

**Marcin Wawrzyński**

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

## **PROFILOWANIE TABORU JAKO SKŁADNIK PROCESU EKSPLOATACJI**

Rękopis dostarczono:maj 2018

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono modyfikacje strategii utrzymania wykorzystującą narzędzia telematyki do monitorowania użytkowania środków transportu. Zaproponowano, w ujęciu opisowym i formalnym, profilowanie taboru umożliwiające wyłonienie zbiorów obiektów o podobnym potencjale użytkowym. Daje to możliwość planowania eksploatacji i organizacji przeglądów zgodnie z zasadą „nie za wcześnie, nie za późno”.

**Słowa kluczowe:** utrzymanie, strategia, profilowanie

### **1. WPROWADZENIE**

Współczesne techniki telekomunikacyjne umożliwiają ciągły przekaz informacji od pojazdów do centrów dyspozycyjnych w trakcie procesu użytkowania. Informacje zawarte w tym przekazie zawierać mogą dane diagnostyczne umożliwiające monitorowanie stanu odpowiedzialnych elementów składowych budowy pojazdu. Sprzyja temu fakt, że sterowanie poszczególnych elementów wykonawczych wyposażenia pojazdu odbywa się z wykorzystaniem pokładowych magistrali komunikacyjnych, których komunikaty są nośnikiem informacji o szczegółowych parametrach obciążeniowych urządzeń. Z kolei techniki informacyjne oparte na wyspecjalizowanym sprzęcie informatycznym oraz wykorzystanie zaawansowanych metod przetwarzania informacji umożliwiają obserwację zmian wielkości symptomów diagnostycznych z minimalną zwłoką a niejednokrotnie wprost w czasie rzeczywistym [6,12,13].

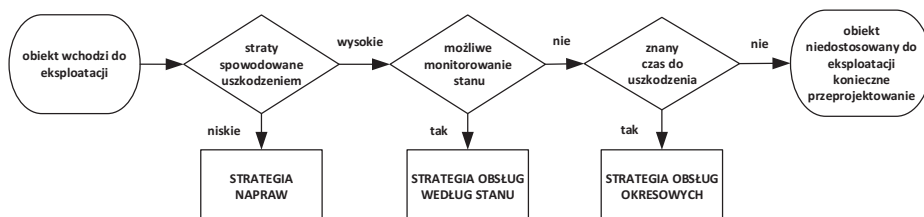
Ta sytuacja stwarza możliwość modyfikowania stosowanych strategii utrzymania pojazdów uwzględniających możliwości techniczne telematyki transportu w obszarze przekazu i przetwarzania informacji.

## 2. PROBLEMATYKA DOBORU STRATEGII EKSPLOATACJI

Obiekt w czasie produkowania uzyskuje potencjał użytkowy. Potencjał ten jest zdolnością obiektu do wykonania zadania z należytą efektywnością. Zadania do którego obiekt jest przeznaczony. Przez należytą efektywność rozumie się poziom efektywności osiągalny w procesie użytkowania, który jest akceptowalny dla decydenta.

Procesowi użytkowania towarzyszą zawsze procesy degradacyjne. Polegają one na zmianie stanu obiektu w kierunku pogorszenia jego właściwości użytkowych. Czynniki wpływające na ten proces wynikają w istocie z wykorzystywania obiektów technicznych dla potrzeb człowieka. Użytkowany obiekt podlega zawsze degradacji (choćby poprzez zużycie), tylko intensywność tych zmian może być różna. Dużą rolę w tym względzie odgrywają czynniki zewnętrzne związane z zasadą z niesprzyjającym oddziaływaniem otoczenia, do którego obiekt musi dostosować swoje funkcjonowanie kosztem niejednokrotnie zwiększonego tempa degradacji. Reakcja obiektu na niesprzyjające warunki zewnętrzne idąca w kierunku zachowania tego samego poziomu efektywności działania prowadzi z reguły do zwiększenia tempa degradacji.

