

Bartosz Czechyra
Bartosz Firlik
Wydział Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej

Andrzej Chudzikiewicz
Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej

ZAŁOŻENIA I PODSTAWOWE WYMAGANIA SYSTEMU MONITOROWANIA STANU TECHNICZNEGO LEKKIEGO POJAZDU SZYNOWEGO

Streszczenie: Artykuł jest poświęcony założeniom oraz podstawowym wymaganiom, jakie powinien spełniać system monitorowania stanu technicznego lekkiego pojazdu szynowego. W pracy omówiono różnice pomiędzy klasycznymi a lekkimi pojazdami szynowymi, wskazano brak możliwości przeniesienia wprost doświadczeń kolejowych na eksploatację lekkich pojazdów szynowych typu tramwaj. Dalej zamieszczono przykładowe charakterystyki drganiowe z prowadzonych badań nad dynamiką lekkich pojazdów szynowych w warunkach normalnej eksploatacji. Charakterystyki te stały się podstawą określenia założeń do budowy systemu monitorowania stanu technicznego układu biegowego i usprężynowania tramwajów eksploatowanych w Polsce. Artykuł zakończono wnioskami dotyczącymi dalszych prac nad budową systemu monitorowania stanu technicznego tramwajów w warunkach normalnej eksploatacji.

Słowa kluczowe: tramwaj, system monitorowania stanu technicznego, diagnostyka, dynamika

1. WPROWADZENIE

Funkcjonowanie dużych ośrodków miejskich wiąże się nieodłącznie z ułatwieniem mieszkańcom przemieszczania się, niezależnie od powodów wywołujących zaistniałe potrzeby komunikacyjne, oraz sposobów pokonywania przestrzeni. Zapewnienie sprawnie działającego transportu publicznego w miastach jest zasadniczym problemem, od którego rozwiązania zależy ich prawidłowe funkcjonowanie. Poprawa bezpieczeństwa i niezawodności pojazdów – w tym także tramwajów, jest jednym z bardzo ważnych zagadnień w działaniach przedsiębiorstw transportu publicznego.

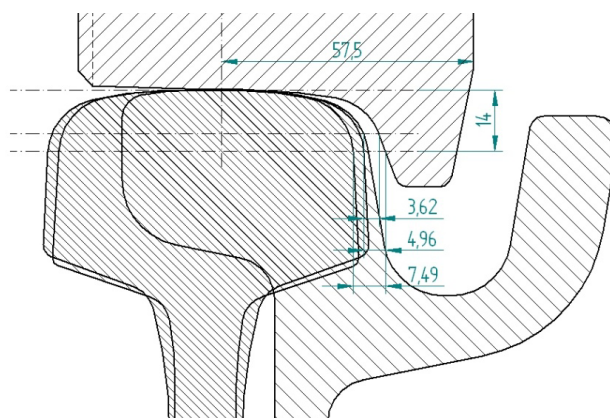
Większość systemów monitorowania stanu pojazdu i toru stosowanych jest wyłącznie w przypadku klasycznych pojazdów szynowych. Tymczasem renesans komunikacji

tramwajowej w Europie i na świecie powoduje, że linie tramwajowe wracają do łask, a tramwaje z roku na rok przewożą coraz większą liczbę pasażerów. W tym aspekcie, częste monitorowanie stanu technicznego lekkiego pojazdu szynowego oraz toru tramwajowego ma istotny wpływ na właściwe planowanie realizacji procesu transportowego oraz obniżenie kosztów utrzymania taboru i infrastruktury, co pozwala na lepsze, bardziej efektywne ich wykorzystanie [1].

