

**prof. zw. dr hab. inż. Bogdan Żółtowski****UTP Bydgoszcz**

Utrzymanie zdolności kolejowego systemu transportowego

Wprowadzenie

Producenci środków transportu kolejowego inwestują ogromne ilości pieniędzy na konstruowanie szybkich, bezpiecznych, wygodnych i efektywnych pojazdów pasażerskich. Metody i środki nowoczesnej diagnostyki technicznej pozwalają utrzymywać stan zdolności środków transportu kolejowego poprzez ciągle monitorowanie ich stanu. Pozwalają także na badania spełniania wymagań stawianym środkom transportu kolejowego w zakresie obowiązujących standardów bezpieczeństwa i komfortu jazdy (normy UIC – 518).

Przyjmując sygnał drganiowy jako podstawę opisu i badań zmian stanu dynamicznego kolejowego systemu w pracy oceniano stan bezpieczeństwa i komfortu jazdy, zmiany stanu wybranych zespołów systemu kolejowego oraz zmiany stanu podtorza i torów kolejowych.

Podczas realizacji poszczególnych zadań w tej pracy wykorzystano dostępne i opracowano nowe procedury akwizycji i przetwarzania sygnałów diagnostycznych do oceny stanu, opracowano i zweryfikowano praktycznie metodę wyboru punktów pomiarowych w diagnostyce drganiowej, zaproponowano zmodernizowane procedury w obszarze badania wrażliwości diagnostycznej i wyznaczania wartości granicznych mierzonych sygnałów, zweryfikowano wybrane modele diagnostyczne oraz przeanalizowano wybrane metody prognozowania dla potrzeb wyznaczania terminu następnego diagnozowania.



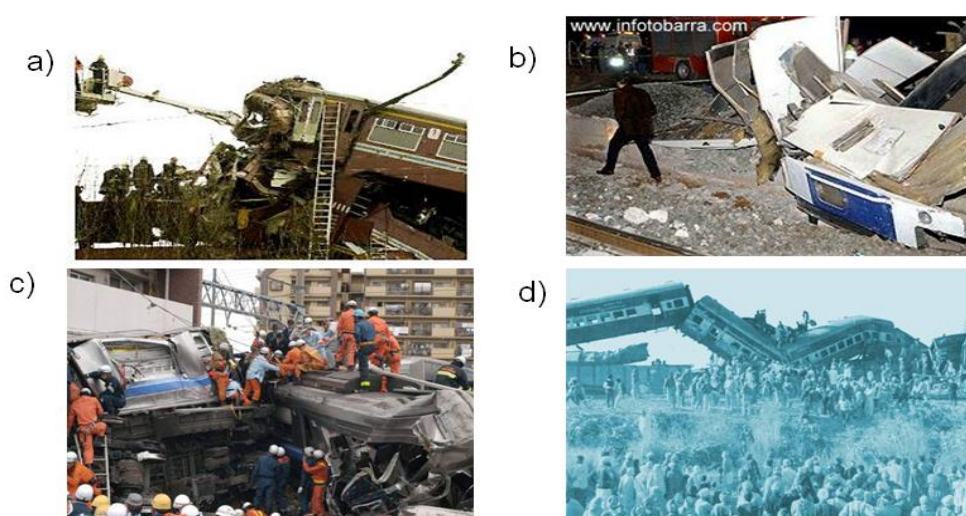
Rys.1 Zestawy badanych wagonów pociągu na trasach przejazdu



Zadania i odpowiedzialność stawiane przed zdatnym i bezpiecznym systemem transportowym pociągów jest gwarantowana zastosowanym nowoczesnym systemem nadzoru ruchu pociągów [1,2,3,4,5].

1. Bezpieczeństwo i komfort jazdy

W celu utrzymania niezawodności i gotowości systemów transportu i zmniejszenia ryzyka wykolejenia pociągu podczas jego eksploatacji, istnieje pilna potrzeba implementacji metod nowoczesnej diagnostyki technicznej, która pozwala utrzymywać cykl życia poprzez ciągle monitorowanie stanu technicznego, stanowiący o spełnianiu wymagania standardów bezpieczeństwa i komfortu jazdy systemów transportowych.