Aby zapobiegać, powstrzymać czy zmniejszać procesy degradacji technicznej obiektów i przywracać ich potencjał użytkowy stosowane są różne strategie utrzymania. Wyborowi strategii towarzyszy proces decyzyjny w którym uwzględnia się wiedzę o cechach eksploatacyjnych obiektu (rys.1).



Rys.1. Diagram decyzyjny wyboru strategii utrzymania obiektu technicznego

Można wyróżnić następujące strategie utrzymania [8]:

1. strategia napraw (obsługiwania korekcyjnego) po wystąpieniu uszkodzenia (*Corrective Maintenance*),
2. strategia obsługa według stanu (*On-condition Maintenance*),
3. strategia obsługa okresowych (*TBM- Time Based Maintenance*).

Strategia napraw polega na użytkowaniu obiektu technicznego do wystąpienia uszkodzenia. Przywrócenie zdolności należy do zadań nieplanowanych i następuje po wystąpieniu zdarzenia jakim jest uszkodzenie. Przywrócenie zdolności następuje poprzez naprawę albo wymianę uszkodzonej części składowej obiektu lub całego obiektu.

Strategia obsługa okresowych obejmuje planowanie okresowych przeglądów polegających na określeniu stopnia zużycia poszczególnych elementów i przywrócenia

pełnej zdatności w ramach czynności obsługowo – naprawczych oraz dokonywaniu profilaktycznej wymiany.

Wadą strategii obsług okresowych jest to, że bez względu na aktualny rzeczywisty stan obiektu dokonywane są czynności obsługowe bazujące na wiedzy z zakresu profilaktyki utrzymania urządzeń. Zawsze istnieje przy tym niepewność czy działania te są właściwie umiejscowione w procesie eksploatacji zarówno co do zakresu jak i czasu podjęcia decyzji o ich podejmowaniu. Wiązą się z tym koszty ponoszone przez eksploatatora, które mogą się okazać nieuzasadnionymi w przypadkach, gdy obsłudze podlega obiekt zdalny mający jeszcze wystarczający potencjał użytkowy.

Strategia obsługi według stanu polega na przewidywaniu i wczesnym zapobieganiu uszkodzeniom poprzez monitorowanie stanu obiektu, obserwację parametrów diagnostycznych, najlepiej w rzeczywistym czasie użytkowania.

W procesie obsługi według stanu istotną rolę odgrywa monitorowanie. Monitorowanie jest działaniem polegającym na ciągłej obserwacji zmian stanu obiektu. Jest rodzajem dozoru, które to pojęcie zawiera w sobie działania polegające w ogólności na dyskretnych (w pewnych odstępach czasowych) lub ciągłych obserwacjach.

W procesie monitorowania korzysta się z takich sygnałów diagnostycznych, których obserwacja nie zakłóca funkcjonowania obiektu a w szczególności jego procesu użytkowania [6,8].

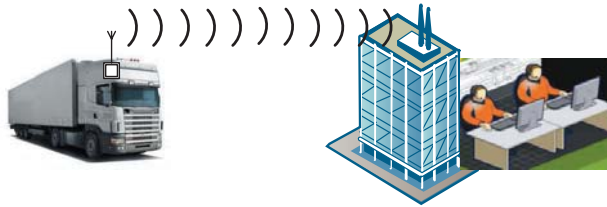
Stan obiektu scharakteryzowany być może poprzez współrzędne punktu (punktu deskrypcyjnego) umiejscowionego w wielowymiarowej przestrzeni. Współrzędne określone są przez wartości wielkości opisujących stan techniczny. W procesie użytkowania następuje przemieszczanie się tego punktu z obszaru charakteryzującego stan zdatności do obszaru niezdatności [7,9,11].

Proces ten może przebiegać wolnozmiennie, wówczas to oprócz stanów zdatności i niezdatności daje się wyróżnić stan częściowej zdatności lub inaczej pośredniej zdatności. W stanie tym obiekt też wykonuje swoje zadanie, lecz funkcjonuje wtedy na ogół ze zmniejszoną efektywnością [10,15,16].