2. WYBRANE CECHY LEKKICH POJAZDÓW SZYNOWYCH

Rozważając koncepcję budowy systemu monitorowania stanu technicznego tramwaju należy wziąć pod uwagę cechy wspólne, ale i różniące ten typ pojazdu od klasycznego pojazdu szynowego. Podjęcie tej tematyki jest tym ważniejsze, że lekkie pojazdy szynowe charakteryzują się innymi cechami konstrukcyjnymi oraz warunkami eksploatacji niż klasyczne pojazdy. Podstawowe różnice pomiędzy pojazdami klasycznymi i lekkimi to:

- mniejsza masa własna,
- mniejsza baza wózka i pudła,
- mniejsze promienie kół,
- niewielkie prędkości jazdy,
- duża częstotliwość przejazdów,
- odmienna specyfika sieci tramwajowej,
- odmienny sposób prowadzenie koła w torze,
- stosowane profile kół i szyn wpływające na warunki ruchu i dynamikę pojazdu (rys. 1).

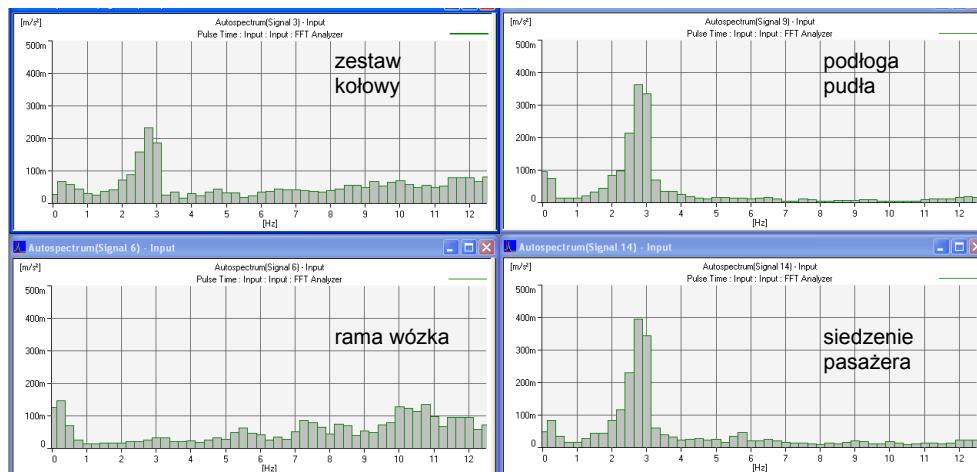


Rys. 1. Graficzne porównanie współpracy koła o profilu PST z szynami Ri60N, S49 i S60 [5]

Brak możliwości bezpośredniego wykorzystania wiedzy i doświadczeń płynących z eksploatacji klasycznych pojazdów szynowych w stosunku do lekkich pojazdów szynowych powoduje, że wciąż istnieje konieczność prowadzenia badań w tej dziedzinie. Prowadzone przez autorów badania dynamiki lekkich pojazdów szynowych wskazują, że w kwestii bezpieczeństwa przed wykolejeniem, czy komfortu jazdy wciąż są zagadnienia, których opis wymaga kompleksowych analiz numerycznych i eksperymentalnych [2, 3, 6, 7, 8]

3. ZAŁOŻENIA KONCEPCYJNE SYSTEMU MONITOROWANIA STANU TECHNICZNEGO LEKKIEGO POJAZDU SZYNOWEGO

Głównym założeniem budowy systemu monitorowania układu biegowego pojazdu szynowego jest stwierdzenie, że wymuszenie od toru w czasie normalnej eksploatacji może być podstawą wnioskowania o stanie układu biegowego i zawieszenia pojazdu. Prowadzone badania nad wykorzystaniem wymuszenia operacyjnego do oceny aktywności wibroakustycznej pojazdu dowodzą, że istnieje możliwość kompleksowej oceny stanu poszczególnych elementów w czasie normalnej eksploatacji, bazując na sygnałach przyspieszeń drgań wybranych elementów konstrukcyjnych pojazdu [9, 10]. Poniżej przedstawiono przykładowe charakterystyki częstotliwościowe dla różnych stopni usprężynowania tramwaju wysokopodłogowego (rys. 2) oraz niskopodłogowego (rys. 3). W obu przypadkach jazda była prowadzona z prędkością 20km/h na tym samym odcinku toru prostego.

