

Michał OPALA

Politechnika Warszawska
Wydział Transportu
Koszykowa 75, 00-662 Warszawa
opala@it.pw.edu.pl

ALGORYTMY DLA OPROGRAMOWANIA SYSTEMU MONITOROWANIA POJAZDU KOLEJOWEGO

Streszczenie:

W artykule przedstawiono zarys funkcjonalności pokładowego systemu monitorowania i diagnostyki elementów zawieszenia pojazdów szynowych w obszarze związanym z oprogramowaniem. Funkcjonalności te przedstawiono przede wszystkim w formie algorytmów i procedur jakie są realizowane przez programy sterujące. System tworzony jest w ramach projektu MONIT.

Słowa kluczowe: monitorowanie, diagnostyka, pojazdy, szynowe

WPROWADZENIE

Monitorowanie stanu pojazdu szynowego ma na celu przede wszystkim poprawę jego bezpieczeństwa czynnego. Monitorowanie to zorganizowany, ciągły sposób obserwacji. Natomiast poprzez *stan układu* rozumie się najmniejszy liczebnie zespół współrzędnych (parametrów), wystarczający do przewidywania zachowania się tego układu[4]. Skupiamy się więc na układzie jezdnym pojazdu, czyli zestawach kołowych (monitorowanie stanu osi, powierzchni tocznej kół), łożyskach maźniczych (detekcja uszkodzeń łożysk, kontrola temperatury łożysk) oraz elementach usprężynowania pierwszego i drugiego stopnia. W naszym przypadku wykorzystujemy tzw. monitoring online [1], gdzie czujniki, jednostka realizująca procedury diagnostyczne, moduł rejestrujący dane pomiarowe są zamontowane na wagonie oraz na część, w której działają procedury diagnostyczne zlokalizowane poza pojazdem.

Istotnym zagadnieniem jest wybór ilości oraz położenia punktów pomiarowych. Z reguły wybór ten jest pewnym kompromisem pomiędzy rozbudowaniem systemu o dodatkowe czujniki umożliwiające bardziej szczegółową diagnostykę, a sferą ekonomiczną, a więc kosztami systemu w przeliczeniu na jeden pojazd szynowy. Na etapie początkowym, przy doborze ilości i położenia punktów pomiarowych można posłużyć się badaniami symulacyjnymi [2].

Jednym z istotniejszych elementów składowych systemu są czujniki odpowiedzialne za zebranie kluczowych z punktu widzenia wibrodiagnostyki informacji na temat drgań elementów zawieszenia monitorowanego pojazdu.

Kolejnym istotnym elementem jest Jednostka Akwizycji Danych (JAD), która ma za zadanie zebrać dane uzyskiwane z czujników, zmienić charakter informacji z analogowej na cyfrową oraz dokonać wstępnej analizy danych pomiarowych na podstawie wyznaczonych progów alarmowych. Jej kolejnym zadaniem jest utworzenie pakietu informacji oraz przygotowanie go do wysyłki do serwera systemu. Pozostałe elementy składowe systemu to

system transmisji danych, mający za zadanie przesyłać pakiety danych z jednostki akwizycji danych do serwera, który podda dane dalszej analizie oraz system określania położenia, którego zadaniem jest wyznaczenie pozycji pojazdu szynowego. Informacja ta wraz ze znacznikiem JAD/pojazdu pozwala na jednoznaczną identyfikację, w którym składzie i gdzie znajduje się monitorowany pojazd, co pozwala zaplanować wykonanie koniecznych napraw lub przeglądów.