W przypadkach szybkozmiennych przejść ze stanu zdatności do niezdatności wcześniejsze wykrycie objawów zmiany stanu w procesie monitorowania jest znacznie trudniejsze a nawet niejednokrotnie wręcz niemożliwe. W takich przypadkach wskazane jest poszukiwanie dodatkowych symptomów diagnostycznych takich które z właściwym uprzedzeniem sygnalizują trend przemieszczania się punktu deskrypcyjnego.

### 3. PROFILOWANIE TABORU

Monitorowanie zasobów w czasie rzeczywistym poprzez zastosowanie środków telematyki [14,17] będących na stałym wyposażeniu pojazdów i centrów dyspozycyjnych (rys.2), umożliwia przeprowadzenie profilowania taboru. Informacje diagnostyczne wpływające od pojazdów i gromadzone w bazach danych decydenta dają wgląd w rzeczywiste parametry użytkowania. Opierając się na regułach decyzyjnych wypracowanych na podstawie analizy danych decydecnt bezpośrednio lub wspierany przez posiadany system decyzyjny, profiluje tabor.



Rys.2. Monitorowanie zasobów poprzez śledzenie parametrów pojazdu na trasie

Profilowanie (jako czynność, zbiór czynności, proces) jest to wyróżnienie, (wyszczególnienie) jakiegoś elementu na podstawie określenia cech tego elementu nadających mu specyficzne właściwości pozwalające na późniejszą kwalifikację do zbioru.

Profilowanie jest procesem polegającym na kwalifikacji pojedynczego obiektu do odpowiedniego zbioru obiektów ze względu na posiadanie określonego rodzaju właściwości przynależnych tylko znajdującym się w zbiorze obiektom. Profilowanie bazy danych obiektów jest działaniem na zbiorze obiektów umożliwiającym określenie cech wspólnych poszczególnych jego egzemplarzy. Aby dokonać profilowania trzeba dysponować bogatym zasobem informacyjnym charakteryzującym właściwości przynależne tym obiektom. Istnieje możliwość tworzenia zbiorów jednoelementowych w przypadku obiektów posiadających niepowtarzalne cechy mogące mieć istotny wpływ na proces eksploatacji.

Profilowanie taboru stanowi operację na zbiorze obiektów będących zbiorem środków transportu określonego rodzaju.

Niech będzie określony tabor  $G$ . W wyniku profilowania określono podzbiory  $G^i$  takie, że:

$$G = \bigcup_{i=1,n} G^i$$

Przy czym poszczególne profilowane zbiory można zapisać jako:

$$G^i = \{g_1^i, g_2^i, \dots, g_m^i, \dots\}$$

Kryterium profilowania może być przykładowo przebieg linii trendu zmian obserwowanego symptomu stanu, który może być scharakteryzowany wspólnymi dla danego zbioru  $i$  właściwościami  $W^i$ .

Symptomy stanu obiektów niech stanowią zbiór:

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_k, \dots\}$$

Znane są zbiory wartości granicznych symptomów:

$$S^* = \{s_1^*, s_2^*, \dots, s_k^*, \dots\}$$

gdzie  $s_k^*$  jest wartością graniczną po przekroczeniu której obiekt powinien być poddany przeglądowi, oraz

$$S^{**} = \{s_1^{**}, s_2^{**}, \dots, s_k^{**}, \dots\}$$

gdzie  $s_k^{**}$  jest wartością graniczną symptomu po przekroczeniu której obiekt uznaje się za niezdatny. Dla rozpatrywanego przypadku  $s_k^{**} > s_k^*$ .

