

PROBLEM KSZTAŁTOWANIA SYSTEMU OBSŁUGIWANIA WAGONÓW METRA

SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. Niektóre definicje i określenia
3. Systemowe traktowanie problemu
4. Systemy obsługiwaniane stosowane w praktyce
5. Ważniejsze parametry charakteryzujące obsługiwane i potrzeba ich optymalizacji
6. Specyfika użytkowania pojazdów szynowych, a system obsługiwania
7. Właściwości pojazdów, a system ich obsługiwania
8. Obecny system obsługiwania wagonów metra
9. Propozycje zmian w systemie obsługiwania obecnie eksploatowanych wagonów metra
10. Przewidywane korzyści z wprowadzenia zmian w systemie obsługiwania

STRESZCZENIE

Omówiono obecny system obsługiwania taboru metra oraz podano propozycje zmian w systemie. Wszystkie informacje i propozycje przedstawiono na tle rozważań o wpływie specyfiki użytkowania i właściwości pojazdów szynowych na postępowanie obsługowe oraz tendencji zmian w obsługiwaniu dostrzeganych na świecie. Podano sugestie o konieczności systemowego rozwiązywania problemów obsługiwania. Propozycje zmian podbudowane są danymi statystycznymi i informacjami o występujących w pojazdach metra awariach. Podane są korzyści jakie mogą przynieść zaproponowane zmiany.

1. WSTĘP

Nowoczesne pojazdy szynowe charakteryzują się bardzo dużym stopniem złożoności rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych, dużym stopniem automatyzacji funkcjonowania oraz dużymi kosztami zakupu i eksploatacji. Jednocześnie są w porównaniu ze starymi rozwiązaniami bardziej funkcjonalne, szybsze i wydajniejsze w sensie możliwości przewozowych. Podobne cechy charakterystyczne występują też i w innych środkach trwałych i to tłumaczy obserwowane wydłużanie „czasu życia” złożonych i kosztownych obiektów technicznych. Przy dużych kosztach zakupu zwiększa się bowiem zwykle wielkość ekonomicznego okresu eksploatacji. Użytkowanie takich obiektów technicznych rodzi pytanie jak je obsługiwać? Wymienionym wyżej trendom towarzyszy co prawda silne dążenie do zwiększania niezawodności i trwałości obiektów, jednak ich duża złożoność powoduje, że jest trudno skracać czas przebywania obiektu w obsłudze. A przy tak kosztownych i wysoce wydajnych obiektach technicznych straty z powodu wyłączenia ich z użytkowania stają się dla właściciela poważnym problemem ekonomicznym.

Niniejszy artykuł jest poświęcony zagadnieniu kształtowania systemu obsługi pojazdów szynowych eksploatowanych w metrze. Może być odniesiony i do pojazdów szynowych eksploatowanych na kolei.

