania, kontaktu i obciążeń oraz przeprowadzono analizę numeryczną (modalną). Stwierdzono występowanie charakterystycznych częstotliwości, jednak wskazanie tej (tych) które odpowiadają grubości (wielkości zużycia) wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań.

Opracowana wstępna koncepcja modelu i uzyskane na jego bazie wyniki symulacji pozwalają stwierdzić, że możliwe jest prognozowanie stopnia zużycia klocka hamulcowego na podstawie analizy charakterystyki lub widma jego drgań. Zarówno przedstawiony sposób numerycznego ujęcia problemu jak i osiągnięte wyniki są wstępne. Konieczne jest więc przeprowadzenie dodatkowych uszczegółowionych badań na stanowisku badawczym przy uwzględnieniu parametrów takich jak:

- temperatura pary ciernej
- średnica koła
- prędkość poślizgu
- nacisk koła na klocek (niski, średni, wysoki).

Wyniki tych prób dostarczą danych niezbędnych do weryfikacji modelu numerycznego i będą stanowiły podstawę do jego dalszej modyfikacji a w konsekwencji opracowania ostatecznej wersji metody.

3. Dokonano przeglądu metod i narzędzi pomiarowych stosowanych do diagnozowania elemen-

tów różnego rodzaju konstrukcji, w tym pojazdów szynowych. Analizie poddano:

- metody termograficzne
- metodę optyczną
- metodę propagacji fal sprężystych
- zjawiska akustyczne w układzie par ciernych
- metodę wibroakustyczną
- metody symulacyjne.

Przedstawione metody i wskazane niektóre narzędzia pomiarowe mogą być wykorzystane głównie do diagnozowania stanu bardziej złożonych układów pojazdów szynowych, np. układ biegowy obejmujący oprócz ramy wózka także inne podzespoły i mechanizmy. Obiecujące w tym obszarze badań wydaje się być wykorzystanie zjawisk akustycznych do oceny zużycia klocków hamulcowych, będących istotnym elementem systemu hamowania zabudowanego na wózku. Jako element zużywający się w sposób naturalny w procesie eksploatacji pojazdu szynowego podlega wnikliwemu nadzorowi w zakresie zużycie do grubości minimalnej, zapewniającej właściwe parametry procesu hamowania.

**Zadanie 4: „Opracowanie i wykonanie laboratoryjnego modelu systemu diagnostycznego w wersji struktury ograniczonej”.**

1. Opracowano laboratoryjny model mikroprocesorowego układu diagnostycznego do pomiaru temperatury łożysk silników trakcyjnych. Temperatura łożysk jest jednym z kryteriów oceny stanu silnika, który należy nadzorować w celu utrzymania zdolności ruchowej pojazdu na założonym poziomie. Przedstawiony laboratoryjny model mikroprocesorowego układu diagnostycznego do pomiaru temperatury łożysk silników trakcyjnych może być wykorzystany w pokładowych układach sterowania i diagnostyki pojazdów trakcyjnych. Umożliwia to opracowana struktura i elementy składowe modelu, które są przeznaczone wprost do zastosowań w taborze szynowym
2. W ramach zadania opracowano i wykonano model systemu diagnostycznego w wersji struktury ograniczonej, tzn. zawierającego wszystkie elementy występujące w strukturze pełnej, ale w minimalnej liczbie umożliwiającej przetestowanie ich funkcji. Model został opracowany i wykonany zgodnie z założeniami opracowanymi w poprzednich zadaniach projektu.

Skonfigurowany został sprzętowy hierarchiczny model systemu diagnostyki (na poziomie pociągu i pojazdu), realizujący wymagane funkcje diagnostyczne. Model odzwierciedla strukturę sterowników i sieci komunikacyjnej rozproszonego systemu sterowania, wykorzystywaną przez system diagnostyczny oraz dodatkowo zawiera sterowniki, urządzenia i magistrale przeznaczone wyłącznie dla tego systemu. Sieć komunikacyjna pociągu odzwierciedla strukturę diagnostyki i składa się z magistrali pociągu, magistrali i dwóch magistrali lokalnych: CAN i RS-232.

Komunikację po magistrali pociągu zrealizowano w standardzie CAN Powerline, natomiast komunikację w ramach magistral pojazdu zrealizowano zgodnie z protokołem CANopen. Opracowany i zestawiony w ramach niniejszego projektu model systemu diagnostycznego w wersji struktury ograniczonej umożliwia wszechstronne zbadanie funkcjonalności diagnostyki z wyko-

rzystaniem stosunkowo niewielkiej liczby sterowników.

3. Prowadzono prace dla rozpoznania fali akustycznej, jako efektu współpracy dwóch powierzchni. Jak wynika z praktyki eksperymentalnej mogą one potwierdzać prawidłowość bądź występowanie zakłóceń we współpracy tych elementów. Potwierdzono badaniami opracowanego modelu, że jest to szczególnie widoczne w przypadku par ciernych i emitowanego przez nie dźwięku, który poddany odpowiedniej analizie może okazać się bardzo pomocnym narzędziem do ustalenia stopnia zużycia elementów pary ciernej.

Opracowano, na tym etapie uproszczony model, w którym następowało odrywanie się klocka od powierzchni tocznej koła. Także wywołane siłą docisku naprężenia kontaktowe nie rozkładają się równomiernie na całej powierzchni klocka, lecz koncentrują się w pewnych strefach. Położenie tych stref w poszczególnych krokach analizy ulega pozornej zmianie. Wymagane jest zatem w następnych pracach w ramach projektu wprowadzenie zmian w modelu w zakresie opisu matematycznego strefy kontaktu pomiędzy klockiem a kołem oraz warunków zamocowania elementów układu.

4. Równolegle prowadzono badania stanowiskowe z klockami P10 (w skali 1:1 tj. z uwzględnieniem bezwładności masy pojazdu szynowego) w Laboratorium Badań Pojazdów Szynowych IPS „Tabor”.

Na podstawie uzyskanych wyników potwierdzono, że wraz ze zmianą grubości klocka amplituda widma akustycznego maleje, co jest zwłaszcza widoczne dla charakterystycznego zakresu częstotliwości. Wyprowadzono także wniosek, że dla klocków kompozytowych analiza wyników będzie wymagała zastosowania bardziej precyzyjnych metod pomiarowych, np. mikrofonu kierunkowego lub laserowego miernika drgań.

Uzyskane wyniki posłużą także do weryfikacji niżej opisanego matematycznego modelu układu koło-kłoczek do symulacji zjawisk akustycznych podczas hamowania pojazdu.

5. Opracowane zostały szczegółowe wytyczne do zbudowania modelu układu diagnostycznego tak skomplikowanego systemu jakim jest napęd trakcyjny, który jest ponadto najbardziej odpowiedzialny w sensie bezpieczeństwa. Uwzględniono szereg elementów, jak: płaskie miejsca i poligonizacja kół, strukturę maźnic, łożyskowanie silnika, konstrukcję przekładni trakcyjnej. Przedstawiono, na podstawie rysunków konstrukcyjnych, obiektywne kryteria do oceny stanu do uwzględnienia w modelu diagnostycznym.

6. Zostały uruchomione w szerokim zakresie prace przy budowie modelu systemu wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza, zasilającego układ hamowania, jest który odpowiada za bezpieczeństwo całego systemu kolejowego.

Układ wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza, w celu jego automatycznego diagnozowania musi być wyposażony w moduł mikroprocesorowy współpracujący z czujnikami stanów. Przeprowadzono dobór takich czujników, biorąc pod uwagę ich parametry techniczne oraz niezawodność.

Opisane zostały kluczowe parametry na podstawie których można wnioskować o stanach urzą-

dzeń wchodzących w skład zespołu. Wskazano pomiary wielkości fizycznych układu i rodzaje czujników służących do diagnozowania jego pracy.

7. Opracowano laboratoryjne modele dwóch systemów do diagnozowania stanu układów sterowania hamulcami pojazdów trakcyjnych. Pierwszy z tych systemów będzie wykorzystany do wykonywania stanowiskowych prób odbiorczych układów i urządzeń sterowania hamulcami i rozrządem sprężonego powietrza w lokomotywach, opracowanych i wykonanych jako tablice pneumatyczne. Będzie służył do kompleksowo wykonywanych prób odbiorczych
- Drugi system, po zainstalowaniu w lokomotywie wyposażonej w taką tablicę pneumatyczną, umożliwi diagnozowanie bieżącego stanu układu sterowania hamulcami i rozrządem sprężonego powietrza podczas eksploatacji lokomotywy.

Przedstawione laboratoryjne modele systemów diagnostycznych są podstawą do opracowania i wdrożenia kompleksowego systemu diagnostycznego lokomotywowych układów sterowania hamulcami, który wykorzystując technikę mikroprocesorową umożliwi:

- dokładne sprawdzenie wszystkich układów tablicy pneumatycznej podczas prób stanowiskowych wykonywanych przed jej zabudową w lokomotywie (to jest po wyprodukowaniu tablicy lub po wykonaniu jej naprawy okresowej),
- systematyczne sprawdzanie najważniejszych funkcji realizowanych przez tablicę pneumatyczną lokomotywy.

Zapisywanie wyników prób układu hamulcowego lokomotywy wraz z ich oceną i ich archiwizacja umożliwi wykrycie i śledzenie ewentualnych zmian w parametrach pracy tablicy pneumatycznej. Na tej podstawie możliwe będzie prognozowanie momentu, w którym określony parametr osiągnie wartość graniczną wynikającą z wymagań dotyczących funkcjonowania układu hamulcowego lokomotywy.

8. W ramach tego zadania jedna z prac obejmowała model laboratoryjny mikroprocesorowego układu diagnostyki reflektorów. Wykonano szereg zadań szczegółowych, jak:
- schemat elektryczny włączenia układu diagnostycznego w obwody reflektorów pojazdu
  - program realizujący algorytm oceny sprawności reflektorów
  - kilka wariantów realizacji sprzętowej układu
  - kilka sposobów wizualizacji stanu reflektorów dla obsługi pojazdu
  - oraz charakterystykę zastosowanych sterowników mikroprocesorowych.

W pracy tej wykorzystano opracowany we wcześniejszym zadaniu projektu algorytm oraz wstępne wymagania dotyczące sprzętu w układzie kontroli.

#### **Zadanie 5: „Opracowanie algorytmów obiektywnej oceny aktualnej sprawności i prognozowanego stanu wybranych układów pojazdu trakcyjnego”.**

1. Opracowano ogólne wytyczne do szczegółowych analiz konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych układów napędowych, co pozwoli na określenie zakresu niezbędnych procesów diagnostycznych podzespołów tego układu.

Wynikiem pracy jest także wyznaczenie kryteriów obiektywnej oceny sprawności i prognozowa-

nych stanów dla podstawowych układów pojazdu trakcyjnego na podstawie analizy zmienności w czasie makro wybranych parametrów.

