

# Modyfikacja procesu utrzymania taboru metra z uwzględnieniem stanu wybranych podzespołów pojazdów

## Modification of the metro rolling stock maintenance process, taking into account the condition of selected vehicle components



**Marek Sokołowski**

Mgr inż.

Metro Warszawskie Sp. z o.o.

**Streszczenie:** Artykuł obejmuje możliwości zastosowania nowoczesnych rozwiązań informatyczno-elektronicznych dla modyfikacji procesu utrzymania pojazdów kolejowych eksploatowanych w metrze warszawskim. Omówiono aspekty prawne i techniczne eksploatacji taboru oraz zaprezentowano przykładowe stosowane w Metrze Warszawskim trzy typy pojazdów. Wskazano na aktualne rozwiązania techniczne w zakresie nadzorowania stanu niektórych podzespołów pojazdu.

**Słowa kluczowe:** Metro; Tabor; System utrzymania

**Abstract:** The article covers the possibilities of using modern IT and electronic solutions to modify the maintenance process of railway vehicles operated in the Warsaw metro. The legal and technical aspects of rolling stock operation were discussed, and examples of three types of vehicles used in the Warsaw Metro were presented. The current technical solutions in the field of monitoring the condition of some vehicle components were indicated.

**Keywords:** Subway; Camp; Maintenance system

Rozwój technologiczny ostatnich lat, zarówno w obszarze elektroniki jak też IT rodzi wiele możliwości optymalizacyjnych w każdej praktycznie dziedzinie gospodarki. Jest to też możliwość udoskonalenia procesów w eksploatacji i utrzymaniu taboru kolejowego. Artykuł obrazuje możliwości jakie stwarza zastosowanie nowoczesnych rozwiązań technologicznych w procesie utrzymania taboru poprzez zmianę sposobu utrzymania określonych podzespołów pojazdu. Pozwala to na wydłużenie przyjętych okresów przeglądowych z jednoczesnym podwyższeniem poziomu bezpieczeństwa eksploatacji pojazdu.

Opisany efekt uzyskuje się przez monitorowanie stanu wybranego elementu on-line przez zastosowa-

nie zestawów sensorów, jednostki dystrybucji danych oraz modułu analitycznego, w celu zebrania, przeanalizowania i wyznaczenia poziomu aktualnego oraz poziomu bezpiecznego dla wyznaczonych parametrów obserwacyjnych określonych podzespołów pojazdu.

### Wymogi prawne i techniczne procesu eksploatacji

W zakresie utrzymania pojazdów kolejowych kluczowym aktem prawnym w Polsce jest Ustawa o transporcie kolejowym z 2003 roku oraz Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 października 2005 r. w sprawie ogólnych warunków eksploatacji pojazdów kolejowych.

Rozporządzenie z 12 października

2005 r. wskazuje na dokumentację referencyjną w tym zakresie, tj. dokumentację technologiczną systemu utrzymania (DSU). Wszystkie czynności przeglądowe i naprawcze wykonywane w pojazdach kolejowych muszą być zdefiniowane w DSU. Dokumentacja ta jest pierwotnie tworzona przez producenta taboru i zatwierdzana przez Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego. Wszelkie zmiany postępowania powinny być wprowadzone do „karty zmian” natomiast zmiany istotne wymagają uzyskania nowej Dokumentacji Systemu Utrzymania.

Jednocześnie Rozporządzenie szczegółowo definiuje jakie elementy powinny się znaleźć w „Planie utrzymania” w zależności od typu, stanu pojazdu oraz jaki jest ramo-

wy zakres prac utrzymaniowych w zależności od poziomu utrzymania. Opisuje to tabela, która stanowi załącznik nr 3 do w/w Rozporządzenia. Zatem zmiana wymagać będzie zgodnych z Rozporządzeniem zmian DSU lub nawet stosownego wniosku o odstępstwo.

## Tabor eksploatowany w Metrze Warszawskim i jego cechy

Propozycja modyfikacji systemu utrzymania siłą rzeczy bazować musi zawsze na konkretnych parametrach

pojazdów kolejowych, zatem warto przedstawić w tym miejscu tabor Metra Warszawskiego z jego najważniejszymi cechami.

Metro Warszawskie eksploatuje obecnie 3 typy pojazdów (rys. 1, 2, 3) przy czym pojazdy produkcji rosyjskiej posiadają liczne podtypy w zależności od rodzaju wagonu oraz roku produkcji. Są to następujące pojazdy: Pojazd serii 81 typu 81572P i 81-573P, typu Metropolis, typu In-spiro.



1. Pojazd serii 81 typu 81572P i 81-573P. Pojazdy z jednostkami napędowymi prądu stałego (24 x 110 kW) na każdą oś. Pudło wagonu jest spawaną konstrukcją stalową. Masa pojazdu 200 ton.



2. Pojazd typu Metropolis. Pojazdy z jednostkami prądu przemiennego (16 x 180 kW). Pudło wagonu jest konstrukcją aluminiową. Masa pojazdu 186 ton.

## Współczesne rozwiązania techniczne w zakresie nadzorowania stanu niektórych podzespołów pojazdu

Zastosowanie osprzętu elektronicznego współczesnych pojazdów, w tym czujników prądu, napięcia, położenia, czujników przyspieszeń (akcelerometrów), torów sygnałowych, jednostek komputerowych agregowania danych pozwala na zgromadzenie bardzo obszernego materiału będącego podstawą dalszej analizy, a także na prawie natychmiastowe ustalenie stanu podzespołów pojazdów. Współczesne rozwiązania z zakresu analizy danych, analitycznego przewidywania przebiegu procesów oraz wizualizacji osiągniętych wyników pozwalają wykorzystać je do zoptymalizowania procesów obsługi pojazdów, a tym samym do osiągnięcia znacznych oszczędności sił i środków z tego tytułu. Pozwala to także zwiększyć poziom bezpieczeństwa eksploatowanych pojazdów.