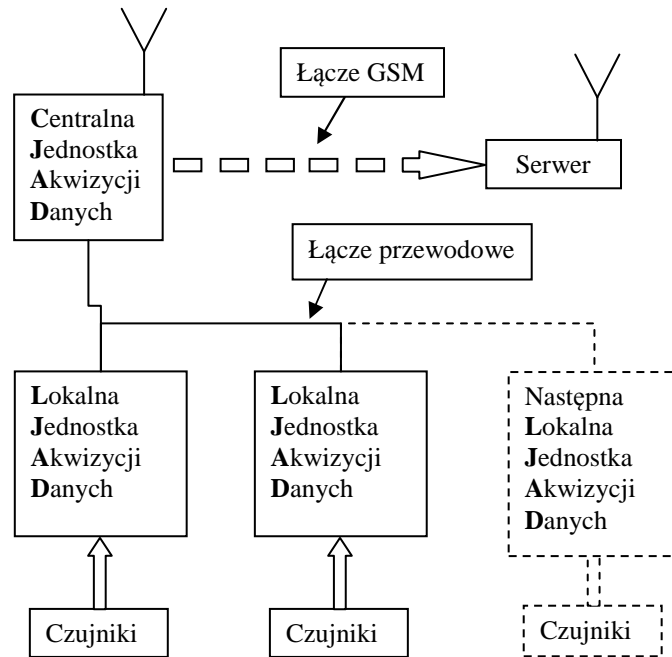
1. FUNKCJONALNOŚĆ SYSTEMU

Ze względu na dopasowanie warstwy sprzętowej systemu do konkretnych wymagań i typów pojazdów, konstrukcja JAD jest modułowa. Oznacza to że zamiast jednego urządzenia mającego stałą, ograniczoną liczbę wejść sygnałów pomiarowych możemy rozdzielić jego funkcje na moduł centralny CJAD i pewną ilość lokalnych modułów dodatkowych LJAD, w zależności od potrzeby. W takiej konfiguracji CJAD pełni rolę urządzenia nadrzędnego, zbierającego dane z poszczególnych modułów LJAD. Następnie dane te poddaje analizie i komunikuje się z serwerem (ewentualnie wysyła także podstawowe informacje do maszynisty). Natomiast moduły LJAD są to urządzenia pomiarowe zawierające przetworniki analogowo-cyfrowe, do których podłączone są czujniki, rozmieszczone w różnych punktach pojazdu. Moduły LJAD komunikują się tylko ze swoją jednostką centralną CJAD.

Opisane powyżej urządzenia będące elementami systemu monitorowania, a przede wszystkim jednostka akwizycji danych oraz serwer wraz ze stacjami operatorskimi, wymagają odpowiedniego oprogramowania sterującego. Koncepcja systemu wymaga, aby urządzenia te w czasie normalnej eksploatacji wykonywały swoje funkcje automatycznie, praca wykonywana przez człowieka powinna ograniczać się do okresowego nadzorowania informacji płynących z urządzeń i ewentualnego reagowania, jeśli wymaga tego sytuacja.

Oprogramowanie systemu przeznaczone jest dla platformy sprzętowej, której ogólna struktura przedstawiona jest na rys.1. Struktura ta dostosowana jest do różnych typów pojazdów kolejowych, w szczególności, pojazdu typu wagon oraz zespół trakcyjny ZT (elektryczny lub spalinowy). W praktyce, z punktu widzenia systemu monitorowania, istnieje szereg różnic w budowie i eksploatacji tych dwóch typów pojazdów. Jedną z różnic jest sposób łączenia wagonów w składy pociągu. W przypadku zespołu trakcyjnego, poszczególne człony- wagony pasażerskie i silnikowe, są nierozłączalne w warunkach eksploatacyjnych. Natomiast w przypadku typowego pociągu, układ poszczególnych wagonów może być niemal dowolnie zmieniany w czasie eksploatacji, wagony mogą być także zamieniane pomiędzy różnymi pociągami. Z tego wynikają również różnice w sposobie połączeń elektrycznych, mogących przesyłać sygnały np. pomiędzy lokomotywą a poszczególnymi wagonami.

W przypadku zespołu trakcyjnego jedna centralna jednostka akwizycji danych CJAD może być podłączona do kilku jednostek lokalnych LJAD (modułów pomiarowych) zbierających dane z różnych punktów pociągu. Natomiast w przypadku zwykłego pociągu, każdy wagon stanowi niezależną od reszty część zawierającą CJAD i wymaganą liczbę LJAD (liczba jednostek LJAD zależy od liczby wykorzystywanych czujników, każdy LJAD może obsługiwać ograniczoną liczbę czujników).



Rys. 1. Struktura systemu.

Źródło: opracowanie własne.

W dalszej części przedstawiony jest sposób zbierania danych oraz ich rodzaj, dane te mają posłużyć do uzyskania informacji diagnostycznej.