Rys.2 Katastrofy kolejowe: a) Precot, Belgia - 2001, b) Tobarra, Hiszpania - 2003, c) Amagasaki, Japonia - 2005, d) Fatehgarh, Punjab, Indie - 2000

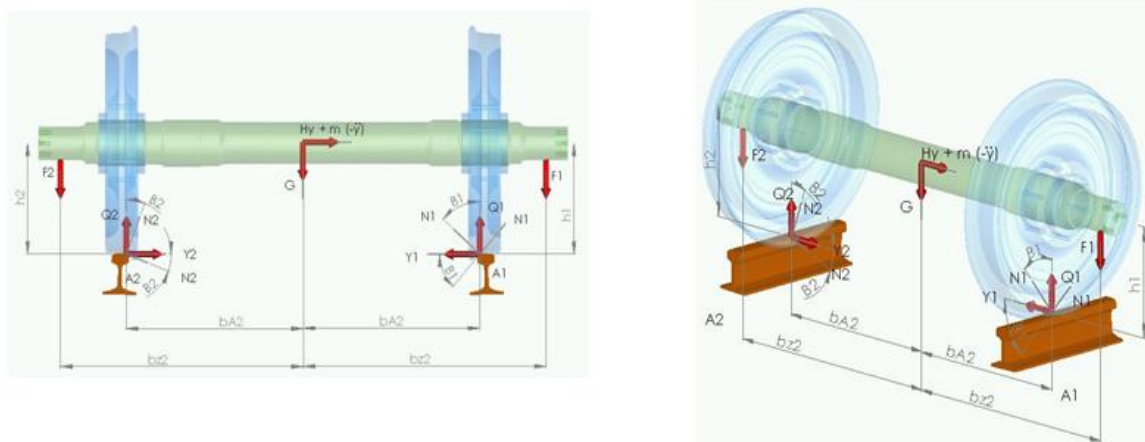
Każdy nowy system kolejowy jest oceniany w aspekcie bezpieczeństwa i komfortu jazdy poprzez pomiary przyspieszenia i sił na różnych masach pojazdu pasażerskiego. Istniejące normy do oceny tych systemów przedstawiają procedury do akwizycji, rejestrowania, analizy i porównywania miary dynamicznej do wartości granicznej.

Do oceny bezpieczeństwa pojazdu potrzebne jest instalowanie czujników pozwalających określić miary związane z dynamiką ruchu pociągu. Norma UIC - 518 opisuje procedury do oceny bezpieczeństwa i pokazuje dwie metody pomiarowe, które pozwalają określić stosunki między wartościami sił pionowych Q i sił poprzecznych Y występujących podczas współdziałania koło-szyna.

Według ogólnej zasady bezpieczeństwo w pociągu jest oceniane na podstawie kryterium wykolejenia poprzez wartości przemieszczenia koła na górnej powierzchni szyny.



Rozkład sił poprzecznych i pionowych obrazujących przedstawione relacje jest pokazany na rys.3.



Rys.3 Rozkład sił zestawu oś-koło na szynę

Na świecie istnieją różne metody do pomiaru sił poprzecznych i pionowych występujących podczas współdziałania w układzie: koło-szyna. Jedną z tych metod jest metodą SBB, która polega na instalowaniu czujników tensometrycznych na powierzchni szyny pomiędzy dwoma podkładami i do rejestracji wyników używa się konfiguracji mostka Wheatstona. Przedstawiona metoda została wykorzystana podczas badań do pomiaru sił oddziaływań pomiędzy kołem a szyną, co w odniesieniu do danych eksploatacyjnych jakości torowiska pozwoliło na wypracowanie wniosków przyczynowo-skutkowych dla potrzeb budowanego systemu oceny stanu pociągów [1,2,3,4,5].

Istnieje wiele praktycznie używanych terminów dotyczących komfortu w transporcie kolejowym, jak: komfort pasażera lub jazdy, jakość jazdy i wskaźnik jazdy. Na jakość jazdy wpływają czynniki fizyczne i ludzkie oraz ruch dynamiczny wagonu. Natomiast komfort jazdy i wskaźniki jakości jazdy zawierają tylko parametry dynamiczne ruchu wagonu. Najczęściej są to przyspieszenie i zmiany liniowości ruchu wagonu pociągu i parametry te są znormalizowane w dostępnych normach międzynarodowych.

