

WIELOKRYTERIALNY SYSTEM OCENY BEZPIECZEŃSTWA I KOMFORTU JAZDY WAGONÓW POCIĄGU

Leonel CASTAÑEDA*, Bogdan ŻÓLTOWSKI**

*EAFIT University in Medellín–Colombia

**Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Mechaniczny

Streszczenie

Artykuł przedstawia procedurę metodologii opracowania i weryfikacji praktycznej wielokryterialnego systemu oceny bezpieczeństwa ruchu i komfortu jazdy wagonów pociągu METRA, przy wykorzystaniu do tego miar stanu dynamicznego jego zespołów, dla potrzeb dynamicznego systemu eksploatacji.

Słowa kluczowe: system diagnostyczny, stan techniczny, bezpieczeństwo, komfort, stan dynamiczny, wartości graniczne, okresowość diagnozowania.

MULTIDIMENSIONAL SYSTEM FOR EVALUATING THE SAFETY AND COMFORT TRAVELLING ON RAILWAY VEHICLES

Summary

This article presents the results the methodology to elaborate and to verify a multicriterial system for the evaluation of the safety and comfort travelling of the vehicles Metro type through measurements of the dynamic state of the wheel sets in order to develop a system of dynamic exploitation under motion.

Keywords: diagnostic system, technical condition, safety, comfort, dynamic state, symptoms of the state, boundary value, periodicity of diagnostic.

WPROWADZENIE

Nowe generacje systemów kolejowych pojazdów szynowych - zarówno pojazdów trakcyjnych jak i wagonów pasażerskich są bogato wyposażone w urządzenia elektroniczne, specjalizowane komputery pokładowe, czujniki elektroniczne, sensory, monitory kontrolne i in. Stwarza to szereg nowych wyzwań w obszarze utrzymania ich w stanie zdatności i bezpieczeństwa ruchu. Najważniejsze kryteria do oceny stanu zdatności nowoczesnych pociągów dotyczą: miar bezpieczeństwa obiektu, sposobów ustalania "słabych ogniw" obiektu, metod wyznaczania prawdopodobieństwa uszkodzeń, kosztów naprawy uszkodzenia i coraz częściej - kryterium komfortu użytkownika obiektu [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Problem główny tego opracowania obejmuje potrzebę weryfikacji przydatności do konkretnych zastosowań istniejącej normy UIC – 518, uaktualnienie jej zaleceń dla warunków konkretnej sytuacji eksploatacyjnej (miejsce, warunki, kryteria) oraz wskazanie zaleceń w obszarze bezpieczeństwa ruchu, komfortu jazdy i monitorowania zmian stanu technicznego.

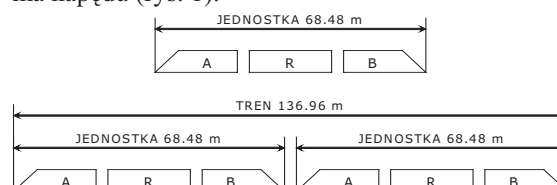
Do rozwiązania tak postawionego zadania narzędziem podstawowym w opracowaniu różnych kryteriów stanu zdatności systemu pociągów METRA są metody i środki nowoczesnej diagnostyki technicznej, co w tej pracy znalazło szczególne zastosowanie. Dotyczy to zarówno

implementacji wielu teoretycznie istniejących światowych propozycji, jakże często tylko literaturowych, metod, miar i procedur diagnostycznych, jak i opracowanie nowych metod i sposobów pozyskiwania i przetwarzania informacji diagnostycznej w szczególnych warunkach eksploatacji systemu pojazdów METRA.

1. OBIEKTY BADAŃ

Problemy główne tego opracowania skupiają się na zagadnieniach związanych z podstawowymi obiektami badań, którym jest system kolejowy pociągów METRA. Jest to system kolejowy zakupiony i uruchomiony w maju 1979 roku w MEDELLIN, stolicy departamentu Antioquia w Kolumbii.