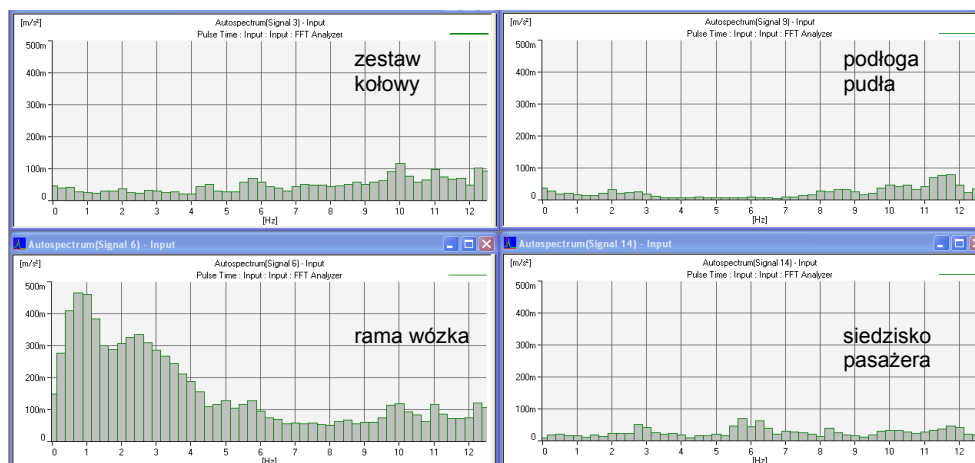


Rys. 2. Przyspieszenia drgań na poszczególnych stopniach usprężynowania tramwaju wysokopodłogowego

Jak wynika z rysunku 2, istnieje możliwość prostego opisu dynamiki całego układu zawieszenia wykorzystując rejestracje drgań na poszczególnych stopniach usprężynowania. Istnieje również możliwość wykrycia wady profilu koła (płaskie miejsce) objawiające się wyraźnym zwiększeniem amplitudy drgań w paśmie pierwszej harmonicznej obrotu koła (ok. 3Hz).

Tramwaj niskopodłogowy posiada zupełnie inną charakterystykę zawieszenia, która zapewnia lepsze tłumienie drgań – zwłaszcza o wysokich częstotliwościach. Elementem przejmującym większość drgań jest rama wózka, co można zaobserwować na rys. 3, przedstawiającym analizę sygnałów w dziedzinie częstotliwości.

Tramwaj niskopodłogowy jest pojazdem bardziej komfortowym, którego układ biegowy lepiej tłumić drgania pochodzące od toru. A zatem już na podstawie porównań można stwierdzić, że oba pojazdy są tak odległe konstrukcyjnie, że założenia systemu monitorowania stanu technicznego układu biegowego i zawieszenia muszą obejmować ocenę jakościową a nie ilościową.



Rys. 3. Przyspieszenia drgań na poszczególnych stopniach usprężynowania tramwaju niskopodłogowego

W związku z powyższym przyjęto, że:

- monitorowanie stanu pojazdu realizowane będzie z pozycji pojazdu (jednostka centralna systemu będzie zainstalowana na pojeździe)
- w procesie monitorowania stanu jako podstawowy nośnik informacji wykorzystany będzie sygnał wibroakustyczny (pomiar przyspieszeń drgań)
- badane zjawiska oceniane są wyłącznie jakościowo, monitorowane jest przekroczenie dopuszczalnych poziomów
- podstawową cechą systemu powinna być prostota wykonania i niskie koszty implementacji układu monitorowania
- system musi być kompatybilny z istniejącymi systemami informatycznymi tramwaju i nie zakłócać ich działania
- poszczególne przetworniki stanowią system rozproszony ułatwiający skalowanie systemu w zależności od typu pojazdu (ilości członów i wózków)
- diagnostyką docelowo objęte są wszystkie wózki pojazdu
- architektura systemu powinna być otwarta tak, aby możliwe było rozszerzenie jego funkcjonalności w trakcie użytkowania.