Komfort pojazdów pasażerskich jest oceniany na podstawie normy UIC - 518 uwzględniając warunki:

- implementacji na liniach próbnym (liniowość toru, jakość parametrów geometrycznych toru, prędkość, brak pochylenia itp.),
- geometria kontaktu koło-szyna,
- miary związane z dynamiką pojazdu,

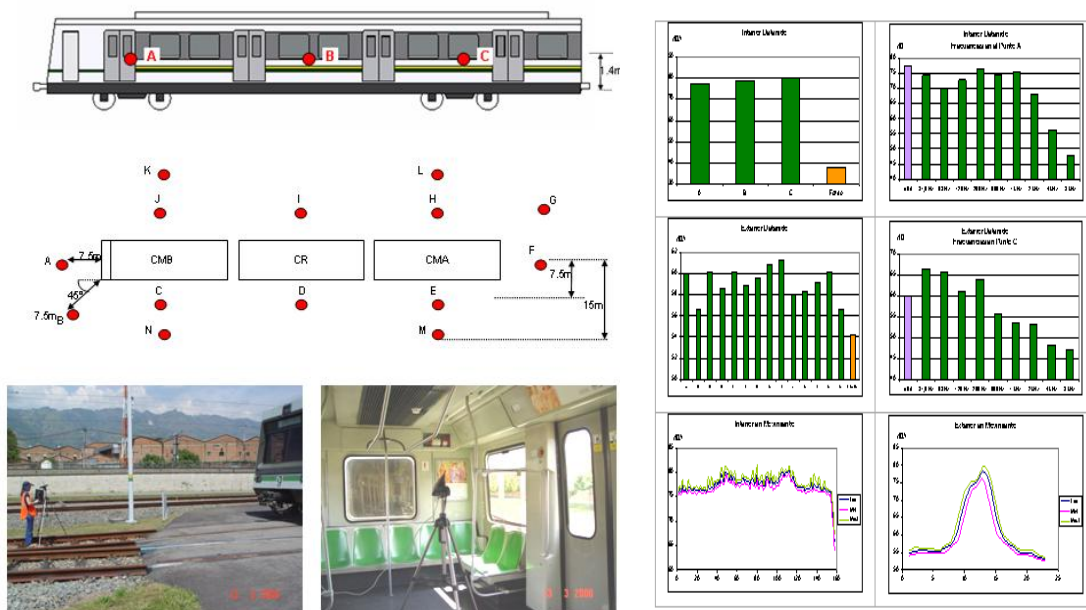


Logistyka - nauka

- warunki do automatycznego i statystycznego przetwarzania danych,
- oceny miar dynamicznych,
- wartości graniczne wskaźników komfortu.

Oprócz norm do oceny komfortu pojazdów kolejowych, w których komfort najczęściej oceniany jest za pomocą przyspieszenia, istnieją normy uzupełniające, które oceniają poziom hałasu spowodowanego przez pociąg na zewnątrz i wewnątrz pojazdu.

Na rys.4 pokazano przykład mierzenia poziomu hałasu wewnątrz i na zewnątrz pojazdu kolejowego [3,4,5].



Rys.4 Pomiar poziomu hałasu wewnątrz i na zewnątrz pojazdu kolejowego

Do praktycznych zastosowań oceny komfortu jazdy pociągów wykorzystano procedury: oceny wpływu drgań na wygodę przy użyciu normy UIC - 518 oraz badania wpływu poziomu hałasu na komfort jazdy pasażerów przy użyciu normy APTA.

2. Metodyka diagnozowania stanu pociągów

Rozwiązanie zadania głównego diagnostyki technicznej badanego systemu kolejowego wymaga ustalenia związków pomiędzy cechami stanu a parametrami sygnałów. Należy, zatem dokonać wyboru cech stanu (niezbędnych i dostępnych) oraz sygnałów i ich estymatorów dla badanych zestawów pociągów. Z relacji pomiędzy nimi zachodzącymi wyznaczone zostaną wszystkie niezbędne wielkości kryterialne dla systemu oceny bezpieczeństwa, komfortu i zmian stanu technicznego badanego systemu kolejowego.



Metodyka badań przeprowadzanych w ramach niniejszej pracy opiera się głównie na normie międzynarodowej UIC - 518, która opisuje warunki pracy pojazdów szynowych do badania bezpieczeństwa i komfortu jazdy, takie jak: prędkość pojazdu, stan szyny, stan statyczny i dynamiczny obiektu itd. Norma jest zalecana dla badania nowych zestawów kolejowych, a w tym projekcie zweryfikowano ją na 10 letnich zestawach kolejowych. Praktyczne badania zrealizowano w rzeczywistych warunkach eksploatacji na grupie 17 zestawów pociągowych.