Metro w Medellin ma 42 zestawy pociągów, po trzy wagony pasażerskie na każdą jednostkę. Struktura każdego z wagonów opiera się na dwóch wózkach podwoziowych. Pojazdy zasilające "A" i "B" mają identyczną konstrukcję wagonu i kabiny pilota oraz pojazd "R", który jest przyczepą i nie ma napędu (rys. 1).



Rys. 1. Struktura pociągu metra [1].

1.1. System utrzymanie ruchu pociągów Metra

Utrzymanie zdolności systemu transportowego METRA w zakresie bezpieczeństwa ruchu, komfortu jazdy oraz w zakresie zdolności technicznej głównych zespołów mechanicznych i elektrycznych badanego systemu jest realizowane w przedsiębiorstwie w ramach obowiązującego planowo - zapobiegawczego systemu obsługiwań technicznych [2].

Czynności utrzymania ruchu i stanu zdolności pojazdu pasażerskiego są następujące:

- kontrolna wizualizacja i sprawdzenie funkcjonalności poszczególnych urządzeń pojazdu,
- inspekcja i rewizja danych,
- demontaż, czyszczenie, ocena stanu i naprawy,
- wymiana elementów, zakup, montaż,
- testy funkcjonowania zespołów pociągu,
- pomiar i profilowanie kół,
- jakość utrzymania podtorza i torów.

Czynności utrzymania ruchu pociągu, które mają największy wpływ na decyzje dotyczące rozkładu pracy, to głównie pomiar parametrów geometrycznych zestawu oś – koła. Nadzorowane w eksploatacji parametry geometryczne kół przykładowo pokazane zostały na rys. 2.

1.2. Ocena bezpieczeństwa i komfortu

Systemy kolejowe są oceniane w aspekcie bezpieczeństwa i komfortu jazdy poprzez pomiar przyspieszenia i sił działających na różne masy

zawieszone i podparte pojazdów pasażerskich. Norma UIC - 518 przedstawia procedury do oceny bezpieczeństwa ruchu nowych pociągów, które opisują sposób akwizycji, rejestracji, analizy i porównywania miar dynamicznych do ich odpowiednich wartości granicznych.

Norma UIC - 518 przedstawia dwie metody wykorzystywane do pomiaru i oceny bezpieczeństwa ruchu[4]:

- normalna metoda pomiaru: sił Y i Q w miejscu współdziałania koło-szyna i przyspieszenia na wagonie pojazdu,
- uproszczona metoda pomiaru: sił poprzecznych H w zestawie oś-koło i/lub pomiaru przyspieszenia na zestawie oś-koło, ramy wózka i wagonu pojazdu (rys. 3).

Według normy UIC - 518 do oceny bezpieczeństwa ruchu pociągu na odcinkach prostych i krzywych istnieje równanie opisujące w kategoriach mierzonych sygnałów stan badanych grup odcinków. Pozwala ono na obliczenie maksymalnej wartości mierzonych wielkości na estymowanych wszystkich odcinkach toru – prostych lub krzywych, według zależności [4]:

$$\hat{x}_{\max} = \bar{x} + kS \quad (1)$$

gdzie:

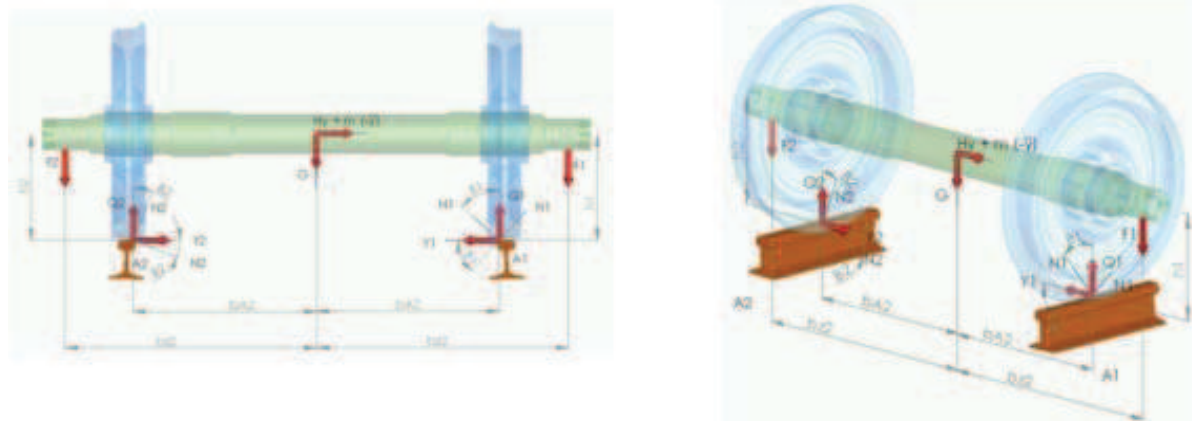
\bar{X} – wartość średnia mierzonych danych na badanych odcinkach;

S – odchylenie standardowe na badanych odcinkach;

k – współczynnik ufności.



Rys. 2. Parametry geometryczne koła i szyny [3]

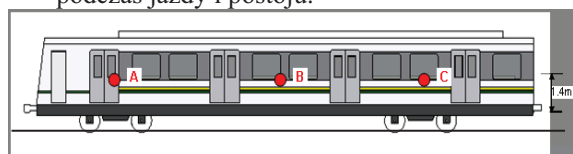


Rys. 3. Rozkład sił zestawu oś-koło na szynę

1.3. Ocena poziomu hałasu

Podczas wzrostu zużycia i starzenia systemu kolejowego można zaobserwować wzrost energii procesów towarzyszących (termicznych i wibroakustycznych), które wpływają negatywnie na środowisko naturalne. Poziom hałasu jest jednym z parametrów kontrolowanych w systemach kolejowych do oceny komfortu pasażerów i wpływu na osoby z otoczenia. Badania poziomu hałasu w systemach kolejowych klasyfikuje się następująco [5]:

- badanie poziomu hałasu wewnątrz pociągu podczas jazdy i postoju,
- badanie poziomu hałasu na zewnątrz pociągu podczas jazdy i postoju.



Rys. 4. Punkty pomiarowe hałasu wewnątrz pojazdu podczas postoju

2. METODOLOGIA BADAŃ SYSTEMU TRANSPORTOWEGO METRA

Dla zrealizowania zadania budowy i weryfikacji przydatności wielokryterialnego systemu oceny bezpieczeństwa i komfortu jazdy wagonów pociągu systemu transportowego METRA proponuje się przyjęcie toku postępowania

przedstawionego na rys. 5. Ujmuje on metodologię analizy procesów wibroakustycznych dla oceny bezpieczeństwa i komfortu jazdy w systemach kolejowych oraz ich procesy zużyciowe oceniane przy pomocy cech geometrycznych układu kołosznego.

2.1. Wybór punktów pomiarowych

Teoretyczne przesłanki prowadzenia badań w obecności zakłóceń uzasadniają wagę właściwego wyboru punktów pomiarowych, szczególnie dla pomiarów drgań obiektów rozległych.

Najlepsze punkty do oceny stanu technicznego wagonu kolejowego to są te, które mają największą ilość informacji i max. pole pod krzywą funkcji koherencji [6]. Oceniane są one miarami:

- ilością informacji między punktami zdefiniowaną

$$In_{xy}(\Theta_i) = \sum_{x=1}^I \lg \frac{1}{1 - \gamma_{mn}^2(f_x, \Delta f_x, \Theta_i)} \quad (2)$$