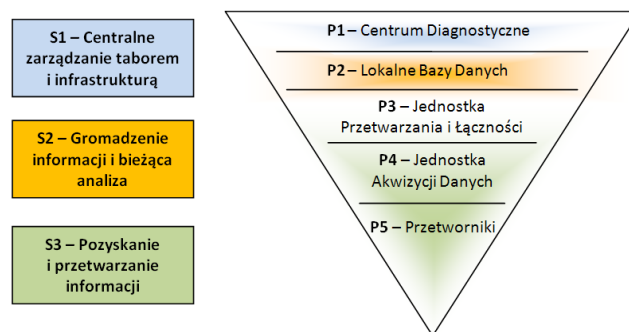
System spełniający te wymagania może być zastosowany we wszystkich tramwajach eksploatowanych w całej Polsce, a w przyszłości może stać się standardowym elementem wyposażenia każdego nowego tramwaju. Bazując na wcześniej wykonanych badaniach poligonowych w różnych miastach Polski należy stwierdzić, że system powinien być przystosowany do monitorowania i jakościowej oceny następujących zjawisk:

- zużycie elementów zawieszenia na I i II stopniu usprężynowania (utrata własności)
- uszkodzenie powierzchni tocznej koła (poligonizacja, płaskie miejsce)
- bieżąca ocena stabilności biegu oraz komfortu jazdy (w oparciu o wybrane kryteria)
- bieżąca ocena bezpieczeństwa przed wykolejeniem (w oparciu o wybrane kryteria)
- ewentualnie: ocena poziomu dźwięku w przedziale pasażerskim dla kontrolowania komfortu wibroakustycznego podróżujących.

4. STRUKTURA SYSTEMU MONITOROWANIA STANU TECHNICZNEGO LEKKIEGO POJAZDU SZYNOWEGO

4.1. Schemat strukturalny systemu

Ze względu na brak ujednoczenia sposobu zarządzania lekkimi pojazdami szynowymi (głównie w komunikacji miejskiej) oraz infrastrukturą w miastach, a także znaczne różnice w stanie ilościowym i jakościowym taboru pomiędzy potencjalnymi odbiorcami systemu diagnostycznego lekkich pojazdów szynowych, należy mieć na uwadze rozwiązanie możliwe uniwersalne. Uniwersalność proponowanego rozwiązania może być realizowana na kilku poziomach strukturalnych i decyzyjnych – od uniwersalnego systemu diagnostyki pokładowej ze zmienną funkcjonalnością, aż po wielowątkowy dostęp do danych diagnostycznych umieszczonych na serwerze centrum diagnostycznego. Struktura takiego systemu może być oparta o pionowy przepływ informacji ilustrowany na rysunku 4.



Rys. 4. Struktura systemu diagnostyki i monitorowania Lekkiego Pojazdu Szynowego SD&M_LPSz; Bloki strukturalne (po lewej) oraz poziomy funkcjonalne (po prawej)

Blok S1 – Centralne zarządzanie taborem i infrastrukturą

Główny serwer SMD, na którym znajdują się wszystkie dane diagnostyczne pojazdów oraz diagnozy cząstkowe wszystkich obiektów objętych monitoringiem w całej historii funkcjonowania systemu. Zbiór danych będzie na bieżąco kontrolowany przez odpowiednie oprogramowanie w celu wykrycia prawidłowości i relacji w funkcjonowaniu całego systemu pojazd-infrastruktura. Z tego poziomu będą dokonywane analizy systemowe dotyczące strategii użytkowania poszczególnych typów pojazdów oraz utrzymania i rozwoju infrastruktury. Przy integracji z systemem ITS (Intelligent Transportation System) będzie możliwość wsparcia zarządzania potokami ruchu oraz zintegrowanego interweniowania w sytuacjach kryzysowych.