Tryby pracy

Rejestracja sygnałów przez JAD odbywa się w sposób ciągły, ale tylko wtedy, gdy pojazd znajduje się w ruchu a prędkość jazdy jest większa od przyjętej prędkości minimalnej. Pomiaru dokonywane są przy stałej prędkości jazdy, a częstotliwość zbierania danych uzależniona jest od prędkości pojazdu. Częstotliwość ta może być obliczona na podstawie przyjętej stałej częstotliwości spacji (tzn. stałej liczby próbek przypadającej na jeden metr przejechanej drogi). Np. jeżeli dane mają być zapisywane co 0.2m przebytej drogi, częstotliwość spacji wynosi $f_s=5\text{m}^{-1}$, natomiast częstotliwość wynosi $f=f_s*v$ [Hz], gdzie f_s - częstotliwość spacji, v - prędkość pojazdu [m/s].

Typy danych

Zbierane dane to wartości przyspieszeń pionowych i poprzecznych odpowiednich punktów ramy wózka i nadwozia wagonu oraz temperatura łożysk osi zestawów kołowych, są to „surowe” dane z czujników. Oprócz tego zbierane są także dane o prędkości pojazdu, czasie i położeniu geograficznym pochodzące z odbiornika GPS. Pojedynczy pakiet danych składa się z nagłówka i części zawierającej dane diagnostyczne, struktura pakietu przedstawiona jest jako tab. 1. Blok danych zawiera wartości przyspieszeń zarejestrowane na odcinku toru o odpowiedniej długości, dobór długości odcinka pomiarowego zależy od wielu czynników, m.in. od stanu toru, prędkości jazdy, rodzaju i stopnia uszkodzenia. Z innych doświadczeń, w tym z symulacji wynika, że uszkodzenie zawieszenia najbardziej uwydatnia się na znacznych nierównościach toru. Dane w postaci pakietów zapisywane są w sposób ciągły do bufora a następnie analizowane statystycznie. Nieprzydatne pakiety danych są następnie kasowane.

Tabela 1. Struktura pakietu danych

Nagłówek						
Typ pakietu 0 (0-pakiet danych; 1-pakiet kontrolny)						
Wersja pakietu (oznacza zmiany struktury pakietu)						
Data/Czas (UTC w formacie OLE Automation date)						
Położenie geograficzne – długość (+ dla E oraz – dla W)						
Położenie geograficzne – szerokość (+ dla N oraz – dla S)						
Numer wagonu						
Numer jednostki akwizycji danych						
Liczba kolumn w bloku danych						
Liczba wierszy w bloku danych						
Jakość sygnału GPS						
HDOP						
Numery kanałów/czujników w poszczególnych kolumnach						
Blok danych						
Droga [m]	Czas [ms]	Prędkość pojazdu [km/h]	Kanał_1	Kanał_2	Kanał_3	Kanał_N
...

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2. Struktura pakietu kontrolnego

Nagłówek			
Typ pakietu 1 (0-pakiet danych częstotliwość spaczalna; 1-pakiet kontrolny)			
Wersja pakietu (oznacza zmiany struktury pakietu)			
Data/Czas (UTC w formacie OLE Automation date)			
Numer wagonu			
Numer jednostki akwizycji danych			
Numer rodzaju powiadomienia			
Identyfikator pakietu danych			
Liczba wierszy w bloku danych			
Blok danych			
Indeks kanału drganiowego lub „NA” dla kanałów procesowych	Nazwa analizy lub indeks kanału procesowego	Wartość limitu	Wartość analizy
...

Źródło: opracowanie własne.

Oprócz pakietów danych zawierających surowe dane z czujników, wykorzystywany jest także drugi rodzaj pakietów tzn. pakiety kontrolne (tab. 2). Pakiet kontrolny zawiera informację zbiorczą tzn. powiadomienia o przekroczeniu wartości dopuszczalnych na wszystkich kanałach i informację o ewentualnych błędach systemu monitorowania, takich jak np. przepełnienie pamięci.

W omawianym przykładzie przyjęto pięć klas powiadomień: praca normalna, ostrzeżenie, ostrzeżenie krytyczne, alarm, alarm krytyczny. Klasa powiadomienia zależy od stopnia przekroczenia wartości dopuszczalnych (tab. 3).