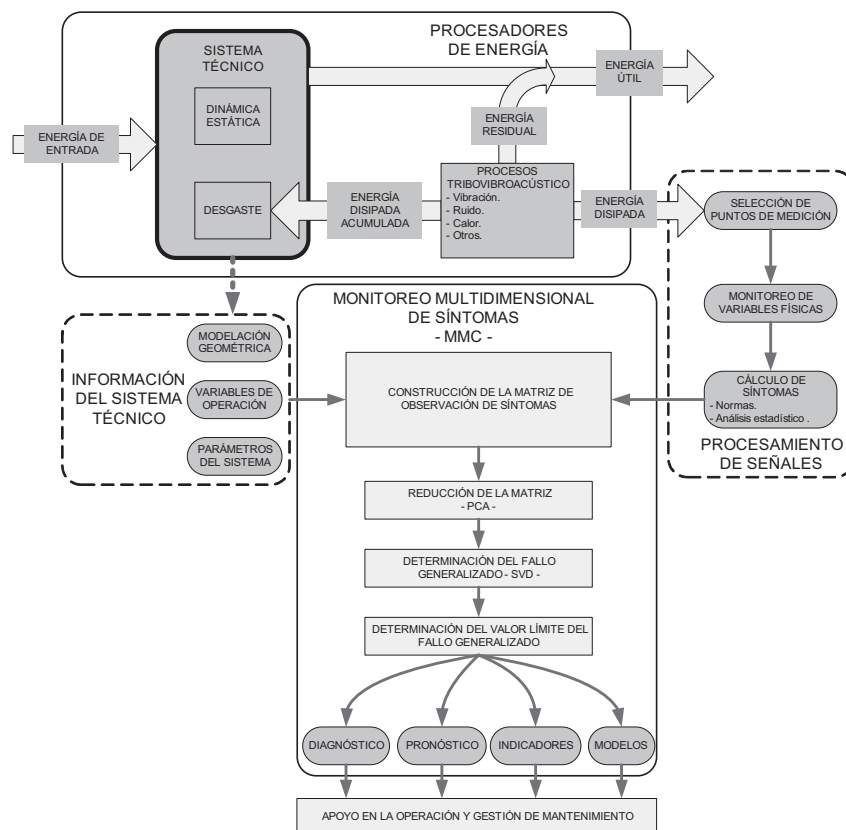
jako:

- polem pod krzywą funkcji koherencji:

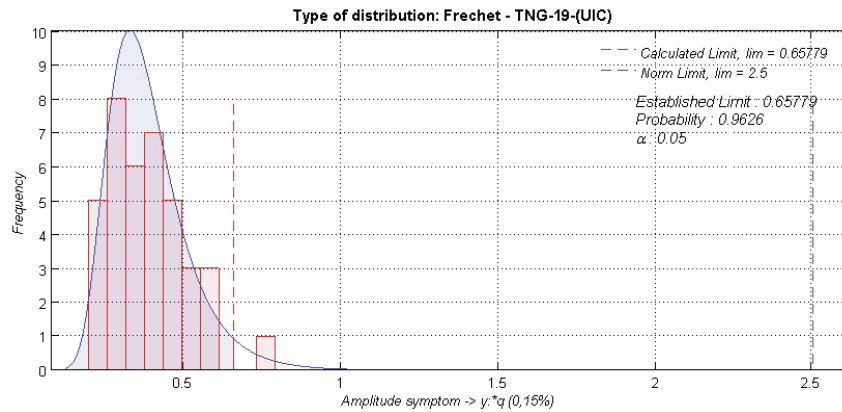
$$A\gamma_{xy}^2 = \int_0^F \gamma_{xy}^2(f) dF \quad (3)$$