Blok S2 – Gromadzenie informacji i bieżąca analiza

Lokalny serwer SMD zlokalizowany np. w zajezdni tramwajowej, na którym znajdują się dane diagnostyczne wszystkich pojazdów objętych monitoringiem, przypisanych do zajezdni. Informacje są aktualizowane na bieżąco w zakresie krytycznych zdarzeń odnotowywanych na poziomie pojazdu/infrastruktury (lub całościowo w systemach on-line) oraz aktualizowane w pełnym zakresie informacji/sygnatów z obiektów w przyjętych cyklicznych odstępach czasu związanych np. z przejazdem przez węzeł łączności na

pętlach lub w kluczowych punktach miasta, albo też raz na dobę w systemach off-line, w chwili zjazdu do zajezdni po służbie.

Blok S3 – Pozyskanie i przetwarzanie informacji

Blok S3 jest związany bezpośrednio z funkcjonowaniem elementów wykonawczych na pojeździe. Jego głównymi funkcjami są:

- pozyskanie sygnałów z przetworników,
- obróbka danych polegająca na estymacji wartości parametrów diagnostycznych,
- wyznaczanie diagnoz cząstkowych,
- pozyskanie dodatkowych danych deklарowanych w systemie (np. dane telemetryczne),
- tworzenie i zapis kodu komunikatu,
- wysłanie komunikatu do serwera.

4.2. Poziomy funkcjonalne systemu

Strukturę systemu można również opisać funkcjonalnościami poszczególnych elementów.

Poziom 1 – Centrum Diagnostyczne

Serwer nadrzędny zlokalizowany na poziomie właściciela lub zarządcy systemu transportowego, udostępniany na potrzeby centralnego zarządzania informacją i bieżącego śledzenia ewolucji stanu całego systemu transportowego.

Poziom 2 – Centralne Bazy Danych

Ze względu na przyporządkowanie pojazdów do zajezdni, proponuje się ustanowienie lokalnych serwerów indywidualnie na poziomie zajezdni do obsługi pojazdów jej przypisanych. Przesyłanie pełnego woluminu informacji będzie się odbywało raz na dobę każdorazowo przy zjeździe pojazdu po służbie. Przesyłanie może odbywać się poprzez bezprzewodową łączność w hali obsługowej lub innym miejscu na terenie zajezdni.

Doraźne przesyłanie informacji o stanie alarmów pojazdu i awarii systemów/układów krytycznych może być realizowane różnych wariantach w zależności od potrzeb odbiorcy. Przewiduje się również możliwość przenoszenia danych z pojazdów na nośnikach typu pamięć Flash, działających na pojazdach, jako pamięć dyskowa (np.: karta SD lub CF).

WERSJA I: Ciągła łączność z pojazdem wykorzystując technologię GSM. W ustalonych odstępach czasowych pojazd będzie się logował do systemu przesyłając dane telemetryczne i znacznik błędów krytycznych.

WERSJA II: Ten wariant jest uproszczeniem WERSJI I. W tym przypadku proponuje się zastosowanie technologii łączności bezprzewodowej typu Wi-Fi. Pełny wolumin informacji będzie przesyłany w zajezdni, natomiast głównymi węzłami odbioru bieżących informacji z systemu SMD (krytyczne alarmy) będą pętle tramwajowe. Rozważa się również możliwość stworzenia CheckPoint'ów komunikacyjnych w kluczowych węzłach komunikacji tramwajowej, w których byłaby możliwość wysyłania alarmowych komunikatów/raportów z pojazdów znajdujących się w stanie zagrożenia awarią, a których bieżące niesprawności można usunąć w warunkach postoju na pętli.

WERSJA III (małe sieci tramwajowe): Wszystkie informacje z SMD są zapisywane na karcie pamięci typu Flash bez możliwości wymiany informacji w trybie on-line. Pojazd

jest widziany w systemie dopiero po służbie w momencie wymontowania nośnika informacji z pojazdu i włożenia go do terminala systemu na zajezdni.