Tabela 3. Przykład oceny zmian dla danej funkcji statystycznej

Miara	Klasa	Powiadomienie	Stan obiektu		
0-25%	0	brak	bezpieczny	sprawny	zdatny
>25-50%	1	ostrzeżenie	bezpieczny	sprawny	
>50-75%	2	ostrzeżenie krytyczne	bezpieczny	sprawny	
>75-100%	3	alarm	niebezpieczny	sprawny	
> 100%	4	alarm krytyczny	niebezpieczny	niesprawny	niezdatny

Źródło: opracowanie własne.

Pierwsza kolumna tabeli „Miara” oznacza stosunek wartości danego wskaźnika diagnostycznego do jego wartości dopuszczalnej. Np. gdy wartość skuteczna RMS zmierzonego sygnału przyspieszenia nie przekracza 25% wartości dopuszczalnej wtedy nie są generowane ostrzeżenia/alarmy. W przypadku przekroczenia normatywnej wartości dopuszczalnej, generowany jest alarm krytyczny

2. ALGORYTMY MONITOROWANIA STANU

Z punktu widzenia diagnostyki kluczową częścią SMD są algorytmy monitorowania stanu, dzięki którym ogromne ilości mierzonych danych zamieniane są na użyteczną informację. Oparte na przedstawionym poniżej opisie, działające algorytmy zostały zaimplementowane w kodzie maszynowym na odpowiednim poziomie systemu (jednostki akwizycji danych oraz serwera).

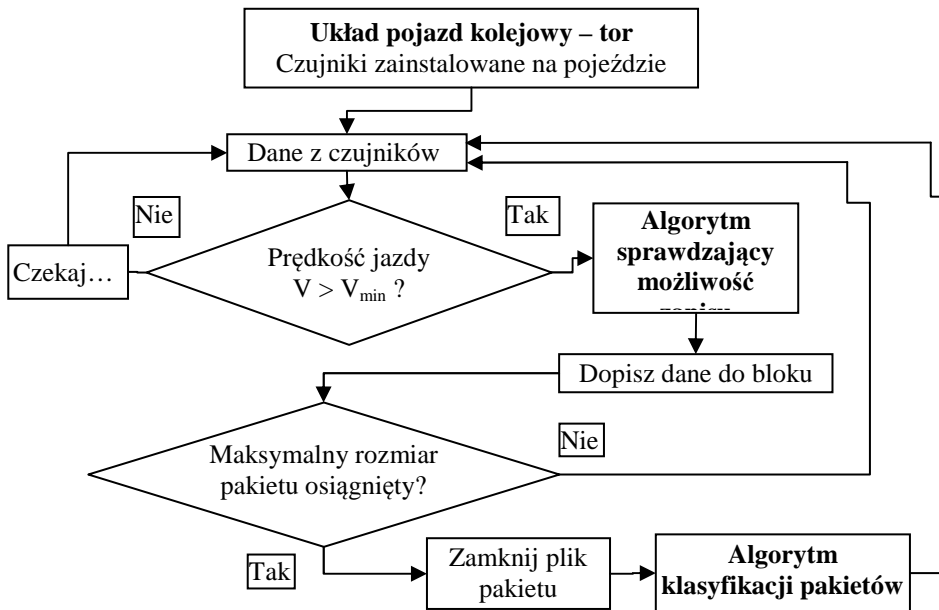
2.1 Algorytmy monitorowania poprawność działania systemu

Warunkiem koniecznym dla monitorowania stanu jest poprawne działanie samego systemu monitorowania. Za najbardziej newralgiczną część systemu można uznać instalacje wykonaną na pojeździe, w szczególności połączenia elektryczne czujników i jednostek akwizycji danych oraz wewnętrzny system jednostki akwizycji danych i modułów komunikacji. Monitorowaniu poprawności działania podlega również serwer systemu.

W szczególności kontroli podlegają takie obszary jak: tory wejściowe i wyjściowe (np. kontrola dopuszczalnych wartości maksymalnych i minimalnych), komunikacja (utrata komunikacji), rozmiar wolnej przestrzeni na dysku/pamięci nieulotnej oraz RAM. W przypadku wystąpienia problemów w którymkolwiek z obszarów, generowane jest i zapisywane do pliku zdarzenie (ostrzeżenie, alarm), zdarzenie to zawiera podstawowe informacje potrzebne do zlokalizowania niesprawności np. numer toru wejściowego podającego niepoprawne wartości oraz wartości przykładowe. Przy najbliższej udanej próbie komunikacji zdarzenia te zostają przesłane priorytetowo do serwera.