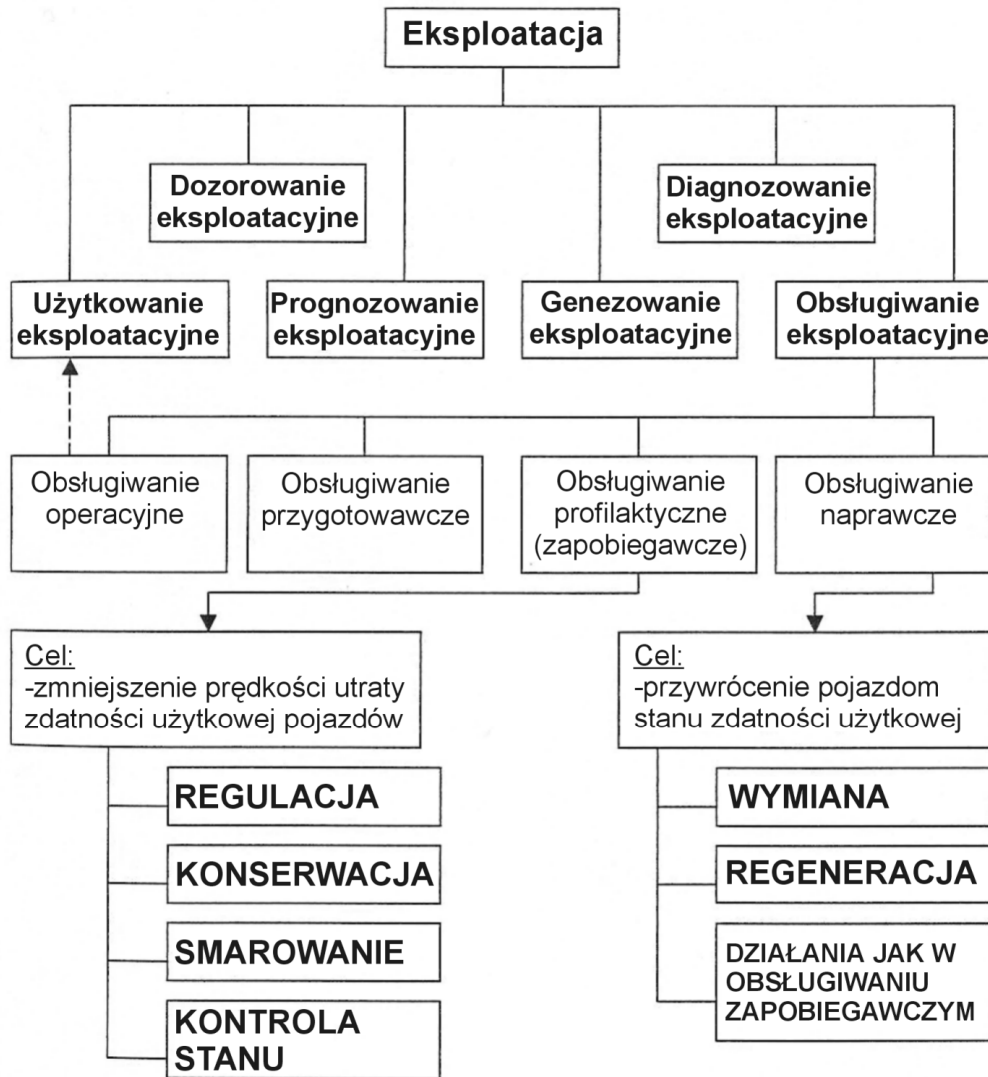
2. NIEKTÓRE DEFINICJE I OKREŚLENIA

W obsłudze pojazdów szynowych (i nie tylko) występują specyficzne określenia tradycyjne oraz stosunkowo nowe, ustalone Polską Normą [1]. Poniżej, w oparciu o [1] i [2] podano niektóre z nich, mające znaczenie dla rozpatrywanego zagadnienia.

- 1) Eksploatacja, eksploatawanie pojazdów szynowych – zespół celowych działań organizacyjno – technicznych i ekonomicznych ludzi z pojazdem oraz wzajemnych relacji występujących między nimi od chwili przyjęcia pojazdu do wykorzystania zgodnie z przeznaczeniem, aż do jego likwidacji.
- 2) Użytkowanie eksploatacyjne pojazdu – działania związane z wykorzystywaniem pojazdu zgodnie z jego przeznaczeniem.

- 3) Obsługiwanie eksploatacyjne pojazdu – czynności organizacyjno-techniczne operowania pojazdem oraz czynności mające na celu podtrzymywanie i przywracanie pojazdowi stanu zdatności użytkowej.
- 4) Obsługiwanie przygotowawcze – obsługiwanie mające na celu przygotowanie pojazdu do użytkowania (np. zasilanie energetyczno-paliwowe, uzyskiwanie informacji o wynikach kontroli stanu zdatności, sprzątanie).
- 5) Obsługiwanie zapobiegawcze (profilaktyczne) – obsługiwanie mające na celu zmniejszanie tempa utraty zdatności użytkowej w wyniku przeglądów, kontroli stanu, lokalizacji i wymiany uszkodzonych lub zużytych części, smarowania, regulacji, konserwacji itp.
- 6) Naprawa (obsługiwanie naprawcze) – czynności organizacyjno-techniczne mające na celu przywrócenie pojazdowi stanu zdatności użytkowej.
- 7) Dozorowanie eksploatacyjne – dozorowanie pojazdu umożliwiające uzyskiwanie w sposób ciągły lub doraźny informacji o bieżącej zmianie stanu pojazdu z dostatecznie małą zwłoką.
- 8) Genezowanie eksploatacyjne – ustalanie przyczyn wywołujących bezpośrednio lub pośrednio zmianę stanu technicznego pojazdu lub wymuszających zmianę parametrów jego użytkowania.
- 9) Diagnostowanie – dokonywanie oceny stanu technicznego pojazdu bez jego demontażu lub z ograniczonym demontażem, nienaruszającym możliwości funkcjonowania pojazdu, z wykorzystaniem danych o parametrach będących kryterium stanu badanego pojazdu.
- 10) Prognozowanie – przewidywanie stanu pojazdu w przyszłości na podstawie informacji uzyskanych w procesie dozorowania, diagnostowania, genezowania, oględzin i pomiarów, a także na podstawie znajomości przebiegu zmian właściwości użytkowych (parametrów) pojazdu w czasie.

Działania, których definicję przedstawiono wyżej obrazuje rys.1.



Rys. 1 Działania w procesie eksploatacji.

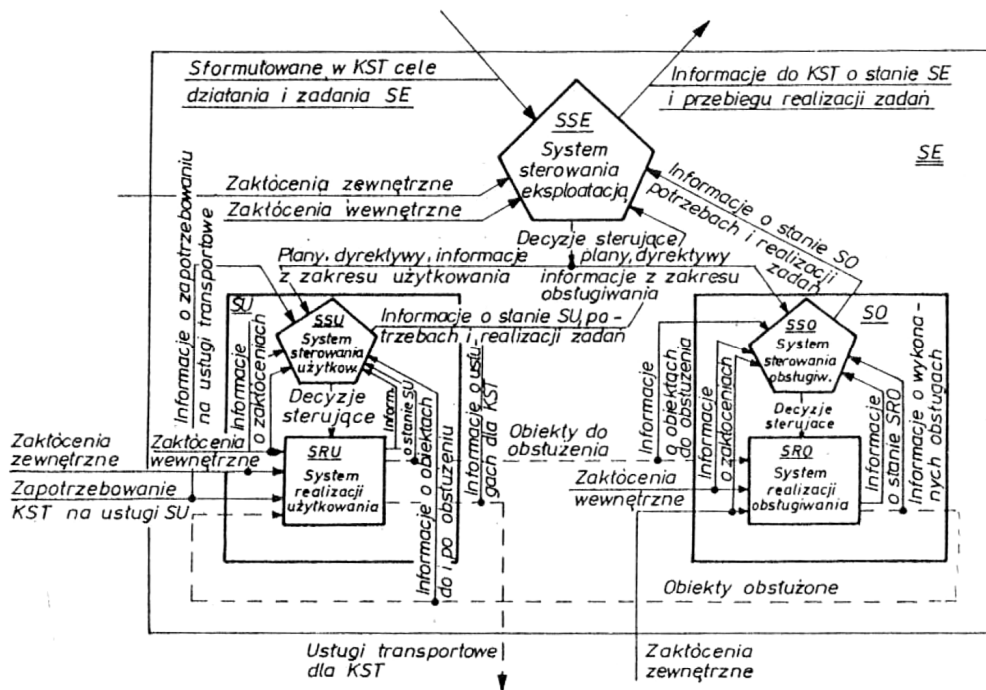
Niektóre z wymienionych terminów mają swoje odpowiedniki w tradycyjnie stosowanych do dziś na kolei pojęciach i określeniach. I tak odpowiednikiem obsługiwania jest termin „utrzymanie” pojazdów, odpowiednikiem obsługiwania zapobiegawczego – przegląd, odpowiednikiem naprawy jest remont. Należy zauważyć, że w każdej dziedzinie działalności gospodarczej występują swoiste, często specyficzne terminy i określenia. Ustalona przez Polską Normę terminologia porządkuje tę sferę działania i co ważniejsze wyjaśnia i porządkuje merytoryczny sens tych działań.