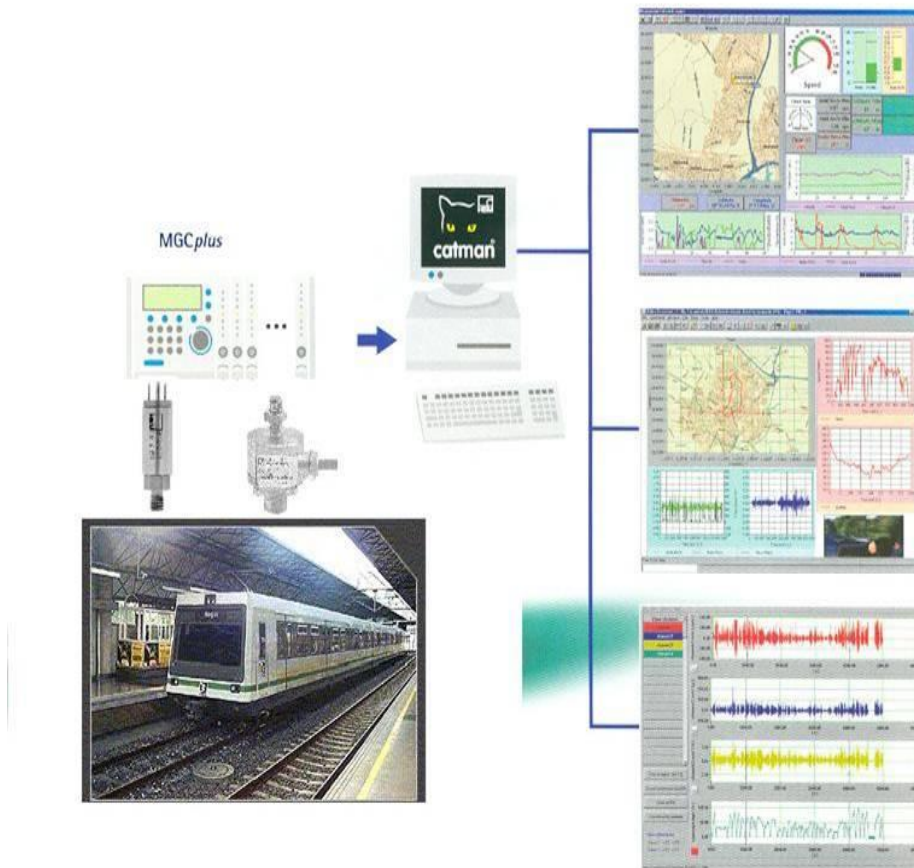
W zakresie tej pracy zweryfikowano wiele procedur badań, obejmujących:

- metodę wyboru punktów pomiarowych mierzonych sygnałów;
- metody wyznaczania wartości granicznych dla estymatorów sygnałów;
- graficzna metoda wielowymiarowa prezentacji wektorów i wartości własnych;
- metoda rozkładu względem wartości szczególnych SVD;
- model probabilistyczny oceny stanu technicznego;
- metoda wyznaczania niezawodności symptomowej;
- metoda prognozowania terminu kolejnego diagnozowania.

Ogromna ilość informacji diagnostycznej z badań torowiska, badań hałasowych oraz drganiowych systemu kolejowego poddana została opracowaniu statystycznemu (BEDIND, PCA, SVD, modelowanie relacji przyczynowo-skutkowych) w zakresie ekstrakcji informacji użytecznej oraz dla potrzeb wyznaczania podstawowych wskaźników charakteryzujących jakość eksploatacji.