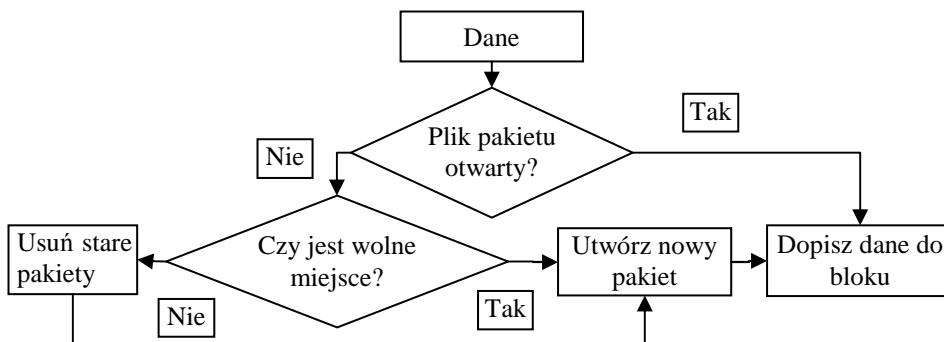
2.2 Algorytmy monitorowania badanego zjawiska

Pakiety danych zapisywane są do nieulotnej pamięci wewnętrznej jednostki akwizycji danych. W momencie gdy zajętość obszaru pamięci przekroczy pewien poziom, program kasuje pewną liczbę najstarszych pakietów danych. W pierwszej kolejności kasowane są wszystkie pakiety, które już zostały wysłane. Jeżeli próby komunikacji i wysłania nie powiodły się wtedy kasowana jest pewna część wszystkich pakietów zaczynając od najstarszych. Zanim dojdzie do skasowania, pakiety są wstępnie oceniane przez program ze względu na maksymalne wartości skuteczne (lub inne wskaźniki) zapisanych sygnałów. W przypadku gdy wartość skuteczna przekroczy pewien poziom (dla danej prędkości jazdy) pakiet klasyfikowany jest jako przeznaczony do wysłania, jednocześnie generowana jest także informacja o tym zdarzeniu i zapisywana w osobnym pliku.



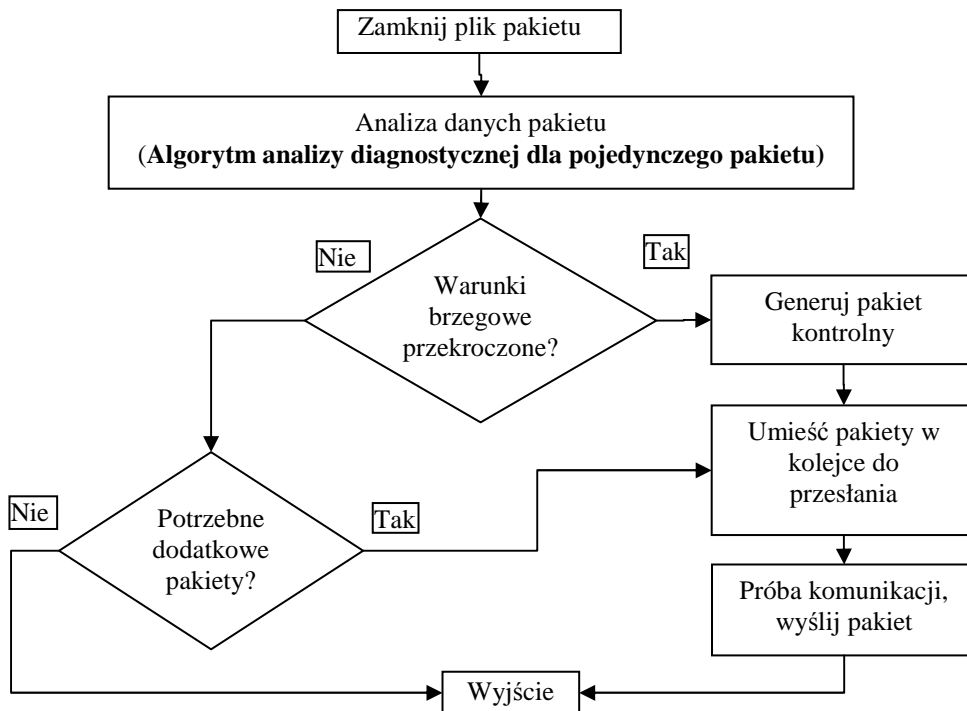
Rys. 2. Algorytm monitorowania.