2. Newralgicznym elementem pojazdu szynowego, decydującym o bezpieczeństwie eksploatacyjnym pojazdu szynowego jest oś zestawu kołowego. Element ten jest uznawany jako najbardziej obciążony w eksploatowanym pojeździe kolejowym, stąd nauka poświęca wiele uwagi metodom jego diagnozowania.

Z opisanych w literaturze metod teoretycznych i doświadczalnych wynika, że określanie wieku zestawów kołowych jako kryterium kwalifikacji jest pozbawione sensu technicznego. Bardziej obiecujące są techniki prognozowania oparte na ustaleniu rzeczywistej granicy zmęczenia opartej o realne siły występujące w eksploatacji. Jednym z kryteriów oceny stanu osi może być jej przebieg kilometrowy, który powiązany z rzeczywistym zespołem obciążeń, działającym na oś zestawu kołowego może być podstawą oceny. Stąd dla celów oceny wynika konieczność rejestracji rzeczywistego widma obciążeń, o które powinien zabiegać właściciel pojazdu oraz infrastruktury. Kolejną elementem decydującym o ocenie osi zestawów kołowych są badania niszczące. Ważna jest częstość wykonywania badań kontrolnych, aby można było wystarczająco wcześnie wykryć pęknięcie zmęczeniowe.

3. Opracowane zostały wytyczne do prognozowania stanu tzw. osi „staro-użytecznych” umożliwiającego ich dalszą bezpieczną eksploatację w pojazdach tocznych (wagonach towarowych oraz osobowych) oraz napędnych (w zespołach trakcyjnych oraz lokomotywach)

Oś „staro-użyteczną” zdefiniowano następująco:

- była w sposób ciągły, przez wiele lat użytkowana w pojazdach trakcyjnych lub tocznych
- przebieg jej eksploatacji jest udokumentowany.

Wykazano, że dla odpowiedzialnego prognozowania stanu osi należy wykonać odpowiednimi narzędziami co najmniej następujące procedury:

- kontrolę wizualną
- sprawdzenie geometrii
- badania ultradźwiękowe
- badania magnetoskopowe.

4. Kolejnym elementem układu biegowego wziętym jako obiekt badań był węzeł łożyskowy (maźnica). Przedstawiono jego charakterystykę oraz kryteria oceny jego stanu zawarte w kartach UIC oraz odpowiednich normach. Dodatkowo przy analizowaniu czynników wpływających na stan łożysk tocznych, przedstawiono metody wyznaczania trwałości łożysk oraz scharakteryzowano symptomy oraz typy uszkodzeń łożysk.

W celu obiektywnej oceny sprawności łożyska na podstawie stałego monitorowania tych parametrów pracy łożyska należy wziąć pod uwagę następujące zjawiska:

- temperaturę
- hałas
- poziom drgań.

W przypadku drgań i hałasu określenie zdolności łożyska wymaga stosowania odpowiednich urządzeń pozwalających na filtrację sygnałów wibroakustycznych w odpowiednich pasmach. Wyniki badań hałasu lub drgań mierzone przy węźle łożyskowym mogą być obciążone wpływem tła, którego źródłem mogą być inne elementy konstrukcyjne pojazdu trakcyjnego, co powoduje konieczność odpowiedniego filtrowania zmierzonego sygnału.

Prawidłowa dobór łożyska, uwzględniający konstrukcję jego korpusu, warunki pracy i żywotności oraz dobór odpowiedniego smarowania przyczynią się do zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia awarii pojazdu.

Celowe jest wbudowanie elementów monitorujących stan łożyska już na etapie projektowania, wtedy ważne parametry pracy węzła maźniczego, takie jak drgania i hałas, mogą być monitorowane w sposób ciągły. Ekonomicznie uzasadnione jest stosowanie ww. środków zapobiegawczych w celu uniknięcia niespodziewanej i kosztownej awarii.

5. Kolejnym elementem układu biegowego pojazdu jest układ wykonawczy hamulca, a w nim klocek hamulcowy. Sprawność układu hamulcowego jest jednym z najistotniejszych czynników wpływających na bezpieczeństwo jazdy. Opracowano algorytmy oceny bieżącego stanu i prognozowania zużycia klocka hamulcowego w oparciu o wyniki eksperymentalne i analizę numeryczną. Znane z literatury dane empiryczne określają średni stopień zużycia powierzchni klocka w normalnych warunkach eksploatacji jako 9 mm/10.000 km. Niewłaściwe lub zbyt późne zdiagnozowane zużycie klocków hamulcowych przyczynia się nie tylko do pogorszenia efektywności hamowania, ale również może powodować powstawanie uszkodzeń na powierzchni koła. Opracowano algorytmy do eksperymentalnego badania bieżącego stanu zużycia powierzchni klocka w celu przeprowadzenia szeregu prób stanowiskowych, w których pomiarowi będą podlegały:

- grubość klocka
- siła docisku klocka do powierzchni koła
- bieżąca prędkość koła
- bieżąca wartość współczynnika tarcia
- amplituda i częstotliwość fali akustycznej emitowanej przez parę cierną koło klocek.

Zmierzenie tych wielkości oraz określenie ich wzajemnego skorelowania stanowi podstawę do określenia eksperymentalnej zależności częstotliwości i amplitudy emitowanej fali akustycznej od grubości i materiału klocka.

Rozważane były dwa typy klocków: żeliwne P10 i kompozytowe, a w obrębie każdego z nich trzy grubości odpowiadające skrajnym stanom zużycia.

6. Zakończono prace przy mikroprocesorowym układzie sterowania i diagnostyki układu wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza dla pojazdów szynowych zwłaszcza pod kątem przyszłego wykorzystania w modernizowanych lokomotywach i elektrycznych zespołach trakcyjnych.

Opracowana została struktura i zasada działania układu diagnostycznego oraz sposób włącze-

nia układu w sieć sterowania lokomotywy. Opracowany układ charakteryzuje się elastycznością pozwalającą na łatwą do wdrożenia zmianę oprogramowania sterownika w zależności od wymagań stawianych przez użytkownika. Posiada on również możliwości programowania wartości dopuszczalnych, wizualizację przekroczenia tych stanów oraz generowania i wysyłania sygnałów cyfrowych bądź analogowych, informujących o zaistniałych przekroczeniach poziomów granicznych oraz o stanie bieżącym. Sygnały wysyłane po magistrali do sterownika centralnego mogą stanowić dodatkowe źródło informacji w systemie zabezpieczeń. Przekroczona temperatura oleju sprężarki może świadczyć np. o złym sterowaniu lub uszkodzeniu elementów załączających (styczniki). W tym przypadku można mówić o diagnostyce eksploatacyjnej, którą charakteryzują dwa typy informacji:

- istotne dla maszynisty (diagnostyka on line)
- ważne dla obsługującego pojazd: lokalizacja uszkodzenia, określenie przyczyny uszkodzenia i dane niezbędne do naprawy.

7. Przedmiotem kolejnej pracy były algorytmy oceny i prognozowania stanu urządzeń do wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza stosowanych w pojazdach trakcyjnych zastosowane w modelu opracowanym we wcześniejszym zadaniu projektu. Dotyczą one podstawowych urządzeń i parametrów systemu wytwarzania sprężonego powietrza, jak poziom oleju, grzałka oleju, filtr powietrza i osuszacz.

Przedstawione algorytmy zostały wykorzystane w programie sterującym pacą układu wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza i zostaną zweryfikowane podczas badań laboratoryjnych modelu układu.

8. Opracowane zostały także algorytmy dwóch systemów diagnozowania stanu układu sterowania hamulcami i rozrządem sprężonego powietrza zintegrowanego w postaci lokomotywowej tablicy pneumatycznej o budowie modułowej. Modele laboratoryjne obu tych systemów opracowane zostały w ramach innego zadania. Algorytmy stanowiskowego systemu diagnostycznego umożliwiają dokładne sprawdzenie funkcjonowania wszystkich układów tablic pneumatycznych o budowie modułowej przeznaczonych do pojazdów trakcyjnych. Algorytmy te przewidziane są dla prób odbiorczych tablic po ich wyprodukowaniu i dla tablic poddawanych naprawom okresowym przewidzianym w ich dokumentacjach techniczno-ruchowych.

W odróżnieniu od dotychczasowych układów diagnostycznych nastawionych tylko na wykrywanie nieprawidłowości w działaniu sprawdzanych układów pojazdu trakcyjnego, opracowany system po jego uruchomieniu w lokomotywie umożliwi śledzenie powolnych zmian wartości parametrów pracy układu hamulcowego i prognozowanie czasu, po którym dany parametr przekroczy dopuszczalną wartość na podstawie linii trendu. Umożliwi to wyprzedzająco wyłączyć pojazd z eksploatacji zanim nastąpi przekroczenie granicznych wartości istotnych parametrów hamulca.

Zastosowanie opracowanych algorytmów do systemu diagnostycznego w dostatecznie dużej liczbie pojazdów umożliwi też określenie, po jakim przebiegu zaczynają występować nieprawi-

długości w pracy systemu sterowania hamulcami; a to da podstawę do ewentualnej weryfikacji dotychczasowych wymagań dotyczących przebiegu lub czasu pracy pojazdów pomiędzy ich naprawami okresowymi. Dzięki zaproponowanemu systemowi diagnostycznemu zapewniony zostanie większy poziom bezpieczeństwa, a koszty przeglądów układów hamulcowych zredukowane do niezbędnego minimum.

9. Bezpieczeństwo systemu kolejowego w znacznej mierze zależy od sprawności reflektorów czołowych, które oprócz podstawowej funkcji oświetlania drogi kolejowej służą również jako światła sygnałowe (obrysowe) pojazdu / pociągu na szlaku kolejowym. Dlatego też w ramach projektu zajęto się diagnostyką sprawności źródeł światła zewnętrznych pojazdu zaimplementowaną w sterownik mikroprocesorowy.

Opisany został algorytm diagnostyki źródeł światła reflektorów pojazdu szynowego oraz wymagania sprzętowe (ilość i rodzaj wejść i wyjść) w odniesieniu do sterownika, którego program realizowałby taką ocenę.

Wyznaczone zostały wymagania co do ilości i rodzaju wejść i wyjść sterownika mikroprocesorowego realizującego taką ocenę oraz sposób włączenia układu diagnostycznego w obwody światła zewnętrznych pojazdu. Zaproponowano również różne warianty konfiguracji systemu diagnostycznego.

10. Odbieraki prądu są istotnymi elementami w elektrycznym pojeździe trakcyjnym, więc wczesne wykrycie i uniknięcie w ten sposób uszkodzeń służy ograniczeniu ich skutków i obniżeniu kosztów eksploatacji pojazdu. W kolejnej pracy projektu przeanalizowano konstrukcję i doświadczenia z eksploatacji, i na tej podstawie wskazano elementy krytyczne odbieraków prądu oraz sposobów oceny ich stanu technicznego.