3. SYSTEMOWE TRAKTOWANIE PROBLEMU

Obsługiwanie dowolnego obiektu technicznego nie można rozpatrywać w oderwaniu, w izolacji. Obsługiwanie jest wymuszane zmianą właściwości obiektu, która zachodzi

w określonych warunkach, w rezultacie oddziaływania różnych czynników w procesie użytkowania. Zbiór, w którym jako składniki występują obiekty i ludzie działający w określonym otoczeniu, i między którymi występują określone relacje wzajemne jest systemem. Jeżeli posłużymy się definicją systemu podaną przez G. J. Klira [3], to możemy powiedzieć, że system eksploatacji pojazdów jest układem pewnych elementów (składników) powiązanych ze sobą wzajemnie tak, że tworzą całość.

Przyjęcie zasady podejścia systemowego w rozwiązywaniu problemów, traktowanej jako zasada porządkowania czy też sposób myślenia lub sposób rozwiązywania problemu umożliwia bardziej wszechstronne spojrzenie na obiekty i zjawiska. W naszym przypadku oznacza, że obsługiwania będącego składnikiem systemu eksploatacji nie można rozpatrywać w oderwaniu od właściwości użytkowanych pojazdów i przebiegu ich utraty, specyfiki, sposobu i warunków użytkowania, celów jakie przyświecają ludziom użytkującym pojazdy, zachowania się ludzi korzystających z pojazdów, oddziaływania fizycznego i niematerialnego otoczenia i innych. Przyjęcie takiego założenia narzuca określone podejście podczas rozwiązywania problemów doboru systemu obsługiwanego.



Rys.2 Sterowanie w eksploatacji Przyjęte na rysunku symbole oznaczają: SE – system eksploatacji pojazdów SSE – system sterowania eksploatacją obejmujący zasady Eksploatacji, miary oceny, obiekty fizyczne umożliwiające zbieranie, przetwarzanie, analizowanie i przekazywanie informacji decyzji oraz ludzi SSU, SSO – analogicznie jak SSE tylko w odniesieniu do użytkowania i sterowania KST – kolejowy system transportowy SU – system użytkowania pojazdów SO – system obsługiwanego pojazdów

Składniki systemu eksploatacji są podsystemami; zalicza się do nich pojazdy (systemy techniczne), podsystemy użytkowania i obsługi, w skład których wchodzi obiekty fizyczne, takie jak stacje, linie kolejowe, stacje postojowe, lokomotywownie, wagonownie, zakłady naprawcze, a także zasady użytkowania i obsługi, reguły organizacji i zarządzania użytkowaniem i obsługiwaniem i inne.