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Algorytm sprawdzający możliwość zapisu

Źródło: opracowanie własne.

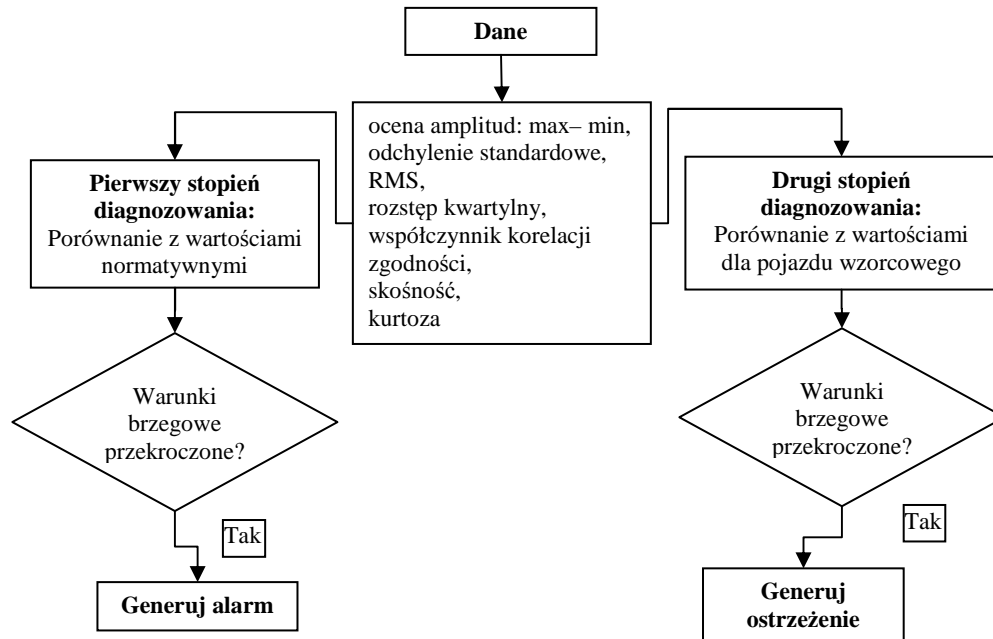


Rys. 4. Algorytm klasyfikacji pakietów.

Źródło: opracowanie własne.

2.3 Algorytmy diagnostyczne

Zebrane dane są przetwarzane w celu uzyskania użytecznej informacji, która posłuży do detekcji, lokalizacji i identyfikacji uszkodzeń. Ogólnie przyjęto trzy poziomy diagnozowania układu pojazd szynowy-tor. Pierwszy z nich obejmuje wykorzystanie miar bezwzględnych tzn. porównanie charakterystyk sygnałów przyspieszeń z wartościami normatywnymi przyjętymi na podstawie przepisów. Drugi poziom wykorzystuje sposób porównywania charakterystyk sygnałów pomiędzy pojazdem badanym i wzorcowym (rys. 5). Pierwsze dwa poziomy diagnozowania realizowane są przez jednostkę akwizycji danych, natomiast trzeci poziom to dodatkowa analiza diagnostyczna odbywająca się na serwerze i stacjach operatorskich. Analiza ta polega na porównywaniu wskaźników diagnostycznych pomiędzy poszczególnymi wagonami tego samego składu (rys. 7). Aby pakiety mogły posłużyć do analizy porównawczej, poszczególne jednostki akwizycji rozmieszczone w kolejnych wagonach tego samego składu muszą zebrać dane z tego samego odcinka drogi, a więc chwila rozpoczęcia zapisu danych do pliku musi być zsynchronizowana pomiędzy kolejnymi wagonami. Chwila rozpoczęcia zapisu do pliku we wszystkich wagonach ustalana jest na podstawie wskazań wewnętrznego zegara jednostki akwizycji, okresowo zsynchronizowanego z zegarem GPS. Możliwe jest także przeprowadzenie analizy porównawczej bez dokładnej synchronizacji chwili rozpoczęcia zapisu danych. W tym celu należy przeprowadzić dodatkową analizę pakietów pochodzących z różnych wagonów. Analiza ta, na podstawie zapisanego położenia geograficznego, pozwoli na wyselekcjonowanie części wspólnej danych z tego samego odcinka toru.