Określa się odwzorowanie  $\alpha^i$  jak niżej:

$$\alpha_i: G^i \times S \rightarrow \{0,1\}$$

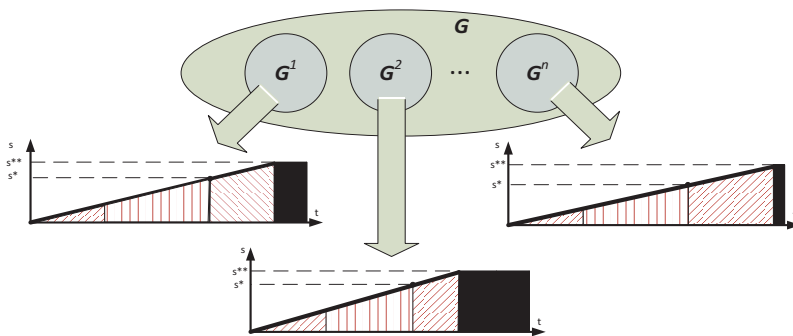
gdzie poszczególnym uporządkowanym parom iloczynu kartezjańskiego przyporządkowano wartości ze zbioru  $\{0,1\}$  według następującej reguły:

$$\begin{aligned} \alpha_i(g_m^i, s_k) &= 0 \Leftrightarrow s_k > s_k^* \\ \alpha_i(g_m^i, s_k) &= 1 \Leftrightarrow s_k \leq s_k^* \end{aligned}$$

Wówczas można stwierdzić ogólnie, że skutkiem procesu profilowania jest decyzja eksploatacyjna dająca się opisać następująco:

$$\begin{aligned} \bigwedge g_m^i \in G^i \bigwedge s_k \in S (\alpha_i(g_m^i, s_k) = 1) &\Rightarrow (\text{użytkowanie}) \\ \bigvee g_m^i \in G^i \bigvee s_k \in S ((\alpha_i(g_m^i, s_k) = 0)) &\Rightarrow (\text{użytkowanie ograniczone,} \\ &\quad \text{wymagana obsługa}) \end{aligned}$$

W dynamicznym procesie decyzyjnym profilowania taboru następuje kwalifikacja poszczególnych pojazdów do zbiorów charakteryzowanych jednolitymi właściwościami obrazującymi ich stan np.: poddanych podobnej intensywności użytkowania, posiadających zbliżone trendy zmian pewnych symptomów diagnostycznych, użytkowanych w jednorodnych warunkach otoczenia, podawanych szczególnym narażeniom roboczym, mających przekroczenia granicznych wartości symptomów i inne (rys.3). Jak wspomniano efektem profilowania może też być ustanowienie zbiorów jednoelementowych na przykład zawierających takie obiekty, które wyróżniają się specyficznymi wartościami objawów stanu i wymagają osobnego traktowania w diagnostycznym procesie decyzyjnym.

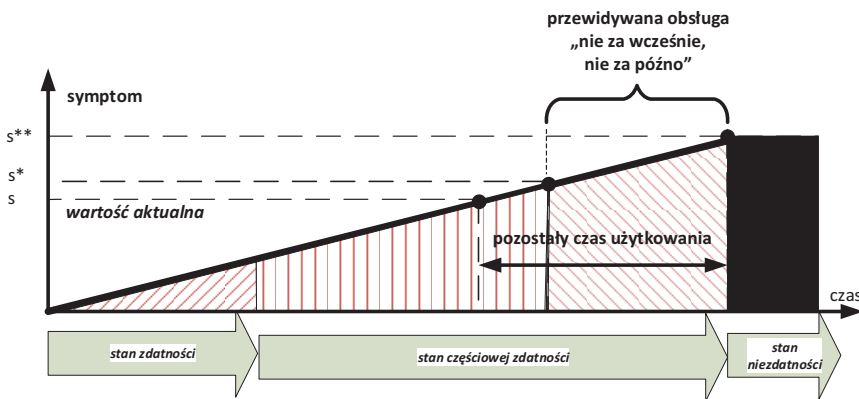


Rys.3. Profilowanie taboru; G – tabor,  $G^i$  – wyróżnione podzbiory jako wynik profilowania, s – symptom stanu,  $s^*$ ,  $s^{**}$  - wartość graniczna symptomów, t – czas

Proces decyzyjny profilowania i wykorzystanie tego działania w eksploatacji w istocie prowadzi do wyeliminowania wad strategii przeglądów okresowych i zmniejszenia kosztów użytkowania. Można bowiem stwierdzić czy faktyczny aktualny stan obiektu wskazuje na konieczność obsługi w krótszym lub dłuższym czasie z pozytywnym efektem przybliżającym realne potrzeby (rys.4). Prowadzi to do strategii „nie za wcześnie, nie za późno” („*not too early, not too late*”) [2].