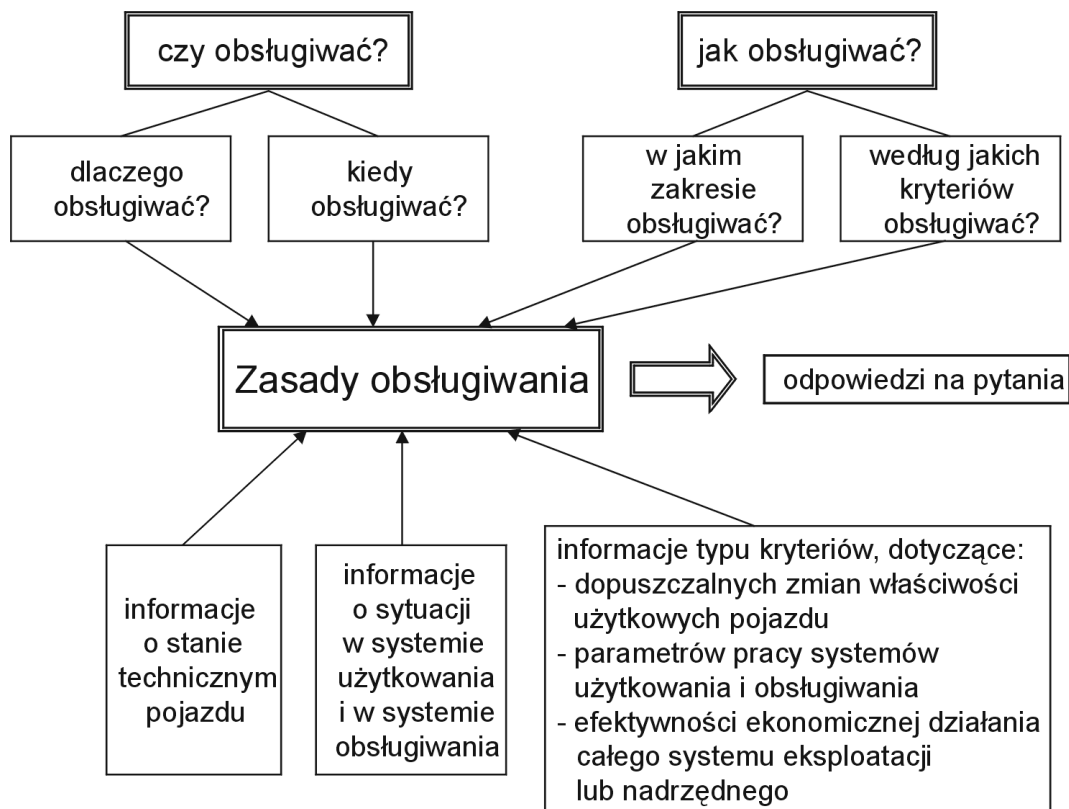
Wszystkie te podsystemy oddziałują wzajemnie na siebie i wymuszają określone ukształtowanie właściwości początkowych podsystemów – składników systemu eksploatacji i określone postępowanie z już istniejącymi, ukształtowanymi podsystemami, często niezależnie od intencji, oczekiwań czy żądań poszczególnych składników systemu.

Jak złożone mogą być związki występujące w systemie eksploatacji pojazdów można zorientować się na przykładzie rys. 2 przedstawiającego sterowanie w eksploatacji, podane wg [2] dla przypadku dwóch podsystemów: użytkowania i obsługi.

4. SYSTEMY OBSŁUGIWANIA STOSOWANE W PRAKTYCE

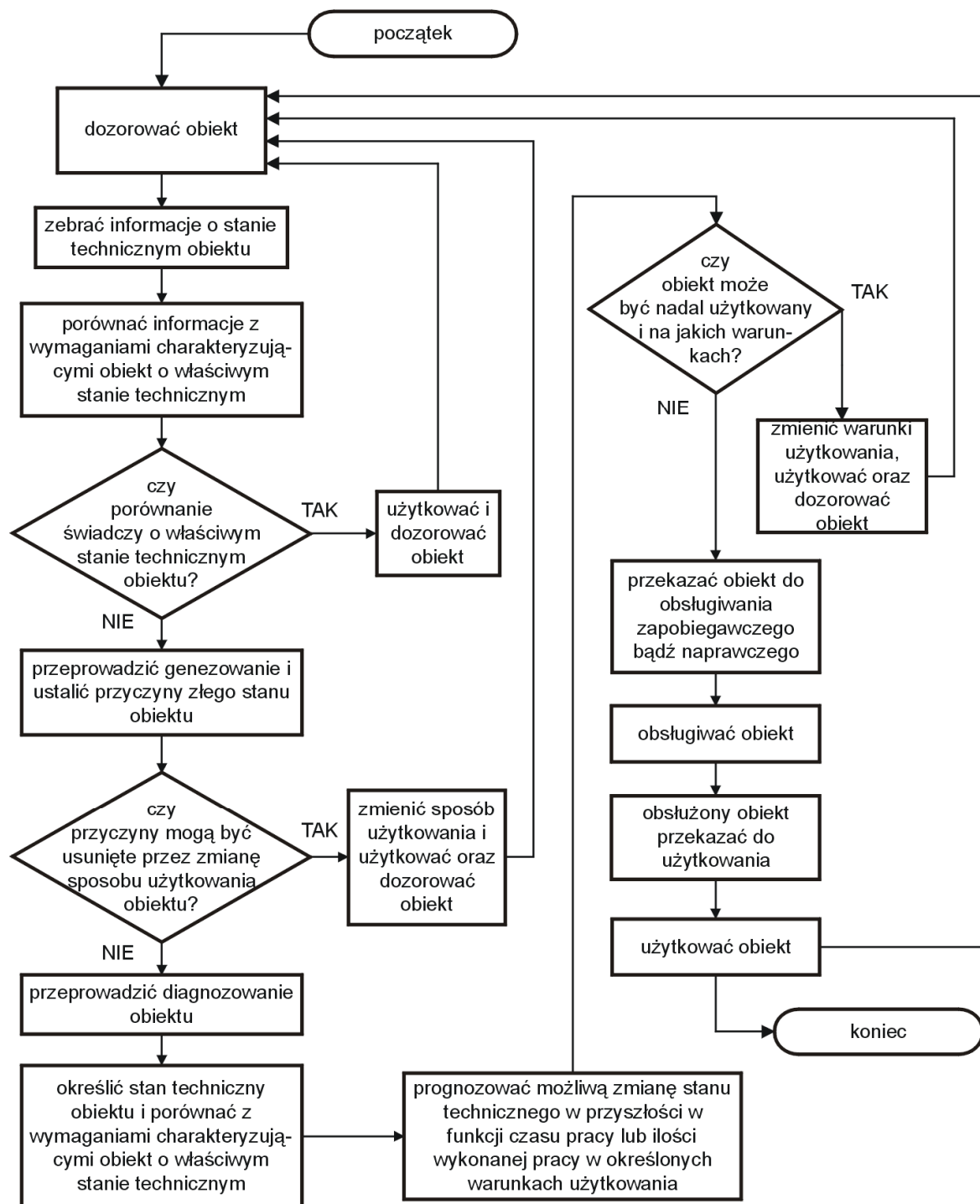
Na podstawie definicji systemu podanej przez Halla [3] system obsługi możemy określić [2] jako zbiór obiektów, za pomocą których wykonywane są operacje zmniejszające prędkość utraty właściwości użytkowych i przywracające obiektom technicznym, poddawanych obsłudze, właściwości już utracone. Pod pojęciem obiektów – składników systemu rozumiemy przy tym maszyny, urządzenia, obrabiarki, przyrządy, narzędzia, budynki i budowle, za pomocą których są wykonywane operacje obsługowe. Ponadto, do wymienionych składników systemu zalicza się technologię i organizację obsługi oraz zbiór relacji występujących między wymienionymi składnikami i między ich właściwościami. Tak określony system jest fizycznym systemem obsługi. Nie wystarczy on jednak do prowadzenia działalności obsługowej. Potrzebne są jeszcze „reguły gry” – zasady obsługi, określające sposób postępowania z obiektem w procesie eksploatacji. Występuje więc drugi system, nie fizyczny, będący wg Mesarowica [3] relacją na zbiorze wejść i wyjść. System taki należy interpretować jako zbiór zasad (reguł gry) i występujących relacji między nimi, umożliwiających podejmowanie decyzji w obsłudze obiektów i narzucających metody postępowania z obiektem w procesie eksploatacji, z punktu widzenia jego obsługi.