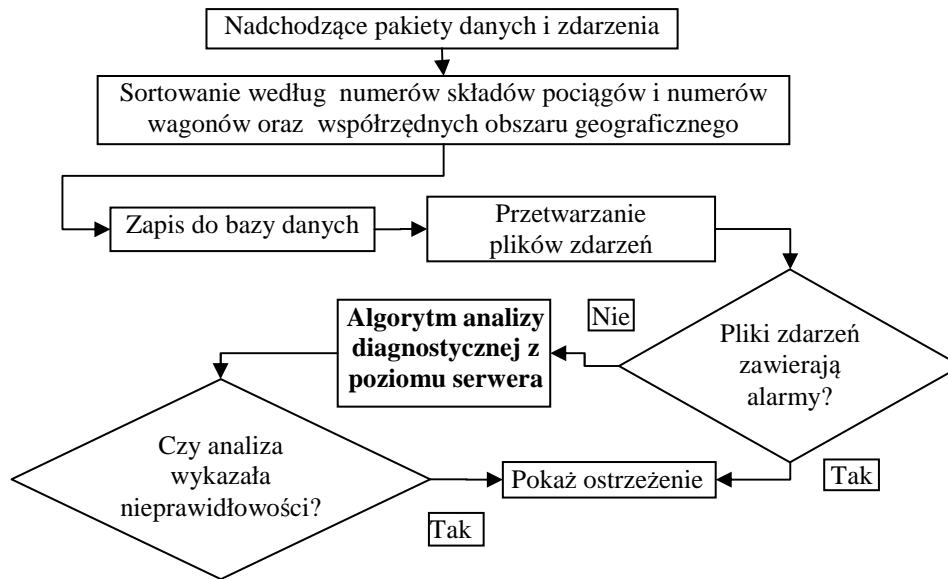
Rys. 5. Algorytm analizy diagnostycznej dla pojedynczego pakietu

Źródło: opracowanie własne.

3. SERWER SYSTEMU

Serwer systemu (bądź serwery w rozbudowanych instalacjach) monitorowania i diagnostyki jest centralnym elementem całego systemu. Realizuje on takie funkcje jak: pobieranie danych z jednostek akwizycji za pośrednictwem sieci GSM, przetwarzanie danych, kontrola przekroczeń progów alarmowych, rejestracja danych w bazie, powiadomianie operatorów o sytuacjach awaryjnych. Serwer działa na zasadzie bazy, do której spływają informacje wysyłane z pojazdów. Informacje te wysyłane są okresowo. Pierwszym typem informacji są dane o zdarzeniach (np. wykryte błędy w działaniu podsystemów jednostek akwizycji danych zamontowanych w pojazdach). Drugi rodzaj otrzymywanych informacji to pakiety danych zawierające informacje diagnostyczne. Pakiety te wysyłane są do serwera przez jednostki akwizycji danych z pojazdów jeżeli spełnione są warunki opisane w punktach „Algorytmy monitorowania badanego zjawiska” oraz „Algorytmy monitorowania poprawności działania systemu”.