2.2. Wyznaczanie wartości granicznych

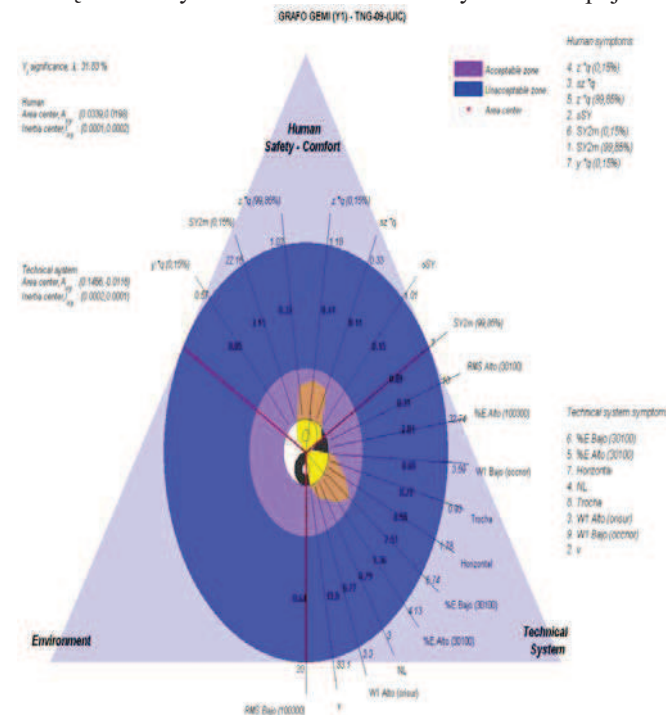
Do celu określenia stanu technicznego badanego obiektu konieczna jest znajomość wartości granicznych wszystkich parametrów diagnostycznych, charakteryzujących dynamikę pojazdu kolejowego (rys. 6).



Rys. 5. Diagram realizacji zadań do budowy wielokryterialnego systemu



Rys. 6. Diagram częstości estymatora UIC-518 do oceny komfortu pojazdu pasażerskiego



Rys. 7. Graficzna reprezentacja wektora własnego Y1

Wartość graniczną symptomu diagnostycznego wyznacza się z zależności [6]:

$$S_g \leq \bar{S} \pm \sigma_s \sqrt{\frac{P(z)}{2 \cdot A}} \quad (4)$$

gdzie: S_g – wyznaczana wartość graniczna symptomu diagnostycznego, \bar{S} – wartość średnia symptomu z liczby N obserwacji obiektów, σ_s – odchylenie standardowe symptomu.

2.3. Redukcja informacji w eksperymencie biernym

W procedurze wyboru najlepszych miar wykorzystano podstawy metodyki badania składowych głównych wektora obserwacji PCA (Principal Component Analysis), często już wykorzystywanej do redukcji przestrzeni macierzy obserwacji symptomów różnych maszyn. Dokonuje

się tu wyboru reprezentatywnych i zorientowanych uszkodzeniowo wielkości składowych modelu diagnostycznego obiektu (rys. 7).

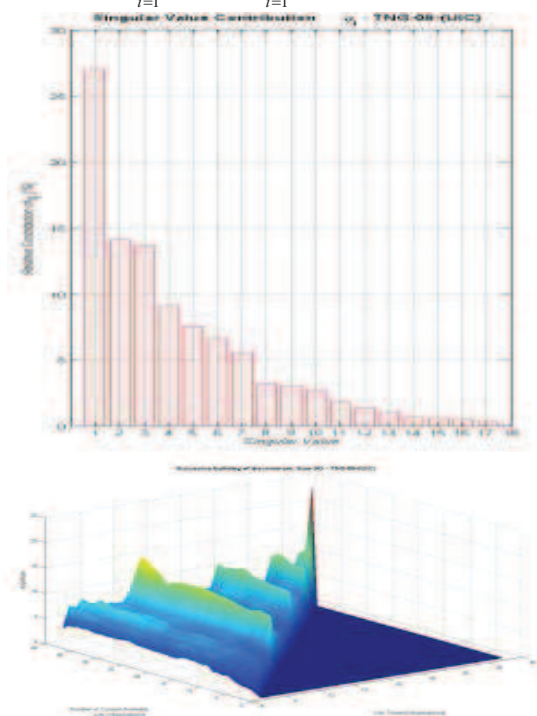
2.4. Metoda rozkładu względem wartości szczególnych SVD dla detekcji i lokalizacji uszkodzeń