Poziom 3 – Jednostka Przetwarzania Wstępnego i Łączności

Komputer czasu rzeczywistego RT, umożliwiający integrację modułów akwizycji i przetwarzania danych, łączności i sterowania pomiarami oraz generowania diagnoz cząstkowych i komunikacji z innymi modułami w systemie rozproszonym.

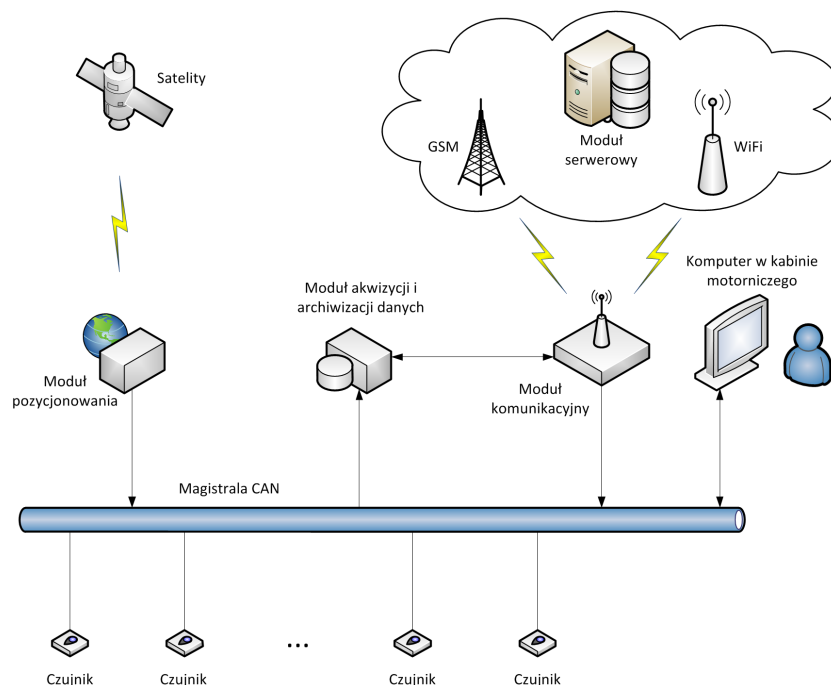
Poziom 4 – Jednostka Akwizycji Danych

Urządzenie elektroniczne umiejscowione na pojeździe, odpowiedzialne za zbieranie i wstępne przetwarzanie informacji diagnostycznej, a także kontrolę torów pomiarowych.

Poziom 5 – Przetworniki

Podstawą pomiarów wielkości fizycznych na tramwaju będą przetworniki przyspieszeń drgań na pudle wagonu (nad czopem skreту pierwszego wózka), na ramie wózka oraz na obudowach łożysk osiowych. Do poprawnego funkcjonowania sytemu niezbędny jest znacznik obrotu koła, jako detektor prędkości jazdy oraz detektor markerów przytorowych lub informacja telemetryczna GPS.

Architektura pokładowego podsystemu diagnostycznego powinna być otwarta i skalowalna, oparta na schemacie wielu komunikujących się ze sobą modułów. Takie rozwiązanie pozwoli na ewentualne rozszerzenie systemu o dodatkowe czujniki oraz zastosowanie go dla różnych typów pojazdów bez konieczności przeprojektowywania całości. Na rys. 5 przedstawiono schemat proponowanej architektury.