W modelu stanów procesu degradacji właściwości użytkowych pojazdu przedstawionym na rys.4 przyjęto układ trzystanowy: stan zdatności, stan częściowej zdatności w którym to występuje już wyraźnie proces degradacji właściwości użytkowych obiektu prowadzący stopniowo do stanu niezdatności. Jednym z głównych celów takiego podejścia jest określenie wiarygodnej wielkości pozostałego potencjału eksploatacyjnego (*RUL – remining usful lifetime*) przy założeniu minimum kosztów obsługi profilaktycznych i korekcyjnych [3], łącznie z kosztami zewnętrznymi po uszkodzeniu.

Metodą osiągnięcia tego celu jest monitorowanie stanu technicznego (zbieranie fizycznych danych z pojazdów), określanie stanu bieżącego i prognozowanie postępu procesu degradacyjnego profilowanego taboru.



Rys.4. Strategia obsługi „nie za wcześnie, nie za późno” (opracowano na podstawie [2])

W działaniu tym ważną rolę odgrywa zastosowanie metod prognostycznych w przedłużaniu czasu użytkowania. Podjęcie decyzji w tym względzie wymaga zbadania warunków eksploatacji, posiadania wiedzy o wykonywanych uprzednio obsługach i odnowach stanu zdatności, wykonania analizy statystycznej uszkodzeń w oparciu o dane z eksploatacji, uwzględnienia analizy obciążeń eksploatacyjnych i wielu innych czynników istotnych dla uzyskania wiarygodnej prognozy.

Przy dużej ilości danych istotną rolę w tej materii odgrywają metody badania trendów zmian [4] wybranych symptomów diagnostycznych obrazujących postępujący proces degradacji i przechodzenie obiektu w kierunku osiągania wartości granicznych stanu zdatności lub częściowej zdatności.

W przypadkach, kiedy informacje o obiekcie są niepełne a czasem wręcz niepewne przydatnym jest wykorzystanie w prognozowaniu teorii szarych systemów [1]. Obejmuje to sytuację, w której w tak niesprzyjających warunkach musi nastąpić ocena stanu obiektu

i prognoza jego zachowania a następnie podjęcie decyzji o dużym znaczeniu technicznym i operacyjnym. Dobre efekty przynosi wykorzystanie ślizgającego się okienka prognozy obejmującego dane z ograniczonego zakresu zmienności i dostosowania jego szerokości obserwowanego obszaru pomiarowego do minimalnej wielkości błędu prognozy.

## 4. PODSUMOWANIE

Techniczne środki telematyki transportu zastosowane w procesie monitorowania użytkownika dają możliwość modyfikowania strategii utrzymania taboru. Kierunek modyfikacji poprzez profilowanie taboru umożliwia indywidualizację poszczególnych egzemplarzy lub zbiorów egzemplarzy środków transportu ze względu na posiadany potencjał użytkowy. Przewidywana obsługa według strategii „nie za wcześnie, nie za późno” przynieść może ewidentne korzyści zmniejszenia kosztów utrzymania poprzez wyeliminowanie zbyt częstych obsług profilaktycznych.

Przyjęcie układu trzystanowego w kwalifikacji przydatności obiektu do użytkowania zapewnia skoncentrowanie się na śledzeniu jego zmian w obszarze częściowej zdatności do wykonywania zadania. Określenie pozostałego czasu użytkowania do osiągnięcia wartości granicznej niezdatności poprzedza decyzja o skierowaniu do obsługi, zapobiegając tym samym powstawaniu uszkodzeń.