Metodę SVD wykorzystuje się do ekstrakcji wielowymiarowej informacji o zużyciu obiektu (rys. 8). Aby uzyskać ogólny profil uszkodzenia systemu technicznego o przebiegu zużycia w obiekcie (suma wszystkich dyskryminant SD_i) wykorzystuje się zależność:

$$SD(\theta) = \sum_{i=1}^z SD_i(\theta) = \sum_{i=1}^z \sigma_i(\theta) \cdot u_i(\theta) = P(\theta) \quad (5)$$

Natomiast dla uzyskania wartości ogólnej wektora uszkodzenia o zaawansowaniu zużycia w obiekcie (sumy wszystkich wartości szczególnych σ_i) używa się relacji [7]:

$$DS(\theta) = \sum_{i=1}^z \sigma_i(\theta) \sim \sum_{i=1}^z F(\theta)_i = F(\theta) \quad (6)$$



Rys. 8. Udział procentowy wartości szczególnych otrzymanych z SVD z profilem i zaawansowaniem ogólnego uszkodzenia systemu

2.5. Metoda wyznaczania funkcji niezawodności symptomowej systemu METRA

Wyniki badań niezawodności 37 badanych odcinków prostych wskazują, że te odcinki, które mają wartość symptomu ponad 11.5, muszą być

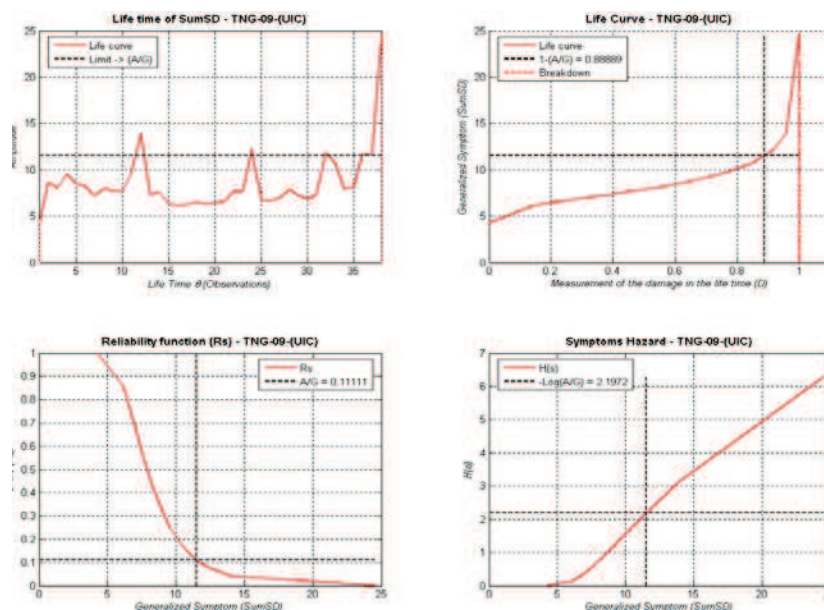
koniecznie poddane czynnościom utrzymania toru, aby przywrócić je do stanu zdatności, gotowości wymaganej przez przedsiębiorstwo [7, 8]. Funkcje niezawodności symptomowej R(S), energetycznej miary destrukcji D i ryzyka symptomowego H(S) zaczynają zmieniać się przy wartości ogólnego uszkodzenia bliskiej 5 (rys. 9).