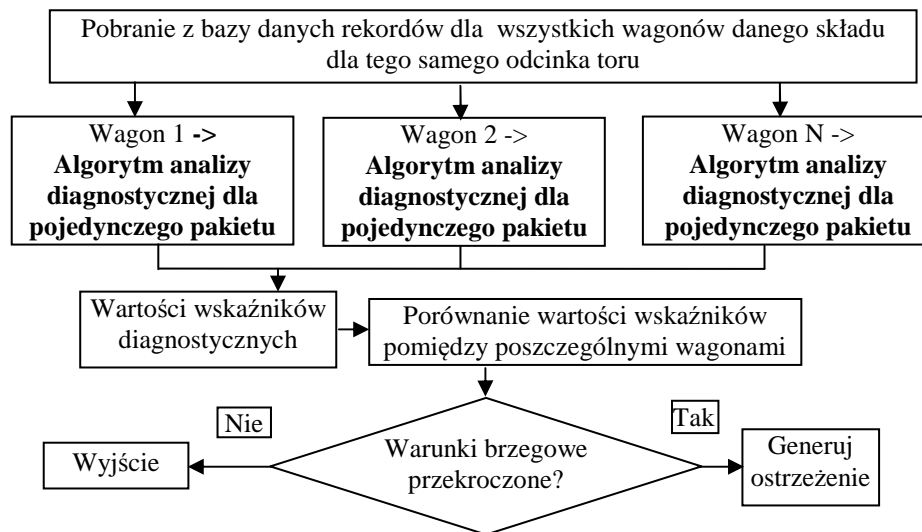
Wariant rozszerzony może uwzględniać możliwość wysyłania przez serwer instrukcji sterujących dla jednostek akwizycji danych. Przykładem może być wysłanie instrukcji, która włączy/wyłączy tryb ciągłej rejestracji i wysyłki danych niezależnie od ustalonych warunków brzegowych.



Rys. 6. Algorytm automatycznego przetwarzania danych nadchodzących do serwera

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku automatycznej analizy danych na poziomie serwera, brane są pod uwagę nie tylko wartości odpowiednich wskaźników diagnostycznych dla pojedynczego wagonu, ale także wskaźniki te porównywane są pomiędzy wagonami (rys.7).



Rys. 7. Algorytm analizy diagnostycznej z poziomu serwera

Źródło: opracowanie własne.

PODSUMOWANIE

Złożony system kolejowy pojazdów szynowych wymaga wielu informacji do poprawnego i bezpiecznego funkcjonowania. Są one możliwe do pozyskania z badań stanu dynamicznego, jednak ich pozyskiwanie i przetwarzanie jest skomplikowane [5]. Z reguły, użytkownicy systemów kolejowych oczekują na łatwe w obsłudze narzędzia, ułatwiające ich pracę. Niniejszy artykuł stanowi przykład prac nad rozwojem systemów monitorowania i diagnostyki dla pojazdów szynowych, a przedstawiona koncepcja jest w fazie testowania pod względem efektywności diagnostycznej i ekonomicznej (koszty systemu mają istotne

znaczenie ze względu na jego komercyjny charakter). Przedstawiony fragment prac pokazuje ogólną koncepcję części systemu związanej z oprogramowaniem. Tego typu systemy monitorowania i diagnostyki stają się istotnym elementem bezpieczeństwa czynnego wielu typów maszyn [1], w tym także środków transportu publicznego.

Adkownlede: Artykuł powstał w związku z realizacją projektu MONIT („MONITOROWANIE TECHNICZNEGO STANU KONSTRUKCJI I OCENA JEJ ŻYWOTNOŚCI”), Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka Oś priorytetowa 1: Badania i rozwój nowoczesnych technologii, Działanie 1.1: Wsparcie badań naukowych dla budowy gospodarki opartej na wiedzy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Chudzikiewicz A.: Elementy diagnostyki pojazdów szynowych, Monograficzna seria Wydawnicza Biblioteki Problemów Eksploatacji Instytut Technologii Eksploatacji, Politechnika Warszawska, 2002.
- [2] Chudzikiewicz A., Opala M., Drożdźiel J., Sowiński B.: Symulacyjna ocena monitorowania stanów pojazdu szynowego typu wagon, Międzynarodowa Konferencja Naukowa Transport XXI Wieku, Warszawa, pp. 175, 2010
- [3] Uhl T., Barszcz T.: Informatyczne aspekty projektowania systemów monitorowania stanu maszyn – sprzęt i oprogramowanie, Diagnostyka, vol.24, pp. 13-22, 2001.
- [4] Niziński S., Elementy diagnostyki obiektów technicznych, Wyd. Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn 2001.
- [5] Żółtowski B., Castaneda L.: Badania pojazdów szynowych, Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, 2009.

ALGORITHMS FOR THE MONITORING SYSTEM SOFTWARE IN THE RAILWAY VEHICLE

Abstract:

The paper outlines the software functionality of the on-board monitoring and diagnosis system of the railway vehicles running gear. The functionalities are presented mostly in the form of algorithms and procedures which are realized by the controlling programs. The system is elaborated under MONIT framework program.

Keywords: monitoring, diagnostics, railway, vehicles