3. Wyniki badań

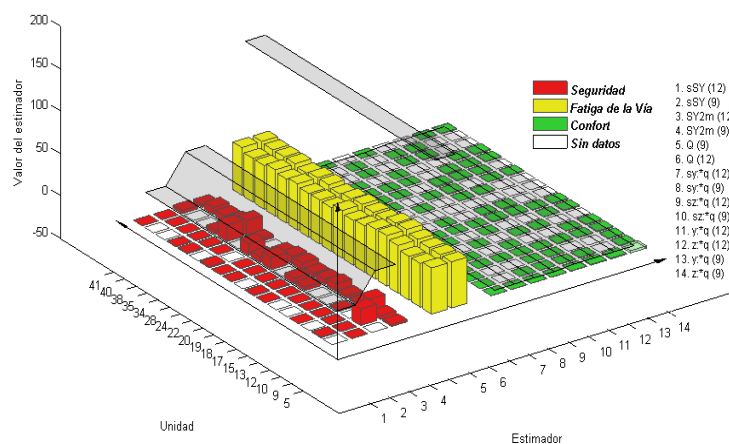
Do badania bezpieczeństwa i komfortu jazdy zainstalowano system monitorowania pozwalający na akwizycję i rejestrowanie danych: przyspieszenie drgań, siły i prędkość jazdy pojazdu. Czujniki przyspieszenia instalowane były na masie zawieszonyj pociągu, tzn. na zestawie oś-koło, rama wózka i wagonie pojazdu. Czujniki sił umieszczone były na wysokości osi wózka napędzającego, a sygnał prędkości był dostarczony z systemu kontroli ruchu jednostki kolejowej. Konfiguracja czujników, metoda próbkowania, filtrowanie i obliczenie statystyczne estymatorów, przeprowadzone były według założeń normy międzynarodowej UIC [3,4,5]. Pomiar na każdym pojeździe pasażerskim przeprowadzony był w rzeczywistych warunkach eksploatacji, gdzie system monitorowania rejestrował w sposób ciągły dane z różnych przejazdów pociągów (rys.5).



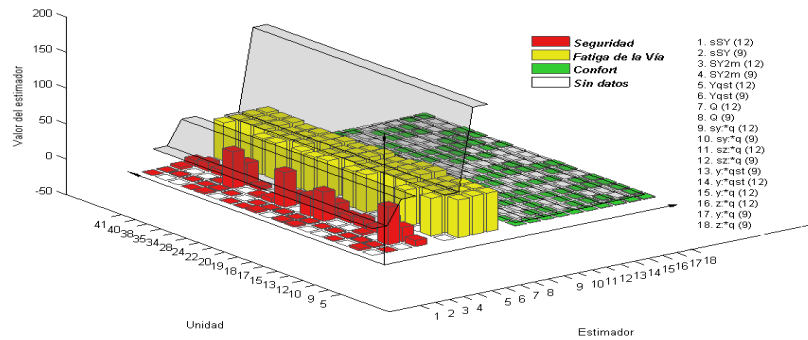
Rys.5 System pomiarowy do oceny bezpieczeństwa i komfortu jazdy [4,5]

W wyniku implementacji normy UIC-518 powstały raporty dla oceny bezpieczeństwa i komfortu jazdy pojazdów pasażerskich oraz zużycia toru. Przykładowe wyniki takich badań pokazano na rys.6.

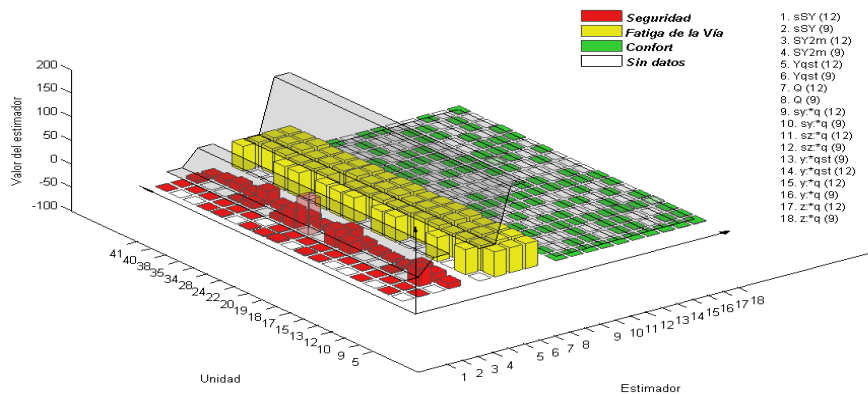
Odcinki proste



Implementacja normy UIC-518 na odcinkach prostych

**Krzywe o dużym promieniu**

Implementacja normy UIC-518 na odcinkach krzywych o dużym promieniu

Krzywe o małym promieniu

Rys.6 Implementacja normy UIC-518 na badanych odcinkach [5]

Wyniki badań cech stanu technicznego torowiska i wielu parametrów drganiowych i hałasu są rezultatem zastosowania wielu specyficznych procedur i algorytmów diagnostyki technicznej. Informatyczny system przetwarzania danych zbudowany w oparciu o dostępne procedury w różnych programach z zakresu akwizycji, przetwarzania, oceny i przechowywania wytworzono dla potrzeb przetwarzania wszystkich danych 17 obiektów badanych.

Wyniki badań statystycznych bogatego materiału informacyjnego z badań pociągów dały podstawowe relacje i wartości stanowiące bazę zbudowanego wielokryterialnego systemu oceny bezpieczeństwa i komfortu jazdy pociągów.