W tym właśnie kontekście będą rozpatrywane systemy obsługiwanie. W kontekście bardziej ogólnym można mówić o „polityce obsługowej”, której zasady określają racjonalny z przyjętego punktu widzenia sposób postępowania zwykle z dużymi zbiorami eksploatowanych obiektów technicznych, w dużych przedziałach czasu i w skali makroekonomicznej. Może to dotyczyć masowo produkowanych wyrobów (np. samochodów), systemów transportowych (np. metra, kolei), systemów energetycznych, obronnych i innych.



Rys. 3 Czy i jak obsługiwać pojazdy

Najogólniej rzecz biorąc system obsługiwanie powinien umożliwić właścicielowi obiektu udzielenie sobie odpowiedzi na pytanie czy i jak obsługiwać obiekt. Przy czym to drugie pytanie nie dotyczy technologii i organizacji obsługiwanie lecz zakresu prac obsługowych oraz kryteriów, w oparciu o które podejmowane byłyby decyzje o obsługiwanie. Rys. 3 [2] ilustruje graficznie procedurę umożliwiającą danie odpowiedzi na wymienione pytania, rys. 4 podaje algorytm podejmowania decyzji dotyczących zasadności przeprowadzenia obsługi obiektu znajdującego się w procesie użytkowania, a tablica 1 [2] zawiera zbiór zasad, o których mowa na rys. 3, wraz z ich interpretacją.



Rys. 4. Algorytm podejmowania decyzji o obsłudze eksploatowanego pojazdu

Należy zwrócić uwagę, że zasady generalnie określają cel obsługiwanego w ogóle oraz sposób postępowania umożliwiając w sposób racjonalny osiągnięcie tego celu. Odnoszą się nie tylko do pojazdów ale do wszystkich środków trwałych (obiektów technicznych). Stworzenie systemu, który w pełni odpowiadałby tak sformułowanym zasadom nie jest łatwe o czym świadczą informacje o obecnie obowiązującym systemie PZR i o ewoluowaniu tego systemu

w wyniku wprowadzania różnych modyfikacji, jak też o próbach tworzenia nowych rozwiązań.

Tablica 1

Zasady obsługi i ich interpretacja

Lp.	Nazwa zasady	Interpretacja zasady obsługi
1.	Zasada celu pozaobsługowego	Celem działalności obsługowej nie jest zmiana stanu technicznego pojazdu lecz umożliwienie osiągnięcia za pomocą pojazdu celów systemu (przedsiębiorstwa) użytkującego pojazdy.
2.	Zasada globalnych efektów	Efektywności obsługi nie należy określać w skali systemu obsługi lecz poprzez efektywność osiągania celu pozaeksploatacyjnego przez system użytkujący obsługiwane pojazdy.
3.	Zasada spójności	System obsługi nie może być kształtowany, a działalność obsługowa nie może być sterowana w oderwaniu od przedmiotu obsługi oraz systemu, z którym system obsługi współpracuje, lub którego jest składnikiem.
4.	Zasada dynamicznego działania	Działalność obsługowa nie powinna być sztywna i sformalizowana. System obsługi powinien reagować na zmiany występujące w obsługiwanych pojazdach i w systemach z którymi współpracuje, lub których jest składnikiem w sposób niesprzeczny z intencjami zmian. Powinien też sam inspirować zmiany w obsługiwanych pojazdach i systemach, z którymi współpracuje.
5.	Zasada udokumentowanego o działania	Decyzje o obsłudze dowolnego pojazdu należy podejmować na podstawie informacji o stanie pojazdu, sytuacji w systemie użytkownika, obsługi i nadrzędnym oraz – na podstawie przyjętych kryteriów technicznych i ekonomicznych.