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

- stan nakładek ślizgowych
- stan ramion, łożysk, sprężyn, tłumików drgań, odbojników gumowych
- stan okablowania wysokiego napięcia i izolatorów
- stan układu sterowania pneumatycznego i przewodów powietrznych
- siła docisku do przewodu jezdnego
- czasy podnoszenia i opuszczania.

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

11. W kolejnej pracy dotyczącej elementów układu elektrycznego pojazdu trakcyjnego określono i wyznaczono parametry oceny stycznika liniowego na podstawie bezpośrednich danych diagnostycznych oraz przeprowadzono analizę ograniczeń. Przedstawiono wyniki analizy danych pochodzących z lokomotywy z zainstalowanym na stałe systemem diagnostycznym systemu sterowania i rejestrowane w ciągu kilku dni pracy lokomotywy, pozyskanych ze wspólnego



strumienia diagnostycznego nie angażującego dodatkowo systemu sterowania. Przeprowadzono czasochłonne analizy oceny określone dalej wskaźniki.

Na podstawie przeanalizowanych danych pochodzących 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
- załączenia po pojawieniu się ciśnienia z zaworze elektropneumatycznym
- wyłączenia z powodu przekroczenia prądu minimalnego
- wyłączenia z powodu przekroczenia prądu nominalnego.

Wykazano, że prosty strumień diagnostyczny nie zapewnia podstawowego wymagania jakim jest konieczność zapamiętywania wskaźników w pamięci w celu obsłużenia całego okresu eksploatacyjnego stycznika oraz umożliwienia tworzenia trendów.

Jako wniosek końcowy wskazano wymaganie, by były one wyliczane i zapamiętywane w systemie sterowania pojazdu i przekazywane bezprzewodowo do stacjonarnego systemu akwizycji w określonych odstępach podyktowanych wielkością pamięci nieulotnej w systemie pojazdu.

#### **Zadanie 6: „Opracowanie projektu i wykonanie laboratoryjnego modelu systemu diagnostycznego dla wybranego pojazdu trakcyjnego”.**

1. Stworzono model emisji fali akustycznej uzależniający jej parametry od fizycznych cech powierzchni współpracujących oraz występujących pomiędzy nimi oddziaływań pod kątem oceny stopnia ich zużycia. Z uwagi na fakt bardzo skomplikowanego i czasochłonnego opisu analitycznego narzędziem modelowania stają się metody numeryczne. Zadaniem, jakie postawili sobie autorzy jest prognozowanie stopnia zużycia klocka w parze czarnej koło - klocek na podstawie parametrów emitowanej przez nią fali akustycznej. Do rozwiązania zagadnienia wykorzystany został program Abaqus.

Sformułowano ogólne założenia uproszczonego modelu numerycznego zjawiska współpracy pomiędzy klockami a reprezentującą powierzchnię toczną koła, płaską powierzchnią długiej belki.

Z analizy uzyskanych wykresów wynika, że częstotliwości drgań klocka wzrastają w miarę spadku jego grubości, co jest zgodne z intuicyjnie przyjętym założeniem.

2. Opracowany i wykonany został w ramach zadania model mikroprocesorowego układu hamowania dla elektrycznego zespołu trakcyjnego w wersji struktury ograniczonej. Model zawiera wszystkie elementy mikroprocesorowe występujące w strukturze pełnej, a uproszczenie polega na tym, że sygnały wejściowe cyfrowe i analogowe są zadawane z podłączonych elementów zewnętrznych symulujących sygnały rzeczywiste obiektu w minimalnej liczbie umożliwiającej przetestowanie podstawowych funkcji.

Model mikroprocesorowego układu hamowania dla elektrycznego zespołu trakcyjnego połączony jest z siecią komunikacyjną CAN do współpracy z symulatorem sterownika pojazdu (master) zespołu trakcyjnego. Do opracowania symulatora sterownika pojazdu wykorzystano sterownik mikroprocesorowy CPU 727 –T firmy Selectron i środowisko programistyczne CAP1130.

3. Przeanalizowano dostępne na rynku stanowiska do prób i badań eksploatacyjnych zestawów kołowych pojazdów szynowych.

Uwzględniono następujące elementy konstrukcyjne i parametry zestawu:

- profil i średnicę koła
- odkształcenia: płaskie miejsca, nalepy, poligonizacje, opalizacje
- pęknięcia, wyłuszczenia, ubytki materiału.

Prognozowanie stanu eksploatowanego zestawu kołowego może być realizowane za pomocą dostępnej w kraju aparatury wraz z oprogramowaniem.

Stany awaryjne zestawów kołowych, gdy decydująca jest składowa stochastyczna (przypadkowa) mogą być również wykrywane za pomocą dostępnej w kraju aparatury opisanej w opracowaniu.

Diagnostyka pokładowa budowana jest dla pojazdów trakcyjnych na duże prędkości. Jej celem jest głównie detekcja stanów awaryjnych. W Polsce nie są dostępne własne rozwiązania kompleksowej pokładowej diagnostyki zestawów kołowych pojazdów trakcyjnych.

4. Ze względu na znaczące środki przewidziane na zakupy, szczególną wagę przywiązano do racjonalnego wydatkowania tych środków na zakup aparatury i narzędzi programowych. Ze względu na:

- o upływ czasu od opracowania wniosku na projekt rozwojowy do realizacji zadań
- o zmieniającą się i coraz bogatszą ofertę rynku w zakresie aparatury i narzędzi programowych

wykonano ponowną analizę dostępnych na rynku narzędzi programowych.

5. Wykonany i uruchomiony został laboratoryjny model systemu diagnozowania systemu hamulca dla pojazdu trakcyjnego. Algorytmy działania i wersja uproszczona tego modelu zostały wykonane w poprzednich zadaniach.

Na podstawie zarejestrowanych przebiegów można potwierdzić uruchomienie i prawidłowe działanie laboratoryjnego modelu systemu diagnozowania hamulca.

Skompletowany zestaw przebiegów ciśnień w uruchomionym modelu systemu diagnozowania hamulca, może stanowić bazę referencyjną dla poszczególnych funkcji urządzenia hamulcowego. Służyć ona może do diagnozowania stanu i ustalania źródła awarii urządzeń, zarówno w warunkach warsztatowych podczas napraw jak i na pojeździe podczas eksploatacji oraz przeglądów okresowych. W tym celu wyprzedzająco, ponieważ badania będą realizowane w następnym etapie prac, wykonano wstępnie serię prób, by ocenić możliwości znalezienia korelacji pomiędzy różnymi rodzajami niesprawności układu sterowania i przebiegami rejestrowanych ciśnień. Ustalono, że na podstawie prostych pomiarów ciśnień w funkcji czasu możliwe jest zdiagno-

gnozowanie wielu usterek układu sterowania hamulcem.

6. Wykonany został ponadto laboratoryjny model do diagnozowania stanu samych tablic pneumatycznych na stanowisku odbiorczym. Model ten zaprojektowano i wykonano na podstawie modelu o strukturze ograniczonej także przygotowanego w wyniku realizacji wcześniejszych zadań. Wykonano urządzenia i oprogramowanie przystosowujące stanowisko do prób tablicy danego typu, to jest: przenośny pulpit z kabinowymi urządzeniami nastawczymi i kontrolnymi hamulców i rozrządu sprężonego powietrza oraz aplikację diagnostyczną komputera podłączonego do informatycznego gniazda serwisowego badanej tablicy. Określono też standardowy program prób tablicy pneumatycznej wykonywanych w celu zdiagnozowania pełnej sprawności tablicy nowo wyprodukowanej lub poddanej uprzednio naprawie okresowej.

Wykonane próby w pełni potwierdziły słuszność założeń przyjętych podczas prac nad modelem tego systemu o strukturze ograniczonej. Realizacja tych założeń polegających na:

- wykorzystaniu układu pneumatycznego i układu pomiarowego stanowiska do prób aparatów i zespołów pneumatycznych,
  - dostosowanie tego stanowiska do prób tablicy danego typu poprzez wyposażenie go w odpowiedni pulpit i oprogramowanie komputera podłączonego do informatycznego gniazda serwisowego badanej tablicy,
  - przygotowaniu dla tablicy danego typu standardowego programu prób diagnostycznych
- doprowadzi do istotnego zwiększenia możliwości badawczo-diagnostycznych wyżej wspomnianego stanowiska.

Dalsze prace nad stanowiskowym systemem diagnostycznym powinny zmierzać do opracowania sposobów identyfikacji różnych niesprawności tablicy pneumatycznej na podstawie mierzonych i rejestrowanych przebiegów jej parametrów. System taki, po opracowaniu i sprawdzeniu na stanowisku do prób, powinien być w przyszłości wdrożony do sterowników pojazdów trakcyjnych.

#### **Zadanie 7: „Opracowanie programów, wdrożenie ich do modułów modeli laboratoryjnych i wykonanie prób stanowiskowych”**

1. Wybrany został zespół funkcjonalny silnik trakcyjny – przekładnia lokomotyw typu 4E lub 201E z silnikiem trakcyjnym EE541b jako obiekt prognozowania układu biegowego pojazdu trakcyjnego. Dla oceny jego stanu wykorzystywane mogą być symptomy stanu technicznego zespołu, 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 będzie odbierał drgania generowane przez łożyska i przekładnię. Niezbędne informacje uzyskane mogą być na podstawie analizy częstotliwościowej (widmowej) drgań polegającej na rozłożeniu sygnału drganiowego na składowe harmoniczne o określonych częstotliwościach odpowiadających danym uszkodzeniom.

Badania można wykonać dla całego modelu (łożysko i przekładnia) lub też w konfiguracji mini-

malnej tylko dla łożyska silnika trakcyjnego.

Badania przekładni trakcyjnych w ruchu pojazdu szynowego mogą być wykonane zasadniczo metodami wibroakustycznymi, które spełniają dobrze swoje zadania pod warunkiem, że na podstawie bardzo licznych eksperymentów statycznie określono:

- optymalne symptomy wibroakustyczne
- ich krytyczne wartości.

Dostępna literatura wskazuje drogę analiz teoretycznych, komputerowego symulowania zjawisk dynamicznych zachodzących w przekładni, teoretycznego poszukiwania optymalnych symptomów, nie tyle zużycia przekładni, ile głównie wzrostu sił międzyzębnych i obniżenia wartości współczynników bezpieczeństwa.

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

Opracowano wytyczne do badań laboratoryjnych, których celem jest 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,  $V_{skut}$ ,  $a_{szczyt}$ ,  $V_{szczyt}$ ). Na etapie prac wstępnych, do określenia parametrów diagnostycznych, wykorzystano wytyczne zawarte w PN ISO 8579-2.