Narzędzia opisane powyżej można wykorzystać do nadzorowania on-line parametrów pojazdu tak, aby proces oceny stanu podzespołów nie wymagał wyłączania pojazdów z eksploatacji i demontażu wielu elementów. Taka modyfikacja przyniesie znaczne oszczędności w eksploatacji związane przede wszystkim z większą dostępnością pojazdu do użytkowania.

## Opis ogólny procesu modyfikacji systemu utrzymania taboru.

Aby wdrożyć zaprezentowane rozwiązanie należy w pierwszej kolejności wybrać podzespoły do obserwacji. Wskazanie wybranych elementów bazuje na analizie technicznej oraz na analizie ryzyka z której wynikać będą konsekwencje uszkodzenia konkretnego elementu.

Wstępna analiza wskazuje, że optymalne do tego celu są elementy związane z układem biegowym takie





3. Pojazd typu Inspiro. Pojazdy z jednostkami prądu przemiennego (16 x 160 kW). Pudło wagonu jest konstrukcją aluminiową. Masa pojazdu 165 ton.

jak, zestaw kołowy (łożyska maźnicy, oś i koła zestawu kołowego), rama wózka, hamulec cierny czy też elementy zawieszenia.

Dla wybranych elementów należy wyznaczyć parametr lub zestaw parametrów technicznych do obserwacji definiujących stan elementu oraz wskazać rodzaj odpowiedniego sensora. Ponadto należy zaprojektować tor transmisyjny oraz jednostkę lokalnej agregacji danych oraz jednostkę centralnej agregacji danych poza pojazdem.

Dane zarejestrowane w trakcie eksploatacji powinny być przesyłane on-line do jednostki stacjonarnej, a następnie powinny być one poddawane analizie i porównane ze wzorcem wskazującym poziom bezpieczny z określonym zapasem, poziom serwisowy z zapasem czasowym dla dokonania czynności obsługowych oraz poziom alarmowy - czerwony, tj. poziom nie przekraczalny po osiągnięciu, którego pojazd musi być natychmiast wycofany z eksploatacji.

Kluczowa z tego punktu widzenia wydaje się prawidłowa kalibracja opisanych wyżej poziomów. Kalibracja ta opierać się musi na analizie z wykorzystaniem teorii niezawodności i bazować musi na zbiorze danych zarejestrowanych w trakcie eksploatacji pojazdu. Zadanie takie

jest stosunkowo złożone. Przestrzeń zapasu serwisowego musi obejmować taki czas, w którym wszystkie elementy (lub większość) znajdują się w zakresie wymaganej obsługi lub było zbieżne z określonym poziomem obsługowym. Jest to kluczowy element tej transformacji, ponieważ wymaga stosunkowo długiego okresu normalnej eksploatacji pojazdu dla agregacji danych do dalszej analizy. Okres taki może wynosić od 1 do 3 lat, ponieważ kluczowe dla tego procesu jest zaobserwowanie procesów zużywania elementów i prawidłowe wyznaczenie predykcji dla każdego z nich.

Po przeprowadzeniu procesu eksploatacji obserwowanej i wyznaczeniu koniecznych poziomów obsługowych dla wybranych elementów pojazdu oraz przetestowaniu prawidłowości działania systemu na które musi on reagować można zamknąć okres syntezy systemu i przystąpić do jego przemysłowej eksploatacji wg nowego cyklu obsługowego.

### Podsumowanie: skutki zastosowania modyfikacji i wnioski

Metro Warszawskie eksploatuje pojazdy, które posiadają szereg elementów zarówno sensorycznych jak

też agregacji danych dla celów wdrożenia takiego systemu, jednak nie są one obecnie zintegrowane w jeden system. Integracja do funkcjonalnego systemu wymagała by dalszych badań i inwestycji zmierzających do uzupełnienia i przetestowania systemu zaproponowanego w tym artykule. Ponadto konieczne było by uruchomienie działań formalnych związanych z wymogami Rozporządzenia z 12 października 2005 roku. Nie mniej jednak już ze wstępnej analizy zaproponowanego podejścia można wnioskować, że przyniesie to wymierne i stosunkowo duże oszczędności w procesie utrzymaniowym. Równie istotnym aspektem tej zmiany będzie podwyższenie poziomu bezpieczeństwa eksploatacji. Z całą pewnością podejście takie będzie w najbliższych latach coraz bardziej wykorzystywane w transporcie kolejowym na świecie, na co wskazuje literatura dostępna w tym obszarze. ◀

### Materiały źródłowe

- [1] P. Dersin, A. Alessi, B. Lamoureux & M. Brahim; „Prognostics and health management in railways”; Alstom, Saint-Ouen, France Safety and Reliability – Theory and Applications – epin & Briš (Eds)© 2017 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-62937-0
- [2] Vepa Atamuradov, Kamal Medjaher, Pierre Dersin, Benjamin Lamoureux, Noureddine Zerhouni. „Prognostics and Health Management for Maintenance Practitioners - Review, Implementation and Tools Evaluation” Production Engineering Laboratory (LGP), INP-ENIT 47 Av. d’Azereix, 65000 Tarbes, France