Przedstawienie formalnego ujęcia procedury profilowania umożliwia przeprowadzenie analizy systemu eksploatacji pod kątem możliwości adaptacji do zaproponowanych rozwiązań. Ważną rolę w tym względzie odgrywa możliwość zastosowania odpowiednich metod prognostycznych, które wpływają na stopień wiarygodności decyzji eksploatacyjnych będących skutkiem profilowania taboru.

## Bibliografia

1. Cempel C., Tobaszewski M.: Zastosowanie teorii szarych systemów do modelowania i prognozowania w diagnostyce technicznej. *Diagnostyka* nr 2(42)/2007
2. Dersin P.: Fleet Maintenance as a Dynamic Decision Process. European Safety and Reliability Conference ESREL 2017, June 2017
3. Dibsdaile C.: Holistic Prognostics, in *Through-life Engineering Services*. R. Rajkumar and L. Redding, Editors. 2015, Springer: New York
4. Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: *Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.
5. Jodejko-Pietruczuk A, Werbińska-Wojciechowska S.: Analysis of maintenance models' parameters estimation for technical systems with delay time. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2014; 16(2): 288–294.
6. Kasprzyk Z., Rychlicki M.: Analysis of physical layer model of WLAN 802.11g data transmission protocol in wireless networks used by telematic systems. In „Proceedings of the Ninth International Conference Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX”, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent systems and computing”, vol. 286. Springer, 2014. pp. 265-274.

7. Lewitowicz J. Podstawy eksploatacji statków powietrznych. Tom 6. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa 2012
8. Młyńczak M. Nowakowski T. Werblińska-Wojciechowska S.: Klasyfikacja modeli utrzymania systemów technicznych. Monografia pod red. M. Siergiejczyka: Problemy utrzymania systemów technicznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014
9. Paś J.: Eksploatacja elektronicznych systemów transportowych. Uniwersytet Technologiczno - Humanistyczny, Radom 2015.
10. Paś J., Rosiński A.: Selected issues regarding the reliability-operational assessment of electronic transport systems with regard to electromagnetic interference. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, 19 (3), 2017. pp. 375–381. DOI: 10.17531/ein.2017.3.8.
11. Rosiński A.: Modelowanie procesu eksploatacji systemów telematyki transportu. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015.
12. Rychlicki M., Kasprzyk Z.: Increasing performance of SMS based information systems. In: „Proceedings of the Ninth International Conference Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX”, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent systems and computing”, Vol. 286. Springer, 2014, pp. 373-382.
13. Siergiejczyk M.: Efektywność eksploatacyjna systemów telematyki transportu. Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Transport, z. 67, Warszawa 2009.
14. Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A., Grieco L.A.: Reliability and viewpoints of selected ITS system. In: „Proceedings 25th International Conference on Systems Engineering ICSEng 2017”, editors: Henry Selvaraj, Grzegorz Chmaj, Dawid Zydek, wydawca: IEEE, Conference Publishing Services (CPS), 2017. pp. 141-146. DOI: 10.1109/ICSEng.2017.68.
15. Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A.: Reliability-exploitation analysis of the alarm columns of highway emergency communication system. Journal Of KONBiN nr 2(38)2016, wyd. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa 2016.
16. Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Issue of reliability–exploitation evaluation of electronic transport systems used in the railway environment with consideration of electromagnetic interference. IET Intelligent Transport Systems, vol. 10, issue 9, 2016, pp. 587–593. DOI: 10.1049/iet-its.2015.0183.
17. Stawowy, M.: Model for information quality determination of teleinformation systems of transport. In: “Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014”, editors: Nowakowski T., Młyńczak M., Jodejko-Pietruczuk A. & Werblińska-Wojciechowska S. CRC Press/Balkema 2015, pp. 1909–1914.

## FLEET PROFILING AS ELEMENT OF VEHICLE OPERATION

**Summary:** The article presents modifications of the maintenance strategy using telematics tools to monitor vehicle operation. It was proposed, in descriptive and formal terms, profiling of the fleet enabling the selection of sets of objects with similar utility potential. It gives the opportunity to plan operation and organization of service inspections in accordance with the principle "not too early, not too late".

**Keywords:** maintenance, strategy, profiling