Przedmiotem dalszych badań było łożysko silnika trakcyjnego EE541b od strony napędu, które jest jednocześnie łożyskiem przekładni. W konfiguracji minimalnej rozpatrzono tylko łożyskowanie silnika typu NU 328 MP 64 ZST o wymiarach  $\varnothing 140 \times \varnothing 300 \times 62$ .

Diagnostykę eksploatacyjną łożysk tocznych opiera się głównie na pomiarach drgań generowanych przez łożysko, jednak silnik EE 541b nie jest fabrycznie przygotowany do pomiaru drgań w węźle łożyskowym, dlatego wybrano metodą analizy obwiedni sygnału, która została już sprawdzona i nie wymaga specjalnego dostosowania silnika.

Analiza obwiedni sygnału polega na tym, że sygnał drganiowy wychodzący z czujnika po wstępnej filtracji wykorzystującej rezonans własny czujnika podlega demodulacji, a następnie wyznaczone jest widmo powstałej obwiedni sygnału.

Dokonano również wyboru rodzaju czujnika (akcelerometru) o odpowiedniej charakterystyce częstotliwościowej i który można mocować w strefie największego obciążenia łożyska za pomocą wkrętu do obudowy łożysk, co pozwala na uzyskanie najszerszego pasma przenoszenia, a także zapewnia największą powtarzalność wyników. Możliwe jest stosowanie piezoelektrycznych czujników przyspieszeń drgań w 3 kierunkach o dużym zakresie częstotliwości, a aparatura powinna być wyposażona w układ całkujący. Takim przyrządem jest trójosiowy akcelerometr firmy Brüel & Kjaer 4506.

Dla tak skonfigurowanego modelu opisano kolejne kroki pomiarowe dla uzyskania założonego

celu diagnostycznego.

Zastosowanie analizy widmowej w połączeniu z analizą obwiedni pozwala precyzyjnie oddzielić informacje o uszkodzonym łożysku tocznym od zakłóceń zewnętrznych i daje możliwość precyzyjnego śledzenia rozwoju uszkodzenia łożyska.

2. Opracowano model układu koło - klocek do analizy sygnałów pośrednich w postaci wychyleń węzłów powierzchni trących, odkształceń oraz naprężeń. Opracowanie modelu poprzedzono analizami relacji między naciskiem, prędkością względną ruchu oraz rodzajem materiału powierzchni trących. Wystąpienie różnic pomiędzy nimi ze względu na zmianę grubości klocka może być interpretowane jako zróżnicowanie emitowanej fali akustycznej. Aby odzwierciedlić warunki stanowiskowe przyjęto geometrię koła i klocka zgodne z dostępną dokumentacją, a zarówno koło jak i klocek zamodelowano jako ciała odkształcalne sprężyste. W modelu uwzględniono warunki mocowania koła, klocka oraz sprężystości elementów.

Ponieważ, ze względu warunki zamocowania na stanowisku, sprężystość elementów i istniejące luzy, obsada wykazuje zróżnicowane zależności od wyboru kierunku sztywności, zastosowano połączenie typu przegubowego (Coupling - Bushing). Połączeniu temu nadano właściwości sprężyste poprzez zdefiniowanie jego sztywności translacyjnych i obrotowych w trzech kierunkach.

Oddziaływanie w strefie styku powierzchni koła i klocka zasymulowano wprowadzając opcję kontaktu ogólnego (General Contact) dostępną w Solver Explicit. Współczynnik tarcia zdefiniowano jako stały i równy 0,3. Jako powierzchnię nadrzędną przyjęto powierzchnię toczną koła, a status powierzchni podrzędnej nadano powierzchni ślizgowej klocka.

Zarówno do podziału klocka jak i koła zastosowano elementy czworosieczne typu Tet. Wielkość oczka siatki na kole zadano jako 50 mm zaś na klocku jako 10 mm, a w obu przypadkach typ elementu określono jako Explicit.

Rozważaniom numerycznym poddano dwie skrajne grubości klocka 60 mm i 10 mm odpowiadające stanowi początkowemu eksploatacji i skrajnemu zużyciu. Porównaniu i ocenie poddano rozkłady spektralne częstotliwości drgań w kierunku stycznym do powierzchni klocka, wartości naprężeń i odkształceń oraz uśrednionych wychyleń węzłów na krawędzi wychodzącej klocka przy różnych wartościach prędkości obrotowej koła.

Ze względu na znane z praktyki zjawisko wzrostu częstotliwości emitowanej fali akustycznej w przypadku dohamowywania tj. dla niskich prędkości, zdecydowano się przeprowadzić analizę dla prędkości kątowych wynoszących odpowiednio 0,1 rad/s, 5 rad/s, 10 rad/s i 20 rad/s.

Jako wynik uzyskano rozkłady naprężeń zredukowanych wg Misesa powstałych dla grubego i cienkiego klocka.

W celu skonfrontowania uzyskanych wyników z eksperymentem porównano wyznaczone numerycznie spektra częstotliwości drgań węzłów krawędzi klocka dla symulowanej prędkości 40 i 80 km/h z spektrami wyznaczonymi eksperymentalnie.

Z badań wynika możliwość wskazania kilku częstotliwości teoretycznych zgodnych z ekspery-

mentalnymi. Wspomniana zgodność dotyczy jednak samych wartości częstotliwości i nie przekłada się na ich amplitudy.

Otrzymane wyniki pozwalają wnioskować, że występuje zróżnicowanie w zakresie spektrów częstotliwości drgań w zależności od grubości klocka. Zmniejszenie grubości klocka doprowadza do zwiększenia zakresu spektrów częstotliwości drgań zwłaszcza dla prędkości kątowej obrotu koła wynoszącej 5 rad/s, oraz do wzrostu naprężeń w obrębie klocka.

Stabilizowane częstotliwości drgań węzłów klocka mogą więc generować falę akustyczną mieszczącą się w granicach słyszalności dla człowieka.

Przeprowadzone badania numeryczne nie dostarczają bezpośredniego, ilościowego przełożenia uzyskanych wyników na parametry fali akustycznej, dostarczają jednak informacji na temat różnic występujących w zakresie drgań klocka o dwóch skrajnych grubościach. Stąd ze względu na złożoność zjawiska i pełne uwzględnienie rzeczywistych warunków pracy, wskazana była analiza eksperymentalna rozważanego procesu.

3. Opracowano system diagnostyczny urządzeń wykrywania i likwidacji poślizgu przy hamowaniu – należący do systemów kluczowych ze względu na bezpieczeństwo pojazdów szynowych. System ten wchodzi w skład pokładowego systemu diagnostycznego pojazdu trakcyjnego, którego opracowanie było jednym z głównych celów niniejszego projektu rozwojowego.

Dokumenty normatywne: karta UIC 541-05 oraz norma EN-15595 określają wymagania, które muszą być spełnione przez urządzenia przeciwpoślizgowe. Niektóre z nich mogą być spełnione jedynie podczas poligonowych badań urządzeń przeciwpoślizgowych, w czasie których badany pojazd jest wyposażony w aparaturę badawczą umożliwiającą pomiar sygnałów niedostępnych w czasie normalnej eksploatacji pojazdu, np. rzeczywistej prędkości pojazdu. Sygnały mierzone w czasie normalnej eksploatacji pojazdu zostały opisane są różne od prędkości rzeczywistej. Najważniejszymi wymaganiami bezpośrednio związanymi z bezpieczeństwem, są wymagania dotyczące drogi hamowania, nadmiernego poślizgu kół i blokady kół. W oparciu o te dokumenty zdefiniowano wymagania co do prędkości referencyjnej pojazdu  $v_{ref}$ .

Aby ocenić spełnienie przez urządzenie przeciwpoślizgowe tych warunków, niezbędny jest pomiar prędkości pojazdu niezależny od przyczepności. Zwykle, ze względu na koszty, prędkość ta jest mierzona tylko podczas badań, a nie podczas normalnej eksploatacji pojazdu. W takim przypadku nie jest możliwa ocena dokładności wyznaczania prędkości referencyjnej. Ocena tak może być przeprowadzana w sytuacji, gdy pomiar prędkości pojazdu jest przeprowadzany.

Istotne z punktu widzenia eksploatacji informacją diagnostyczną jest zużycia sprężonego powietrza, zwłaszcza w układach hamulców z dużym udziałem hamowania pneumatycznego. Została wyznaczona bezpośrednia metoda określania względnego zużycia sprężonego powietrza.

Dla oceny skuteczności układu przeciwpoślizgowego, na podstawie przeglądu literatury zdefiniowano dwa wektorowe wskaźniki skuteczności: wskaźnik nadmiernego poślizgu  $J_{\sigma e}$  oraz wskaźnik blokady kół  $J_{B30}$ .

W celu weryfikacji skuteczności działania systemu diagnostycznego, przeprowadzono symulacje w środowisku Matlab Simulink<sup>®</sup> z wykorzystaniem modelu hamowanego wagonu osobowego oraz modelu regulatora eksperckiego. Model regulatora przeciwpoślizgowego wykorzystywany podczas do symulacji został zbadany pod kątem spełnienia wymagań dokumentów normatywnych.

Podsystem realizuje zarówno obliczenia wskaźnika nadmiernego poślizgu  $J_{\sigma e}$ , jak również przeprowadza ocenę spełnienia kryterium nadmiernego poślizgu. Dla tego drugiego celu wprowadzono wektor  $K_{\sigma e}$ , który dla każdego zestawu kołowego przyjmuje wartość „1”, jeżeli czas trwania nadmiernego poślizgu przekracza określony czas, w przeciwnym przypadku przyjmuje wartość „0”.

Kolejny podsystem realizuje obliczenia wskaźnika blokady kół  $J_{B30}$  oraz przeprowadza sprawdzenie sprawdzenia kryterium blokady kół. W tym celu zdefiniowano wektory  $K_{B1}$  i  $K_{B2}$ . Elementy wektora  $K_{B1}$  przyjmują wartość „1”, jeżeli koła zostały zablokowane na przez czas dłuższy niż 400 ms dla prędkości pojazdu pomiędzy 5 a 30 km/h, w przeciwnym wypadku przyjmują wartość „0”. Elementy wektora  $K_{B2}$  przyjmują wartość „1”, jeżeli koła zostały zablokowane dla prędkości pojazdu większej od 30 km/h, w przeciwnym wypadku przyjmują wartość „0”.

Trzeci podsystem wyznacza względny pobór sprężonego powietrza  $C_r$ . Blok wyznaczający względny pobór sprężonego powietrza dla jednego zestawu kołowego zaimplementowany został również w środowisku Matlab Simulink<sup>®</sup>.