Rys. 5. Proponowana architektura pokładowej części systemu diagnostycznego lekkich pojazdów szynowych

5. PODSUMOWANIE

Pozyskanie i wykorzystanie informacji diagnostycznej pozwala na dynamiczne dostosowywanie bieżących działań do obecnych i przyszłych stanów systemu eksploatacji. Jest to o tyle ważne, że wciąż istnieje zapotrzebowanie na narzędzia umożliwiające przeciwdziałanie negatywnym skutkom wystąpienia awarii pojazdu/infrastruktury oraz bardziej efektywnego zarządzania elementami systemu transportowego. Dostępność technologii pomiarowej i analitycznej (a także teleinformatycznej) daje ogromne możliwości w zakresie budowy systemów gromadzenia i przetwarzania informacji diagnostycznej. Efektywne wykorzystanie informacji o stanie technicznym pojazdów i infrastruktury daje potencjalną możliwość osiągnięcia przewagi rynkowej nad konkurentami. Dodatkową zaletą funkcjonowania takiego systemu jest możliwość bieżącego śledzenia ewolucji stanu technicznego tak poszczególnych pojazdów jak i całego eksploatowanego taboru, a tym samym dynamicznego podejmowania decyzji na poziomie operacyjnym i strategicznym przedsiębiorstwa.

Bibliografia

1. Raczyński J.: Miejski transport szynowy w Unii Europejskiej. *Transport Miejski i Regionalny*, 2005, nr 6, s. 2÷9
2. Fiset P., Lipinski K., Samin J.C.: Dynamic Behaviour Comparison Between Bogies : Rigid or Articulated Frame, Wheelset of Independent Wheels. *Supplement to Vehicle System Dynamics*, vol. 25, 1995, pp. 152-174
3. Fiset P., Samin J. C.: A wheel/rail contact model for independent wheels. *Arch. Appl. Mech.*, 64/1994, pp. 180–191
4. Sauvage G.: The dynamics of vehicles on roads and on tracks. *Proceedings of 12th IAVSD-Symposium held in Lyon, France, August 1991*
5. Firlik B.: Light Rail Vehicle Running Safety Analysis on a Worn Track Profile, 1st International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists InterTech'2008, 17-18.04.2008 Poznan
6. Rajib Ul Alam Uzzal, Waiz Ahmed, Subhash Rakheja: Dynamic analysis of railway vehicle-track interactions due to wheel flat with a pitch-plane vehicle model, *Journal of Mechanical Engineering*, Vol. ME39, No. 2, December 2008
7. Molodova, M., Li, Z., & Dollevoet, R.: An investigation of the possibility to use axle box acceleration for condition monitoring of welds. *Proc. of International Conference of Noise and Vibration Engineering*, September 15-17, 2008 in Leuven, Belgium
8. Vu T.: *Wheel Deterioration*, The University of Birmingham and Manchester Metropolitan University 2003.
9. Czechyra B.: Operational excitations in experimental research into dynamics of Light Rail Vehicles, XXIV Symposium Vibrations in Physical Systems, Poznan – Bedlewo, May 12-15, 2010
10. Czechyra B., Firlik B., Tomaszewski F.: Technical state monitoring method of light rail track wear *Proceedings of the Fourth European Workshop on Structural Health Monitoring 2008*, Edited by: UHL, OSTROWSKI, HOLNICKI-SZULC; DEStrech Publications, Inc., 439 North Duke Street Lancaster, Pennsylvania 17602 USA; page 167-174; ISBN 978-1-932078-94-7

ASSUMPTIONS AND BASIC REQUIREMENTS FOR TECHNICAL STATE MONITORING SYSTEM OF LIGHT RAIL VEHICLE

Abstract: The article is dedicated to the assumptions and basic requirements for the technical state monitoring system of a light rail vehicle. The paper discusses the differences between classical and light rail vehicles. Indicated a lack of direct transfer of experience from operate a

railway vehicle and light rail vehicle as a tram type. It contains some examples of vibration characteristics from the case studies on light rail vehicles dynamics with objects under normal operating conditions. These characteristics became the basis for determining the assumptions to build a monitoring system of technical state of the running gears and suspension system of trams operating in Poland. Article proposes some ideas for further work on the light rail vehicle monitoring system for vehicles under normal operating conditions.

Keywords: tram, monitoring system, diagnostics, dynamics, vibration