4. Przenośny system diagnostyczny – PSD



Realizacja wszystkich zadań umożliwiła opracowanie i wykonanie przenośnego systemu diagnostycznego. Konstrukcja PSD wynika z zakresu zadań do realizacji i procedur diagnozowania opartych na normie międzynarodowej UIC - 518, która posiada wszystkie procedury do testowania pojazdów pasażerskich. Moduły, z których składa się PSD są następujące [5]:

- moduł czujników,
- moduł przetwarzania sygnałów,
- moduł oceny bezpieczeństwa i komfortu jazdy,
- moduł oceny stanu technicznego koło-szyna,
- moduł do detekcji uszkodzeń,
- moduł pomocniczy do decyzji,
- moduł prognozy,
- moduł prezentacji.

Na rysunku 7 pokazany jest ekran początkowy PSD, gdzie górne okienko pozwala na dostęp do wszystkich modułów i funkcji. Program posiada system bezpieczeństwa, który poprzez wymóg podania imienia i hasła nie pozwala na dostęp do programu osobom nie autoryzowanym.



Rys.7 Główny ekran PSD [5]

Podsumowanie



W badaniach tej pracy podjęto problem opracowania i weryfikacji praktycznej wielokryterialnego systemu oceny bezpieczeństwa ruchu i komfortu jazdy wagonów pociągów. Opracowany system ocenowy odbiega w swym zakresie od wymagań normy UIC-518 w zakresie wymagań odnośnie warunków realizacji badań oraz zakresu badań.

W pracy dokonano oceny bezpieczeństwa ruchu i komfortu jazdy wynikających z zaleceń normy UIC-518 dla pojazdów kolejowych w rzeczywistych warunkach użytkowania, a nie na specjalnych torowiskach lub poligonach zalecanych przez producentów tych systemów transportu.

Zaproponowany system badań stanu taboru kolejowego został przystosowany do rzeczywistych warunków eksploatacji i wykorzystuje zarówno zalecane normą UIC-518 jak i nowe estymatory stanu drganiowego. Także finalny produkt tej pracy w postaci przenośnego systemu diagnostycznego wdrożonego do systemu eksploatacji pociągów, umożliwia wprowadzenie diagnostycznego systemu eksploatacji w przedsiębiorstwie kolejowym.

Realizacja zadań szczegółowych przedstawionych procedur postępowania pozwoliła na opracowanie wielokryterialnego systemu oceny stanu pociągów, a także umożliwiła praktyczną weryfikację przydatności wielu rozwiązań teoretycznych.

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodykę badań i przykładowe wyniki z obszaru zagadnień diagnostycznych systemów utrzymania zdatności pojazdów szynowych. Przedstawiono problem badawczy, sposób jego rozwiązania oraz wybrane wyniki badań, opracowane według oryginalnych procedur badawczych. Wyróżnienie zagadnień bezpieczeństwa ruchu, komfortu jazdy oraz zmian stanu technicznego badanych obiektów metodami diagnostyki technicznej leży u podstaw możliwości zmiany zasad eksploatacji złożonych systemów technicznych. Uzyskane wyniki badań i opracowanie końcowe projekty w postaci mobilnego systemu diagnozowania to początek przejścia z różnych strategii eksploatacji do efektywnej strategii eksploatacji maszyn według stanu technicznego.

Maintenance ability of the railway transport system

**Summary**

The methodology of investigations was used in the article. The distinction of questions of safety movement, comfort of track as well as the changes of technical state of railway transport were discussed.

Literatura

1. Żółtowski B.: Metody diagnostyki technicznej w ocenie destrukcji maszyn. Problemy Niezawodności Systemów, Materiały Szkoły Niezawodności PAN, Szczyrk 2007 s.587-599.
2. Żółtowski B.: Badania destrukcji maszyn. Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 46(38), Nr. 1, 2007 s.142-144.
3. Żółtowski B.: Diagnostic system maintenance the ability of machines. Eksploatacja i Niezawodność, Nr 4 (36), 2007 pp.72-77.
4. Żółtowski B.: Multidimensional monitoring of the track -vehicle interface of a railway system. Besanson, 2007.

Zoltowski B, Castañeda L: Monitoreo Multidimensional de la Interfase Vía-Vehículo de un Sistema Ferroviario Congreso Internacional de Mantenimiento – ACIEM – Marzo 2007, Bogotá, Colombia.