W celu walidacji działania systemu diagnostycznego zasymulowane zostały trzy przykładowe zestawy prób hamowania w warunkach niskiej przyczepności dla początkowej wartości współczynnika przyczepności wynoszącej 0.006:

- hamowanie z prędkości 120 km/h do zatrzymania
- hamowanie z prędkości 50 km/h do zatrzymania
- hamowanie z prędkości 100 km/h do 80 km/h.

Dla każdej symulacji wykorzystano dwa zestawy: dla właściwie działającego urządzenia przeciwpoślizgowego oraz dla pogorszonych warunków. Warunki te uzyskano przez zasymulowanie trzech sytuacji możliwych do wystąpienia podczas eksploatacji:

- niewłaściwy algorytm urządzenia przeciwpoślizgowego spowodowany np. zainstalowaniem podczas przeglądu urządzenia przeciwpoślizgowego zaprogramowanego do innego pojazdu
- wkręcenie do zaworów upustowych niewłaściwych dysz
- niewłaściwe wskazania czujników prędkości spowodowane np. nie osiowym zamontowaniem czujników podczas przeglądu.

Z przeprowadzonych symulacji wynika, że dla niektórych prób wartości wskaźników jakości różnią się znacznie pomiędzy próbami dla poprawnie działającego i uszkodzonego urządzenia

przeciwpoślizgowego, natomiast dla innych wartości wskaźników pozostają praktycznie niezmiennie. Wynika to z faktu, że podczas eksploatacji pojazdu szynowego mogą wystąpić różne scenariusze hamowania (np. prędkość pojazdu w momencie wdrożenia hamulca i intensywność hamowania) w różnych warunkach przyczepności.

Dla przeprowadzonych symulacji, w dwóch spośród trzech sytuacji układ diagnostyczny wykrył niewłaściwe działanie urządzenia przeciwpoślizgowego.

Jednym z głównych problemów związanych z interpretacją wyników jest fakt, że wartości odniesienia służące do ich oceny, zawarte w dokumentach normatywnych dotyczą konkretnych sytuacji testowych, które praktycznie nie wystąpią nigdy lub bardzo rzadko podczas normalnej eksploatacji pojazdu w dokładnie takiej formie jak zostały zdefiniowane.

Na podstawie analizy rezultatów badań symulacyjnych urządzeń przeciwpoślizgowych wyciągnięto następujące wnioski:

- Najbardziej wiarygodnymi wskaźnikami skuteczności działania urządzeń przeciwpoślizgowych są wskaźniki  $\mathbf{K}_{\sigma e}$ ,  $\mathbf{K}_{B1}$  i  $\mathbf{K}_{B2}$ . Nie zależą one od warunków hamowania, ponieważ kryteria dotyczące blokady kół i nadmiernego poślizgu muszą być zawsze spełnione. Ich wadą jest fakt, że nie zawsze mogą być wykryte ze względu na różnicę pomiędzy prędkościami  $v_T$  and  $v_{ref}$ . Wskaźnik blokady kół  $\mathbf{J}_{B30}$  oraz wskaźnik nadmiernego poślizgu  $\mathbf{J}_{\sigma e}$  mogą być zastosowane jako wskaźniki pomocnicze, dostarczające informacji o procesie likwidacji poślizgu.
- Droga hamowania jest również dobrym wskaźnikiem skuteczności działania urządzeń przeciwpoślizgowych, jednak aby było można ją wykorzystać w celu automatycznej oceny, należy opracować tabelę lub funkcję umożliwiającą określenie dopuszczalnych dróg hamowania w funkcji wdrożonej siły hamowania oraz prędkości wdrożenia i zwolnienia hamulca. Tabelę taką należy opracować w oparciu o dane dotyczące dróg hamowania w warunkach normalnych, dróg hamowania w warunkach obniżonej przyczepności, wyniki badań poligonowych rzeczywistego pojazdu oraz wyniki symulacji.
- Zużycie sprężonego powietrza może być również wykorzystane jako wskaźnik pomocniczy, jednak w tym celu należy utworzyć tabelę lub funkcję, podobnie jak dla drogi hamowania.

Przedstawione wyniki dały podstawę do opracowania docelowej implementacji systemu diagnostycznego dla wybranego pojazdu. Dla maksymalnie rozbudowanej wersji system będzie potrzebował następujących sygnałów wejściowych:

- z czujników prędkości kół
- o rozpoczęciu hamowania
- z przetworników ciśnienia w cylindrach hamulcowych.

Program diagnostyczny może być napisany w języku programowania dla wybranego sterownika. Inną możliwością jest wygenerowanie kodu C dla wybranego procesora wbudowanego z wykorzystaniem przybornika Embedder Coder środowiska Matlab Simulink<sup>®</sup>.



Odnosnie samego algorytmu, należy opracować tabele lub funkcje w celu automatycznego określania dopuszczalnych dróg hamowania oraz poboru sprężonego powietrza.

4. Opracowano uproszczony model diagnostyczny układu hamulca lokomotywy elektrycznej jako moduł tablicy pneumatycznej lokomotywy. W modelu uwzględniono podstawowe elementy, tak by jak najbardziej odwzorować rzeczywisty układ hamowania realizowany przez tablicę pneumatyczną.

Kompletny mikroprocesorowy system sterowania i diagnostyki typowej lokomotywy elektrycznej tworzą następujące układy:

- panel operatorski w kabinie 1
- panel operatorski w kabinie 2
- sterownik pulpityowy 1
- sterownik pulpityowy 2
- sterownik przetwornicy
- sterowniki napędu i hamowania ED
- sterownik tablicy pneumatycznej
- sterownik układu przeciwpoślizgowego
- sterownik układu uzdatniania powietrza
- sterownik pośredniczący
- sterownik prędkościomierza (rejestratora)
- sterownik diagnostyczny oraz modem GSM
- sterownik jazdy uproszczonej.

Komunikacja pomiędzy poszczególnymi elementami systemu odbywa się za pośrednictwem magistrali CAN.

System sterowania tablicy pneumatycznej, będący jednym z wyżej wymienionych, złożono z sieci 9 sterowników połączonych magistralą RS232. Dla tego układu opracowano model diagnostyczny układu hamulca lokomotyw elektrycznych. W modelu zastosowano symulator sygnałów wejściowych realizowany przez aplikację Sym\_TP\_LOK.exe oraz sterownik CPU 727-CT z modułem prądowym umożliwiającym generowanie 2 sygnałów prądowych odpowiadających 2 wybranym ciśnieniom.

Dodatkowo w modelu zastosowano sterownik mikroprocesorowy CPU727-CT z modułem prądowym AOT 701-T umożliwiającym generowanie dwóch sygnałów prądowych 0-20 mA.

Aplikacja Sym\_TP\_LOK.exe umożliwia zadawanie sygnałów wejściowych i zapisywanie wszystkich sygnałów wejściowych i wyjściowych do pliku tekstowego na dysku komputera.

Symulator Sym\_TP\_LOK.exe umożliwia zadawanie 60 sygnałów binarnych i 10 sygnałów analogowych po magistrali RS232. Umożliwia podgląd sygnałów wejściowych i wyjściowych on-line oraz realizuje zapis wszystkich danych do pliku tekstowego na dysku komputera.

Sterownik CPU 727-CT z modułem AOT 701-T realizuje uproszczony model symulatora ciśnień MCA i MCB.

Opracowanym modelem można testować wszystkie funkcje układu hamulca. Jedną z funkcji diagnostycznych jest próba hamulca dodatkowego PR\_HDA. Wynik próby jest rejestrowany automatycznie.

Opracowany i przetestowany układ umożliwia również testowanie docelowej aplikacji diagnostycznej do rejestracji danych na pojeździe.

5. Opracowano także model diagnostyczny układu hamulca elektrodynamicznego elektrycznego zespołu trakcyjnego, który po próbach stanowiskowych nazwano Diag\_ezt.exe.

Podobnie jak dla lokomotyw zbudowany został na bazie układu mikroprocesorowego CPU 727-CT z modułem prądowym AOT 701T, który umożliwia kalibrowanie dwóch kanałów analogowych realizujących na obiekcie rzeczywistym pomiar ciśnień.

Wskazania przetworników sterowników RSSA różnią się o kilka %, co potwierdza potrzebę kalibracji. Możliwe jest również testowanie docelowej aplikacji diagnostycznej do rejestracji danych na pojeździe.

W tablicach hamulca kolejnych wagonów e.z.t. zastosowano po dwa sterowniki RSSA typu 3ia 7o24 5i24 C A. Sterownik mikroprocesorowy RSSA 3ia 7o24 5i24 C A jest urządzeniem posiadającym 5 wejść przystosowanych do napięcia 24 V o zmienności wg normy PN-EN 50155:2007. Sterownik wyposażony jest również w 7 wyjść cyfrowych, przystosowanych do napięcia 24 V. Każde wyjście wyposażone jest w łącznik elektroniczny z zabezpieczeniem nadprądowym i przeciwzwarciovym. Łącznik jest typu „low-side”, czyli obciążenie jest dołączone na stałe do napięcia 24 V, natomiast łącznik łączy ujemny biegun obciążenia do masy zasilania. Możliwe jest bezpośrednie dołączenie obciążeń indukcyjnych, ze względu na zastosowanie diody jako obwodu gaszącego.

Dodatkowo sterownik posiada 3 wejścia analogowe, przystosowanych do pomiaru prądu z zakresu 0-20 mA. Wejścia te przystosowane są do pomiaru prądu wpływającego (rezystory pomiarowe dołączone do masy). Sterownik współpracuje z innymi sterownikami rodziny RSSA poprzez linie transmisji o standardzie RS232 oraz RS422/485. Wymagane jest zasilanie sterownika z przetwornicy o napięciu wyjściowym  $24\text{ V} \pm 5\%$ . Urządzenie posiada zabezpieczenie nadnapięciowe na wejściach cyfrowych, jak również zabezpieczenie przed zmianą polaryzacji napięcia.

Dodatkowo opracowano układ do badania sieci 6 sterowników RSSA (odpowiadającym sterownikom trzech wagonów) .Do połączenia sieci sterowników do magistrali hamulcowej CAN wykorzystane zostały 3 konwertery i-7530 realizujące konwersję sygnałów magistrali szeregowej RS232 na sygnały magistrali CAN.

Tablica obu wagonów tocznych i tablica wagonu napędnego wyposażone są w gniazdo diagnostyczne do rejestracji sygnałów wejściowych, wyjściowych, sygnałów wewnętrznych i diagnostycznych systemu 3 tablic połączonych magistralą hamulcową (CANh). Dla diagnostyki tablic opracowano aplikację diagnostyczną **Diag\_ezt.exe** umożliwiającą podgląd on-line sygnałów zawartych w ramce diagnostycznej podczas pracy sterowników mikroprocesorowych, jak i zapis

do pliku tekstowego do analizy przebiegów. Ramka diagnostyczna zawiera 170 zorganizowanych znaków danych.