2.6. Prognozowanie terminu kolejnych badań

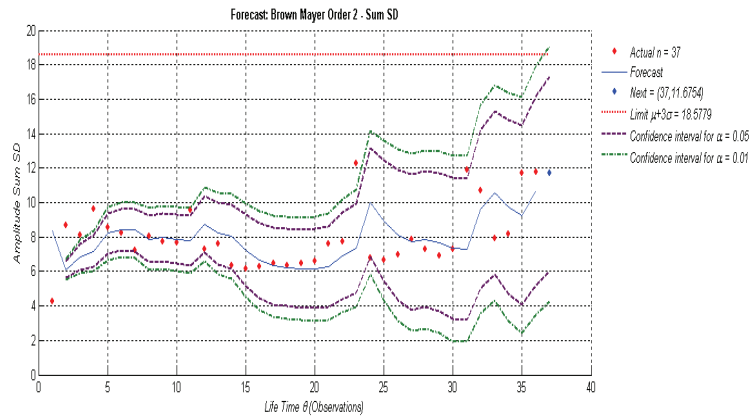
W celu poprawnego funkcjonowania strategii eksploatacji pociągów METRA według stanu technicznego istnieje potrzeba opracowania metody wyznaczania optymalnej prognozy stanu technicznego (PST) jako terminu następnego diagnozowania zespołów pojazdu (rys. 10).

3. PRZENOŚNY SYSTEM DIAGNOSTYCZNY - PSD

Realizacja wszystkich zadań tej procedury umożliwiła opracowanie i wykonanie przenośnego systemu diagnostycznego. PSD pozwala oceniać stan bezpieczeństwa i komfortu jazdy, a także za pomocą estymatorów związanych z oceną bezpieczeństwa i komfortu umożliwia detekcję uszkodzenia w układzie koło-szyna na całej trasie systemu kolejowego [8]. To pozwala na optymalizację wszystkich czynności utrzymania zdatności wagonów, utrzymania zdatności torowiska, oceny współdziałania układu koło-szyna, dając przesłanki do przechodzenia na strategię według stanu technicznego(rys. 11).



Rys. 9. Funkcja niezawodności symptomowej R(S), energetyczna miara destrukcji D oraz ryzyko symptomowe H(S) dla badanych odcinków prostych



Rys. 10. Wyznaczanie kolejnego terminu diagnozowania za pomocą metody Browna Mayera rzędu II [8]



Rys. 11. Analizowanie danych i generowanie raportów do podjęcia decyzji

WNIOSKI

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

Zaproponowany system badań stanu METRA 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 METRA, umożliwia wprowadzenie diagnostycznego systemu eksploatacji w przedsiębiorstwie METRO w Medellin.

LITERATURA

- [1] Marin S., Augusto L.: *Implementación de la norma UIC 518 en vehículos de pasajeros para el Metro de Medellín*. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 2006.
- [2] ATEINSA, MAN, SIEMENS, *Manual de Mantenimiento Vehículo de Pasajeros*, Volumen 1, Medellín, Colombia, 1996.
- [3] Castaneda L., Żółtowski B.: *Metoda środowiskowych badań pojazdu szynowego*. Inżyniera i Aparatura Chemiczna. SIMPress, Gliwice, Poland. Nr 3, 2006. IZACAX 45(37). PL ISSN 0368-0827. Pag. 100-104.
- [4] International Union OF Railways (UIC): *Testing and approval of railways vehicles from the point of view of their dynamic, behaviour, safety, track fatigue and ride quality*. 2 ed. Paris : UIC, 2003. 72 p.: il. (UIC 518 OR).
- [5] Piec P.: *Badania eksploatacyjne elementów i zespołów pojazdów szynowych*. Kraków, Politechnika Krakowska, 2004. 248 p. ISBN 83-7242-311-3.
- [6] Żółtowski B.: *Podstawy diagnostyki maszyn*. ATR w Bydgoszczy, Bydgoszcz, 1996. ISBN 83-900853-9-9.
- [7] Cempel C.: *Multi fault condition monitoring of mechanical system in operation*. XVII IMEKO world congress. Dubrovnik, Croacia. 2003. 1-4 p.
- [8] Gainor P. E., Kirkpatrick R. C.: *Introduction to time-series modeling and forecasting in business and economics*. New York: McGraw Hill, 1994. ISBN 0-07-034913-4.
- [8] Castaneda L.: *Wielokryterialny system oceny bezpieczeństwa i komfortu jazdy wagonów pociągu metra*. UTP, Bydgoszcz. 2007