4.1. System planowo-zapobiegawczych remontów – PZR

Typowym i najczęściej stosowanym obecnie systemem obsługi jest system PZR. Powstał prawie sto pięćdziesiąt lat temu, wymuszony silnym rozwojem komunikacji kolejowej na całym świecie. Tabor, linie kolejowe, urządzenia komunikacji i łączności wymagały uporządkowanej działalności obsługowej gwarantującej niezawodność, bezpieczeństwo i efektywność działania systemów transportu kolejowego w poszczególnych krajach. Brak w czasach powstawania systemu PZR narzędzi działania takich jak teoria

niezawodności, teoria odnowienia, teoria systemów, metodyka badania niezawodności, trybologia, badania diagnostyczne spowodował, że zasady omawianego systemu oparte były na obserwacjach i zbieranych danych statystycznych, doświadczeniu i wycuciu pracowników i ogólnie charakteryzowały się swoistym „działaniem na zapas”. Przejawiało się to w zbyt częstym, ustalonym dla całego pojazdu – zbioru obiektów – wykonywaniu przeglądów i napraw, których głównym celem było zapobieganie występowaniu niesprawności, a w tym i awarii, w procesie użytkowania. Nie prowadzono optymalizacji działań obsługowych z ekonomicznego punktu widzenia.

Cechą charakterystyczną systemu PZR jest występowanie cyklu obsługowego, w którym w określonej kolejności, w z góry określonych momentach i w określonym z góry zakresie są wykonywane przeglądy i naprawy pojazdu, zawsze jako całości. Występują normatywy obsługowe obejmujące cykl obsługowy i okresy międzyobsługowe (międzyprzegładowe i międzynaprawcze), które są obligatoryjne. Występują ponadto normatywy pomocnicze, częściowo nieobligatoryjne, obejmujące zakresy obsługi, pracochłonność i postoje w obsłudze. Wymienione normatywy bardzo ułatwiają planowanie działalności obsługowej, a w tym potrzebnej powierzchni produkcyjnej, wielkości zatrudnienia, potrzebnych maszyn, urządzeń, wyposażenia, materiałów oraz części i zespołów zamiennych. System PZR jest prosty, łatwy w stosowaniu, wygodny ale niekorzystny ekonomicznie.

Rozwój nauki i techniki oraz silny wzrost stopnia złożoności i wydajności obiektów technicznych, a także kosztów ich eksploatacji zaczął wymuszać wprowadzanie zmian w systemie obsługi.

4.2. Nowe tendencje w obsłudze

Analiza eksploatowanych obiektów i towarzyszących eksploatacji zjawisk oraz możliwości ich ilościowego określenia pozwolą sformułować następujące ogólne spostrzeżenie i wnioski:

- 1) Eksploatowane obiekty są wewnątrz silnie zróżnicowane pod względem właściwości składników (zespołów, podzespołów, części), warunków ich pracy, przebiegu zużywania się oraz wpływu na pracę obiektu jako całości. Zróżnicowanie przejawia się odmiennymi funkcjami niezawodności poszczególnych składników i ich odmiennymi trwałościami; występują też w różnych obiektach różne struktury niezawodnościowe, choć dominuje struktura szeregową.

- 2) Zbiory obiektów takich samych z założenia, są w praktyce różne już w momencie powstania (wyprodukowania) i dlatego przebiegi utraty ich właściwości użytkowych są różne.
- 3) Nie ma obecnie możliwości technicznych pozwalających uzyskać takie same właściwości początkowe jednakowych (z założenia) obiektów ani możliwości ujednoczenia niezawodności i trwałości różnych (z założenia) składników jednego obiektu. Poszczególne obiekty i poszczególne elementy jednego obiektu prowadzą „niezależne życie”.
- 4) Warunki pracy takich samych obiektów są różne i zmieniają się dynamicznie w wyniku oddziaływania otoczenia, co wpływa na przebieg ich zużywania się. Także czynnik ludzki wpływa na przebieg zużywania się obiektów technicznych.
- 5) Każdy eksploatowany obiekt jest narażony na oddziaływanie czynników losowych, których występowanie może być ilościowo określone w postaci prawdopodobieństwa zdarzenia. Nie jest możliwe jednoznaczne określenie rodzaju, czasu i miejsca wystąpienia zdarzenia losowego dla każdego obiektu indywidualnie.
- 6) Projektowanie nowego obiektu technicznego (pojazdu) nie powinno ograniczać się tylko do opracowania rozwiązania konstrukcyjnego i technologicznego. Powinno też obejmować projektowanie obiektu z punktu widzenia przyszłego obsługiwanego, a w tym szeroko rozumianej podatności obsługowej, systemu obsługiwanego, metod diagnozowania, uzbrojenia obsługowego i organizacji obsługiwanego.
- 7) Obsługiwane obiekty, a w poszczególnych obiektach ich składniki (zespoły, podzespoły) należy w procesie obsługiwanego i podczas tworzenia zasad obsługiwanego traktować w pewnym stopniu indywidualnie, ponieważ prowadzą „niezależne życie”.
- 8) Obsługiwaniem należy zajmować się we wszystkich fazach powstawania i życia obiektu:
 - w fazie jego projektowania,
 - w fazie budowy, ponieważ jakość wytwarzania ma wpływ na niezawodność i trwałość obiektów,
 - w fazie badania prototypu – badać prototyp należy nie tylko z punktu widzenia jego właściwości użytkowych ale i obsługowych; wobec obecnej tendencji wydłużania czasu życia obiektów błędne rozwiązania z zakresu obsługiwanego będą dawać o sobie znać przez długi okres eksploatacji obiektu,
 - w fazie użytkowania należy obserwować obiekt i wykrywać wady (użytkowe i obsługowe), które ujawniają się dopiero po dłuższym okresie użytkowania; wady usuwać dokonując modernizacji obiektu,

- w fazie obsługi należy obserwować obiekt i wykrywać wady użytkowania, trwałości, niezawodności i podatności obsługowej, które mogą być ujawnione tylko podczas obsługi połączonego z demontażem, badaniami defektoskopowymi i pomiarami elementów obiektu,
- w fazie złomowania należy obserwować stan obiektu aby wykryć składniki wyjątkowo mało trwałe i nadmiernie trwałe.