Układy pomiarowe sygnałów analogowych sterowników RSSA dają rozrzuty wyników pomiarowych, dlatego dla ich zminimalizowania każdy sterownik powinien zostać skalibrowany.

Jako źródło prądowe zastosowano sterownik mikroprocesorowy firmy Selectron CPU 727-CT z modułem AOT 701-T. Moduł AOT 701-T umożliwia uzyskanie 2 sygnałów wyjściowych prądowych (z zakresu 0 – 20 mA) lub 2 sygnałów napięciowych (z zakresu 0 do 10 V).

Zastosowany w module AOT 701-T przetwornik 12 - bitowy umożliwia z dużą dokładnością zadawanie żądanej wartości prądu.

Dla generowania wybranych sygnałów prądowych przez sterownik CPU 727-CT zaprojektowano blok funkcyjny BF25\_Gen\_4mA\_16mA. Sterowanie zmianą sygnału prądowego realizowane jest przez wejściowy sygnał binarny. Sygnał wejściowy podawany jest na wejście WE1 bloku funkcyjnego i zbocze narastające powoduje zmianę sygnału prądowego. Sygnał na wejściu drugim sterownika WE2 zeruje wartość prądu.

Przeprowadzono kalibrowanie sieci sterowników tablic pneumatycznych wszystkich wagonów przy wykorzystaniu aplikacji diagnostycznej i sterownika CPU 727-T z modułem prądowym AOT 701-T. Moduł AOT 701-T umożliwia wysterowanie jednocześnie 2 wyjść prądowych co pozwala na kalibrację jednego sterownika RSSA.

Możliwe jest również testowanie docelowej aplikacji diagnostycznej do rejestracji danych na pojeździe.

Przeprowadzone z pozytywnym wynikiem badania modelu laboratoryjnego potwierdziły celowość zastosowania w nowobudowanych i modernizowanych pojazdach trakcyjnych układu diagnostycznego zbudowanego na modelu sprawdzonym w ramach niniejszego projektu.

6. Opracowano symulator kontenera pneumatycznego do testowania algorytmów sterowania i diagnostyki sterownika mikroprocesorowego CPU 727-T. Do testowania wybrano jedną z głównych funkcji realizowanych przez ten sterownik – sterowanie sprężarkami głównymi.

Aplikacja symulatora Sym\_130m.exe podczas testowania zapisuje dane z ramki RS232 Tx2 do pliku tekstowego, co umożliwia dokładną analizę symulowanych działań. W układzie możliwe jest również testowanie docelowej aplikacji diagnostycznej do rejestracji danych na pojeździe.

Dla zrealizowania badań układu zastosowano symulator kontenera pneumatycznego (komputer i sterownik RSSA). Badany sterownik CPU 727-T otrzymuje wszystkie sygnały wejściowe przesyłane po magistrali RS232, tak jak w rzeczywistym układzie kontenera pneumatycznego. Sygnały realizowane przez sterownik CPU są przesyłane do symulatora kontenera. Suma sygnałów wejściowych i wyjściowych wysyłana jest ze sterownika RSSA do komputera w celu rejestracji i do dalszej analizy.

Aplikacja symulatora kontenera Sym\_130m.exe realizuje dwie funkcje. Pierwsza funkcja to umożliwienie zadawania wszystkich sygnałów wejściowych binarnych i analogowych (ciśnienia) realizowanych przez kontener pneumatyczny. Druga funkcja to zapis wszystkich rejestrowanych

sygnałów do pliku tekstowego o rozszerzeniu ***nazwa\_data.dia***. Aplikacja umożliwia zadawanie po magistrali RS232 92 sygnałów cyfrowych i 7 sygnałów analogowych do testowania działania sterownika CPU 727-T.

Pełna lista sygnałów zawiera 260 sygnałów (binarnych i analogowych) zgrupowanych w 130 znakach oznaczonych zn1 do zn130.

Do komunikacji po magistrali RS232 wykorzystywane są 3 linie interfejsu RS232.

Sterownik CPU 727-T umożliwia stosowanie następujących prędkości transmisji: 38400, 19200, 9600, 4800, 2400, 1200, 600, 300, 150, 110, 75, zaś sterownik RSSA umożliwia stosowanie następujących prędkości transmisji: 115200, 56400, 38400, 19200, 9600, 4800, 2400, 1200, 600, 300, 150, 110, 75. W testowanym układzie maksymalną prędkość transmisji dobrano według sterownika CPU 727-T, czyli 38400.

Sterownik mikroprocesorowy RSSA stanowi sprzętowy symulator kontenera i w połączeniu z aplikacją *Sym\_130m.exe* stanowią razem symulator kontenera. Sterownik mikroprocesorowy CPU 727-T poprzez połączenie po magistrali RS232 jak gdyby „widzi” rzeczywisty kontener i jego działanie jest identyczne jak w układzie z rzeczywistym kontenerem. W tym układzie można testować pełny zestaw funkcji realizowanych przez sterownik CPU 727-T, gdyż istnieje dostęp do wszystkich sygnałów wejściowych i wyjściowych. Przeprowadzono testy realizowane przez symulator kontenera związane z testowaniem działania sprężarek. W tym celu w sterowniku RSSA realizowany jest podprogram symulujący zmiany ciśnienia MZ przy załączonych i wyłączonych sprężarkach. Działanie podprogramu uzależnione jest od rzeczywistych sygnałów związanych ze sprężarką oraz dodatkowych 4 sygnałów pomocniczych zadawanych w aplikacji *Sym\_130m.exe*.

Aplikacja symulatora *Sym\_130m.exe* rejestruje kolejne testy w plikach tekstowych zapisywanych na dysku.

Zbadany układ umożliwia pełne testowanie sterownika CPU 727-T, gdyż symulator umożliwia zadawanie wszystkich wejść cyfrowych i analogowych.

7. Dla opracowanych modułów tworzących model laboratoryjny systemu i odpowiadających im algorytmów opracowywane zostały odpowiednie programy, które umożliwiły przeprowadzenie prób stanowiskowych modułów oraz całego modelu laboratoryjnego.

Dotyczy to modelu laboratoryjnego składającego się z następujących modułów:

- zadajników jazdy i hamowania
- bloków diagnozowania stanu:
  - układu hamowania
  - styczników liniowych
  - łożysk silnika trakcyjnego
  - silnika trakcyjnego
- wizualizacji pojedynczych parametrów i wykresów na panelu operatorskim (interfejs człowiek – maszyna).

Opracowany został program do pozyskiwania i akwizycji danych oraz do generowania wykresów z danymi diagnostycznymi, a także oprogramowanie systemu niezbędne dla uruchomienia i testowania zbudowanych modeli laboratoryjnych, w tym także panelu operatorskiego do wizualizacji danych diagnostycznych.

Opracowane zostały także programy do komunikowania się modułów między sobą za pomocą sieci komunikacyjnej RS232, a do współpracy z mikroprocesorowym sterownikiem na poziomie pojazdu za pomocą sieci komunikacyjnej CAN. Wykonane zostały programy sterowania modułów diagnozowania realizujących wcześniej opracowane algorytmy.

#### Zadanie 8: „**Publikowanie wyników: opracowanie referatów i artykułów oraz udział w seminariach i konferencjach**”

Wyniki prac opublikowano w następujących artykułach:

1. Sobaś M: **Diagnostyka osi zestawów kołowych układów biegowych pojazdów trakcyjnych i tocznych**. *Pojazdy Szynowe nr 4/2010*
2. Sobaś M: **Kryteria obiektywnej oceny prognozowania stanów osi zestawów kołowych pojazdów trakcyjnych**. *Pojazdy Szynowe nr 1/2011*
3. Durzyński Z.: **Podstawy metody wyznaczania parametrów energooszczędnej jazdy pojazdów trakcyjnych na obszarach aglomeracyjnych**. *Pojazdy Szynowe nr 3/2011*
4. Sobaś M: **Zabiegi technologiczne zwiększające prognozowaną żywotność osi zestawów kołowych**. *Pojazdy Szynowe nr 4/2011*
5. Sobaś M.: **Warunki wprowadzenia do eksploatacji używanych osi pojazdów szynowych trakcyjnych i tocznych**. *Pojazdy Szynowe nr 1/2012*.
6. Antkowiak T.: **Diagnostyka I prognozowanie stanu węzła łożyskowego układu biegowego pojazdu szynowego**. *Pojazdy Szynowe nr 2/2012*
7. Barna G.: **Diagnosis of wheel slide protection systems for rail vehicles**. Materiały 17<sup>th</sup> IEEE International Conference on Methods and models in automation and robotics. MMAR 2012. Międzyzdroje. 27-30.08.2012
8. Łastowski M.: **Ocena i prognozowanie stanu pokładowych chemicznych źródeł energii elektrycznej**. *Pojazdy Szynowe nr 3/2012*
9. Sobaś M.: **Czynniki konstrukcyjne i technologiczne wpływające na żywotność osi zestawów kołowych**. *Pojazdy Szynowe nr 3/2012*
10. Antkowiak T., Miklasz R.: **Analiza zabudowy układu przeciwoślizgu z uwzględnieniem potencjalnych błędów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych**. *Pojazdy Szynowe nr 3/2012*
11. Sobaś M: **Przyczyny pęknięć osi napędnych oraz tocznych pojazdów w eksploatacji**. *Pojazdy Szynowe nr 1/2013*

Ponadto zostały przygotowane i przyjęte do druku następujące artykuły:

1. Kurpisz D., Durzyński A., Sienicki A.: **Prognozowanie stanu zużycia klocka hamulcowego na podstawie parametrów sygnału akustycznego**. Przyjęty do druku w nr 2/2013 *Pojazdów Szynowych*,

2. Antkowiak T., Pawlak Z.: **Diagnostyka techniczna układu biegowego trakcyjnego pojazdu szynowego**. Przyjęty do druku w nr 2/2013 Pojazdów Szynowych
3. Durzyński Z., Kurpisz D., Durzyński A., Sienicki A.: **Diagnostyka eksploatacyjna pojazdów szynowych**. Przyjęty do druku w nr 3/2013 Pojazdów Szynowych

Wykonawcy projektu wzięli udział w następujących konferencjach:

1. XIII Międzynarodowa Konferencja Naukowa "Jakość, Bezpieczeństwo, Ekologia w Transporcie" (Quality, Safety and Ecology in Transport). Politechnika Krakowska. Kraków - Niepołomice. 15 – 17 czerwca 2011 r.
2. X Międzynarodowej Konferencji MET'11 pt. „Nowoczesna Trakcja Elektryczna - racjonalizacja zużycia energii w transporcie szynowym”. Instytut Pojazdów Szynowych. Politechnika Poznańska. Poznań - Trzebaw. 29.09 - 1.10.2011 r.
3. XVI Międzynarodowa Konferencja pt. „Methods and Model in Automation and Robotics MMAR 2011”, Szczecin, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny. 22 - 25.08. 2011 r.
4. Konferencja Naukowa pt. „Badania w kolejnictwie – osiągnięcia i nowe wyzwania”, Instytut Kolejnictwa. Warszawa. 22-23 września 2011 r.
5. IV Ogólnopolska Konferencja Szkoleniowa pt. „Problem hałasu w mieście”. ABRYŚ Sp. z o.o. Kielce 7-8.11.2011 r.
6. XX Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Pojazdy Szynowe ‘ 2012”. Politechnika Poznańska. Instytut Pojazdów Szynowych. Trzebaw k. Poznania. 4-7 09.2012 r.

Ponadto dwóch wykonawców projektu przedstawi wyniki swoich prac wykonanych w ramach niniejszego projektu na XIV Międzynarodowej Konferencji Naukowej "Jakość, Bezpieczeństwo, Ekologia w Transporcie" (Quality, Safety and Ecology in Transport). Politechnika Krakowska. Kraków - Niepołomice. 5-7 czerwca 2013 r.:

1. Antkowiak T.: "Diagnostyka techniczna układu biegowego trakcyjnego pojazdu szynowego."
2. Miklasz S. R.: "System diagnostyczny układu napędowego pojazdów trakcyjnych".

**Zadanie 9: „Wykonanie prób systemu (m. in.: funkcjonalnych, klimatycznych, napięciowych, udarowych) na stanowiskach badawczych dla potwierdzenia cech użytkowych uzyskanego rozwiązania ”**

1. Opracowano program do analizy danych diagnostycznych pod kątem stworzonych wskaźników według formuł zadawanych bezpośrednio w programie źródłowym. Formułą może być zdarzenie - wystąpienie określonej danej bądź zespołu danych, ich powiązania logiczne, uzależnienie czasowe wystąpienia itp. Formuła jest zapisywana bezpośrednio w kodzie źródłowym programu i podlega kompilacji. W ten sposób otrzymuje się wiele wariantów tego samego programu w zależności od zapisanych kryteriów analizy strumienia danych diagnostycznych. Podejście takie znacznie upraszcza kod źródłowy i przyspiesza działanie, rekompensując konieczność wielokrotnej kompilacji.

Kod źródłowy został opracowany w ten sposób, aby bez problemów umożliwić wstawienie żądanej formuły oraz przystosowanie do analizy danych diagnostycznych.

Postać i wyniki działania programu przetestowano wykorzystując rzeczywiste dane diagnostyczne zarejestrowane podczas prób w nowoprojektowanym zespole trakcyjnym. Po przeprowadzeniu badań oraz przeanalizowaniu wyników stwierdzono, że w testowanym pojeździe wystąpiło mniej przypadków piaskowań. Wywnioskowano na tej podstawie, że większość żądań sypania piasku było wywołanych poprzez nadczuły układ przeciwpoślizgowy układu napędowego pojazdu.

Opracowany program doskonale nadaje się do zautomatyzowanego przeglądania zgromadzonych w folderach danych diagnostycznych. Umożliwia dokonanie oceny bieżącej urządzeń oraz prognozowanie awarii i uszkodzeń na podstawie odpowiednio dobranych wskaźników zapisanych w postaci formuł.

Program do analizy danych diagnostycznych nazwano „Analizator plików DIA”, ponieważ rejestrowane dane gromadzone są w plikach z rozszerzeniem „dia”.

Program realizuje dwie podstawowe funkcje. Pierwszą z nich jest otwarcie pojedynczego pliku DIA do analizy, natomiast drugą jest otwarcie do analizy całego folderu z plikami.

Aplikacja ta może być również wykorzystana do danych o innej postaci oraz do badania różnych zmiennych (różnych formuł).

Aby wyszukać do analizy zmienne inne niż piaskowanie wystarczy w odpowiednim kodzie zmienić drugą liczbę.

Drugim zastosowaniem analizatora plików DIA jest wykorzystanie do analizy całego katalogu z plikami rejestracji. Oprócz informacji o liczbie piaskowań oraz hamowań, możliwa jest informacja o liczbie analizowanych plików.

Program wykorzystano do badania przebiegów zarejestrowanych na testowanych e.z.t. Po stworzeniu aplikacji wykorzystano ją do analizy przebiegów zarejestrowanych w celu przedstawienia różnic w programach. W jednym pojeździe zastosowano program, który powoduje uruchomienie piaskowania w skutek wystąpienia trzech niezależnych zdarzeń:

- podczas zadziałania układu napędowego pojazdu
- podczas hamowania nagłego
- na życzenie maszynisty – poprzez naciśnięcie przycisku na pulpicie

W drugim pojeździe natomiast zastosowano tylko dwa warunki:

- podczas hamowania nagłego
- na życzenie maszynisty – poprzez naciśnięcie przycisku na pulpicie.

Stwierdzono na podstawie analizy zarejestrowanych wyników, że układ przeciwpoślizgowy układu napędowego, nie radząc sobie z likwidacją poślizgów metodami trakcyjnymi, zbyt często uruchamia piaskowanie będące narzędziem ostatecznym w likwidacji poślizgów.

2. Stosowane w pierwszym okresie realizacji projektu metody bazowały na transmisji przewodowej i wymagały obecności na pojeździe odpowiednio przeszkolonego pracownika wyposażonego w odpowiednio oprogramowany komputer serwisowy. Metoda jest jednak nieskuteczna w przypadku konieczności pozyskiwania danych na potrzeby prognozowania zdarzeń. Dane do tego

celu muszą być gromadzone w sposób ciągły, aby możliwe było tworzenie wskaźników prognozowania gwarantujących wysoką wiarygodność, tym bardziej, że na ich podstawie będą w przyszłości podejmowane działania serwisowe, naprawcze lub inne związane z odstawieniem pojazdu, które zawsze wiąże się ze znacznymi kosztami. Problem ten rozwiązano przez zastosowanie transmisji bezprzewodowej z wykorzystaniem modemów GSM.

Analiza zmian sygnałów wejściowych w czasie oraz generowanych na ich podstawie sygnałów wyjściowych wymaga gromadzenia ich wartości z określonym interwałem czasowym. Gromadzenie danych diagnostycznych bezpośrednio z urządzeń zainstalowanych na pojeździe przebiega w ten sposób, że sterownik urządzenia co określony interwał czasowy (np. co 100 ms) tworzy ramkę danych diagnostycznych (wielkość ramki zależy od złożoności systemu sterowania – głównie od liczby wejść i wyjść) i przesyła ją za pośrednictwem interfejsu RS-232 do komputera serwisowego, a odpowiednia aplikacja uruchomiona na komputerze serwisowym odbiera kolejne ramki danych diagnostycznych z jego portu szeregowego i gromadzi je na twardym dysku komputera jako kolejne wiersze pliku tekstowego.

Umożliwiają one przesyłanie danych na rozległym obszarze obejmującym zasięg działania danego systemu łączności (w przypadku sieci GSM jest to obszar danego kraju – obszar działania sieci danego operatora). Zastosowanie transmisji za pośrednictwem sieci telefonii komórkowej GSM pozwala na automatyzację procesu zbierania danych diagnostycznych zapewniającą ciągłość tego procesu niezbędną do formułowania wiarygodnych wskaźników prognostycznych. Ciągłość ta może jedynie zostać zaburzona o krótkotrwałe zaniki zasięgu sieci GSM, które nie wpływają w sposób istotny na proces prognozowania. Można ten problem rozwiązać również stosując odpowiedniej wielkości bufor odbierania danych po stronie systemu diagnozowanego lub stosując model modemu nadawczego posiadającego bufor wbudowany. W związku z tym zastosowano modem OnCell G3150 firmy Moxa.

*OnCell G3150* firmy MOXA to komórkowy modem IP w wykonaniu przemysłowym umożliwiający bezprzewodową komunikację z urządzeniami wyposażonymi w port szeregowy znajdującymi się w trudno dostępnych lokalizacjach. Modem może pracować w sieciach GSM/GPRS/EDGE w czterech pasmach częstotliwości: 900/1800 MHz (Europa), 850/1900 MHz (USA). Znaczącą cechą modemu jest jego możliwość pracy w kilku trybach:

- Device Control Applications:

- *Real COM Mode / Secure Real COM Mode*
- *Reverse Real COM Mode / Secure Reverse Real COM Mode*
- *RFC 2217 Mode*

- Socket Applications:

- *TCP Server Mode / Secure TCP Server Mode*
- *TCP Client Mode / Secure TCP Client Mode*
- *UDP Mode*

- a także:



- *Ethernet Modem Mode*
- *SMS Tunnel Mode.*

W trybach: *Real COM*, *Secure Real COM*, *Reverse Real COM*, *Secure Reverse Real COM* port szeregowy modemu (RS-232/RS-485/RS-422) może być skonfigurowany jako wirtualny port COM komputera mającego dostęp do Internetu.

Z uwagi na to, że komputer przeznaczony do pracy w internecie nie posiada publicznego IP wybrano tryb pracy modemu *Real COM Mode*. W podanej konfiguracji każdy modem wyposażono w kartę SIM dedykowaną do pracy w sieci GPRS (pakietowa transmisja danych) z publicznym statycznym adresem IP.

Istotnym zagadnieniem była konfiguracja modemu. Najdogodniejszą metodą konfiguracji modemu było użycie *Web Console*, czyli konfiguracja z poziomu przeglądarki internetowej np. *Mozilla FireFox* lub *Internet Explorer*. W tym celu połączono modem z komputerem poprzez Ethernet kablem skrosowanym.

Konfigurację ustawień sieciowych Ethernet modemu przeprowadzono z poziomu *Serial Console*, czyli poprzez port szeregowy RS-232 przy użyciu programu *PComm Terminal Emulator*. Program ten wchodzi w skład pakietu *PComm Lite Ver1.3*

Konfigurację ustawień sieciowych modemu przeprowadzono przy użyciu programu *PComm Lite Ver1.3 > PComm Terminal Emulator*, który można pobrać ze strony firmy MOXA. Program ten umożliwia konfigurację modemu *OnCell* przez port szeregowy RS-232.

Port szeregowy modemu *OnCell* z portem szeregowym komputera połączono za pomocą kabla *Null Modem Cable*.

Zarejestrowany został przy pomocy opracowanej aplikacji przykładowy plik diagnostyczny. Zawiera on ok. 5000 wierszy oraz tyle kolumn, ile jest zmiennych. Na podstawie tych danych stworzono wykres czasowy wybranych danych i obliczono wskaźnik prognostyczny.

Pobierane automatycznie dane służyły do ciągłej akwizycji strumienia danych i pozwalały na bieżąco analizować i prognozować stan podzespołów wytypowanych do oceny.