Zmiany w systemach obsługi przebiegają zwykle powoli w czasie, ponieważ przeważnie dotyczą obiektów nowo skonstruowanych, a te wchodzą w życie stopniowo i zwykle pracują równolegle z obiektami starymi, już istniejącymi. Wszystkie zmiany systemu obsługi pociągają za sobą koszty, ale też konieczność zmian w mentalności projektantów, producentów i użytkowników obiektów.

Dotychczas zaobserwowane tendencje zmian w obsłudze omówiono poniżej.

4.2.1. Kompleksowe traktowanie problemu

Polega [4] na uwzględnieniu obsługi we wszystkich etapach powstawania i eksploatacji obiektów. Wyróżnia się tu następujące etapy: badanie potrzeb i badanie otoczenia, w którym będzie użytkowany obiekt, kształtowanie koncepcji rozwiązania obiektu, projektowanie rozwiązania, planowanie inwestycji, budowa obiektu, eksploatacja obiektu. W tym ostatnim etapie bada się występujące zużycia i uszkodzenia, zapotrzebowanie na części zamienne i materiały, a także wpływ uzyskanego poziomu niezawodności obiektu, współczynnika gotowości i kosztów obsługi na wyniki działalności przedsiębiorstwa użytkującego obiekt. Wychodzi się z generalnego założenia, że o obsłudze nie można myśleć dopiero po wyprodukowaniu obiektu lecz znacznie wcześniej po to, aby odpowiednio przygotować obiekt oraz systemy, które obsługiwaniem będą się zajmować (stacje obsługi, służby Głównego Mechanika, przedsiębiorstwa remontowe).

Przedstawionemu kierunkowi działania przyświeca generalna zasada, że przede wszystkim należy ograniczać możliwości powstawania awarii, zapobiegać im.

4.2.2. Obsługiwanie ukierunkowane na niezawodność

Punktem wyjścia dla kształtowania reguł obsługiwania są wyniki badań niezawodności obiektów oraz wyniki analizy przyczyn powstawania zużyć i uszkodzeń.

Stosowane metody postępowania określane są [5] jako „Reliability Centred Maintenance” (obsługiwanie ukierunkowane na niezawodność) oraz „Methods of systematic analysis of plant disturbances” (metoda systematycznego analizowania niesprawności). W wymienionych metodach postępowania, poza badaniami wymienionymi na początku, ustala się sposoby zapobiegania niesprawnościom lub ich ograniczania, co w istotny sposób zmniejsza koszty.

4.2.3. Obsługiwanie według stanu obiektu

Metoda „Condition Based Maintenance”, w skrócie CBM polega [4] na przeprowadzaniu w sposób ciągły lub skokowy kontroli stanu obiektu (diagnozowania). Zbierane wyniki, rejestrowane i analizowane, są następnie podstawą do podejmowania decyzji o dokonaniu obsługiwanego obiektu nie jako całości lecz tego jego składnika, który obsługiwania wymaga. Obsługiwanie przeprowadza się nie według sztywnych i sformalizowanych terminów i zakresów lecz elastycznie, uwzględniając nie tylko stan techniczny obiektu ale też organizacyjną i produkcyjną sytuację w przedsiębiorstwie.

4.2.4. Pełne obsługiwanie produkcyjne

Wymyślona przez Japończyków metoda zwana „Total Productive Maintenance”, w skrócie TPM jest nazywana też poliwalentnym systemem obsługiwanego [6]. Jej istota polega na tym, że w procesach obsługiwanego obiektów uczestniczą nie tylko wyspecjalizowane służby ale także pracownicy pracujący na obiektach (np. kierowcy, maszyniści, tokarze). Wszyscy współpracując ze sobą nie tylko lepiej opiekują się obiektem; taka współpraca wzmacnia poczucie bliskości i zaufania oraz podnosi odpowiedzialność ludzi za oddany pod ich opiekę obiekt techniczny.