3. Na podstawie przykładowych przebiegów z wdrożonych systemów diagnostycznych wykazano, że niektóre parametry rejestrowane podczas pracy pojazdu trakcyjnego mogą określać nie tylko stan aktualny, lecz także pozwalają na jego prognozowanie.

Rejestracje były wykonane za pomocą systemu diagnostycznego wykorzystującego metodę transmisji bezprzewodowej opracowaną i wdrożoną we wcześniejszym zadaniu projektu.

W lokomotywie system diagnostyki pokładowej może monitorować między innymi zmianę temperatury łożysk silników trakcyjnych.

W eksploatacji zdarzyła się sytuacja nadmiernego nagrzewania się jednego z łożysk silnika trakcyjnego. Przy wyższych prędkościach jazdy został przekroczony próg ostrzegawczy 70 °C. Po zalecanym w takim przypadku zmniejszeniu prędkości temperatura łożyska zaczęła się obniżać. Porównanie z analogicznymi przebiegami sprzed kilku dni ujawniło, że wówczas temperatura tego łożyska również odbiegała od temperatur pozostałych łożysk, ale była niższa. Łożysko

to zostało poddane przeglądowi zanim nastąpiła awaria i zatrzymanie lokomotywy na szlaku. W przypadku diagnozowania temperatury łożysk można prognozować rozwój niekorzystnych zmian długoterminowo. Nie wystarczy określenie prognozy temperatury, po przekroczeniu którego system diagnostyczny zwraca uwagę użytkownikowi, że łożysko zaczyna się zbyt szybko nagrzewać. Konieczne jest również śledzenie różnic temperatur pomiędzy łożyskami symetrycznie rozmieszczonymi w lokomotywie. Taki wskaźnik diagnostyczny określałby niejako *in statu nascendi* początek niekorzystnych zmian zachodzących w łożyskach. Opracowany system diagnostyczny jest zatem użyteczny do prognozowania. Jediną przeszkodą jest brak formalnych procedur użytkownika pojazdu w reakcji na sygnały prognostyczne.

W nowych elektrycznych zespołach trakcyjnych opracowany i wdrożony system diagnostyki pokładowej monitoruje między innymi układ hamowania w takim zakresie, by suma sił zapewniała realizację zadanej siły hamowania. Rejestracje on-line umożliwiają stworzenie wskaźnika prognostycznego wyznaczanego na podstawie zarejestrowania bieżących danych, który może być wykorzystany do odpowiedniego wysterowania pojazdem oraz wyświetlenia odpowiedniej informacji dla maszynisty.

W przypadku diagnozowania układu hamulca e.z.t. można prognozować krótkoterminowo niekorzystne zjawiska związane z warunkami jazdy. System diagnostyczny na podstawie masy pojazdu, zadanej siły hamowania, realizowanego ciśnienia i realizowanej siły hamulca elektrodynamicznego tworzy wartość oczekiwaną opóźnienia hamowania. Układ mikroprocesorowy na podstawie prędkości referencyjnej oblicza wartość realizowaną przyspieszenia. Porównanie tych dwóch wielkości z założonym parametrem będzie podstawą do oceny zjawiska.

W zmodernizowanych elektrycznych zespołach trakcyjnych system diagnostyki układu pneumatycznego monitoruje między innymi transmisję danych. Jest to wdrożenie modelu opracowanego we wcześniejszym zadaniu projektu.

W przypadku prawidłowej pracy magistrali CAN wszystkie stany awarii powinny mieć wartość 0 a sygnały licznikowe powinny płynnie zmieniać swoje wartości od 0 do 255.

Z analizy zarejestrowanych przebiegów wynikało, że tablice wagonów skrajnych komunikowały się prawidłowo po magistrali CAN, natomiast tablica wagonu środkowego nie odbiera i nie nadaje żadnych ramek po magistrali CAN co sugerowało uszkodzenie konwertera RS232/CAN CANh-B lub okablowania dotyczącego tego modułu.

Rozbudowując układ diagnostyczny o ciągłą analizę takich sygnałów można opracować model prognozujący awarię sieci hamulcowej CAN.

W przypadku awarii magistrali CAN system sterowania układem tablic pneumatycznych przechodzi automatycznie na sterowanie hamulcem EP, tak by sumaryczna siła hamowania była zachowana. Chwilowe stany awarii magistrali CAN nie pogarszają skuteczności hamowania dla prowadzącego pojazd i tym samym minimalizujące możliwość zauważenia tego faktu na manometrach pokładowych.

W przypadku diagnozowania magistrali CAN w układzie tablic hamulcowych e.z.t. do progno-

zowania można wykorzystać sygnały awarii. Pojawianie się chwilowych zaników transmisji świadczy o pogarszaniu się stanu magistrali hamulcowej CAN, a zwiększenie częstotliwości zaników transmisji generuje sygnał o konieczności sprawdzenia magistrali i usunięcia ewentualnej usterki.

4. Swoistym podsumowaniem prac było przeprowadzenie badań sterownika 88ZE-02, będącego jednym z elementów opracowanego systemu diagnostycznego opracowanego na bazie wyników prac niniejszego projektu, na zgodność z wymaganiami norm kompatybilności elektromagnetycznej.

Kompatybilne urządzenia są odporne na przepięcia i zmiany w sieci elektroenergetycznej, wyładowania elektrostatyczne, fale radiowe i inne zjawiska elektromagnetyczne.

Badania przeprowadzono w Laboratorium Urządzeń Elektronicznych Instytutu Logistyki i Magazynowania realizującym program badań EMC (kompatybilności elektromagnetycznej), który obejmuje:

- a) emisję zaburzeń elektromagnetycznych:

- napięcia na przewodach sieci zasilającej w paśmie częstotliwości 150 kHz do 30 MHz (np. PN-EN 55022)
- natężenia pól w paśmie częstotliwości 30 MHz do 1 GHz z zastosowaniem GTEM
- harmoniczne prądu - PN-EN 61000-3-2
- migotania światła (flicker) - PN-EN 61000-3-3

W opisywanym przypadku pomiar został przeprowadzony w komorze ekranującej SCM firmy Braden Shielding Systems, jako sieć sztuczną wykorzystano model ESH3-Z5 firmy Rohde&Schwarz, a pomiary wykonano z pomocą odbiornika ESCS30 firmy Rohde&Schwarz.

- b) odporność na wyładowania elektrostatyczne (ESD) - PN-EN 61000-4-2.

W ramach tego punktu przeprowadzono trzy rodzaje badań:

- ♣ *wyładowanie pośrednie*
- ♣ *wyładowanie bezpośrednio przez styk*
- ♣ *wyładowanie bezpośrednio przez powietrze*

Badania dla wyładowań przez styk zostały przeprowadzone napięciami 2, 4, i 6 kV oraz odpowiednio dla wyładowań w powietrzu 2, 4, i 8 kV zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie EN 61000-4-2.

- c) odporność na pole elektromagnetyczne o częstotliwościach radiowych - PN-EN 61000-4-3.

- d) odporność na szybkie elektryczne stany przejściowe (EFT/burst) - PN-EN 61000-4-4.

Test odporności na narażenie typu EFT/B (electrical fast transient/burst) był realizowany za pomocą serii pewnej liczby zakłóceń impulsowych, podawanych z generatora probierczego, sprzężonych odpowiednio z linią zasilania (lub/oraz z wejściami sterującymi, sygnałowymi) badanego obiektu. Znormalizowanym sygnałem testującym były impulsy w postaci paczki impulsów grzebieniowych. Częstotliwość repetycji impulsów w serii zależy od amplitudy

napięcia  $U$  na otwartych zaciskach wyjściowych generatora probierczego.

Pojedynczy impuls grzebieniowy zwany również impulsem typu Burst, powinien charakteryzować się czasem narastania 5 ns i czasem opadania (do półszczytu) 50 ns. Częstotliwość impulsów w serii powinna wynosić 2,5 lub 5 kHz, czas trwania serii 15 ms, natomiast okres powtarzania serii 300 ms. Amplitudy umownych impulsów zależą od typu sieci. W obwodach zasilania i uziemienia występują impulsy o amplitudach do 4 kV, natomiast w obwodach interfejsowych do 2 kV.

e) odporność na zaburzenia udarowe (surge) - wg PN-EN 61000-4-5.

Oprócz wyładowań atmosferycznych źródłem przepięć mogą być zjawiska związane z przełączaniem urządzeń elektrycznych dużej mocy. Włączanie i wyłączanie urządzeń dużej mocy dołączonych do sieci energetycznej może powodować powstawanie przepięć w dołączonych lub znajdujących się w pobliżu urządzeniach. Normy dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej określają parametry zastępczych sygnałów elektrycznych, które są stosowane do symulacji przepięć w trakcie badań urządzeń. W normie EN 61000-4-5 dotyczącej metod badania odporności na narażenia udarami przyjęto dwa rodzaje udarów (ang. „surge”):

- o czasie trwania czoła impulsu 1,2  $\mu$ s i czasie półszczytu 50  $\mu$ s dla otwartego obwodu wyjściowego generatora (fala napięciowa) oraz odpowiednio 8  $\mu$ s i 20  $\mu$ s dla zwartego wyjścia generatora (fala prądowa),
- o czasie trwania czoła impulsu 10  $\mu$ s i czasie półszczytu 700  $\mu$ s.

f) odporność na zaburzenia radioelektryczne wprowadzane do przewodów - PN-EN 61000-4-6.

Badania przeprowadzono dla poziomu probierczego nr 3 określonego w normie EN 61000-4-6 jako przeznaczonego do badań urządzeń pracujących w środowisku o dużym promieniowaniu elektromagnetycznym, w którym używane są przenośne urządzenia nadawczo-odbiorcze (2 W i więcej), relatywnie blisko urządzeń, ale w odległości co najmniej 1 m. Badania przeprowadzono z użyciem generatora NSG2070-1, tłumika 6 dB/40 W typu INA 2070-1 firmy SHAFFNER oraz sieci sprzęgająco-odsprzęgającej LUTHI typu CDN-801.

g) odporność na pole magnetyczne o częstotliwości sieci elektroenergetycznej - PN-EN 61000-4-8.

h) odporność na impulsowe pole magnetyczne - PN-EN 61000-4-9.

i) odporność na spadki, krótkie zaniki i wahania napięcia zasilającego - PN-EN 61000-4-11.

Uzyskane wyniki badań potwierdzają spełnienie przez badane urządzenie wymogów norm w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej, tym samym dają gwarancję, że dane diagnostyczne pochodzące z tego urządzenia i tym samym wszelkie wskaźniki prognostyczne dotyczące innych urządzeń zabudowanych na pojeździe będą wiarygodne.

*Realizację projektu zakończono 31.12.2012 r.*