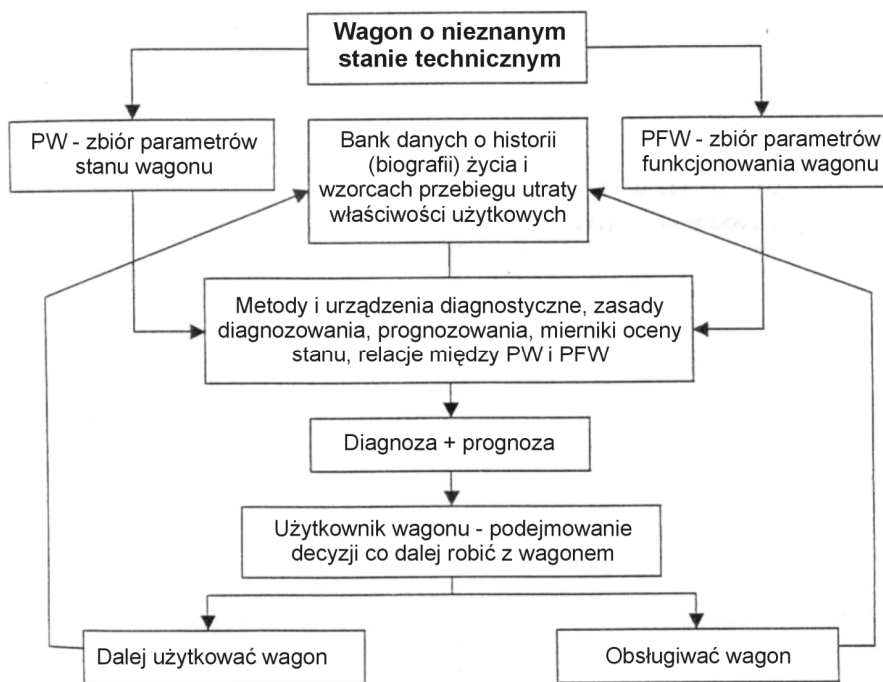
4.2.5. Wspomagane komputerowo zarządzanie obsługiwaniem

Ciekawą, obserwowaną coraz częściej tendencją jest wykorzystanie komputerów w obsługiwaniu. W metodzie CAMM – „Computer Aided Maintenance Management” [7] komputery są stosowane w planowaniu obsługiwania, kierowaniu obsługiwaniem oraz prowadzeniu rejestracji stanu obiektów m.in. przez gromadzenie informacji o przebiegu „życia” obiektów oraz wszystkich innych danych, które są wykorzystywane bądź warunkują podejmowanie decyzji o dokonaniu obsługiwania, sensownie z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia. Zbiera się informacje o tym co zaszło w przeszłości, aby móc ustalić jak postępować w przyszłości.

4.2.6. Sekwencyjna strategia obsługiwania.

Każda z wymienionych poprzednio metod nie jest jakimś odmiennym systemem obsługiwania obiektów. Są to różne rozwiązania cząstkowe, które powstały w rezultacie poszukiwania nowych sposobów obsługiwania. W przyszłości przyczynią się zapewne do powstania jakiegoś nowego rozwiązania całościowego. Sekwencyjna strategia obsługiwania (SSO) jest bardziej dojrzałym rozwiązaniem systemowym, co ją pozytywnie odróżnia od pozostałych. Zawiera w sobie w pewnym stopniu elementy rozwiązań zawartych w poprzednio przedstawionych metodach.

Można powiedzieć, że SSO jest przeciwieństwem systemu PZR. Jego charakterystyka jest następująca. W systemie SSO [8] nie ma wcześniej ustalonych cykli obsługowych (przeładowo-naprawczych), rodzajów obsług ani ich zakresów. Decyzje o obsługiwaniu obiektu podejmuje się na bieżąco, na podstawie wyników diagnozowania, genezowania, prognozowania, informacji o historii życia obiektu (biografii) oraz analizy kosztów. Ogólny sposób postępowania przedstawia rys. 5 (przygotowany dla przypadku wagonu), podany według [9].



Rys. 5. Proces diagnozowania, prognozowania i podejmowania decyzji o obsłudze wagonów

Cechą charakterystyczną systemu SSO jest to, że moment i zakres kolejnej obsługi ustala się (planuje) za każdym razem odrębnie, metodą kolejnych kroków. Poza zaplanowaną obsługą mogą wystąpić obsługi wymuszone zaistniałą awarią obiektu. W obu przypadkach przeprowadza się diagnozowanie obiektu i na podstawie jego wyników, wykorzystując proces prognozowania możliwych zmian stanu obiektu oraz analizę kosztów ustala się termin i zakres najbliższego kolejnego obsługiwania.

Taki sposób postępowania, ze względu na jego złożoność, konieczność posiadania obszernej i ciągle aktualizowanej bazy danych, potrzebę optymalizowania parametrów decyzyjnych (termin kolejnego obsługiwania, zakres obsługiwania), analizowanie kosztów, wymaga stosowania komputerów.

5. WAŻNIEJSZE PARAMETRY CHARAKTERYZUJĄCE OBSŁUGIWANIE I POTRZEBA ICH OPTYMALIZACJI

Stosowanie w praktyce dowolnego przyjętego systemu obsługiwanie musi być ujęte w pewne ramy ograniczające dowolność postępowania i interpretacji zdarzeń oraz pozwalające działać w sposób przewidywalny. Z tego powodu ustala się pewne parametry t.j. wielkości charakterystyczne dla systemu i procesu obsługiwanie. W zależności od założeń systemu wszystkie parametry bądź część z nich mogą być traktowane jako stałe lub zmienne. Punktem wyjścia dla określenia parametrów jest specyfika systemu i procesu obsługiwanie oraz zasady obsługiwanie podane w tablicy 1. Parametry są wykorzystywane z jednej strony do opisywania, planowania i organizowania działalności obsługowej, z drugiej – do kontrolowania rezultatów tej działalności przez porównanie wartości lub charakterystyk parametrów zakładanych z faktycznie uzyskiwanymi. Do ważniejszych parametrów charakteryzujących obsługiwanie można zaliczyć:

- 1) liczbę rodzajów obsług i kolejność występowania rodzajów obsług;
- 2) wielkość okresu międzyobsługowego mierzoną czasem lub wielkością wykonanej przez obiekt pracy między kolejnymi obsługami oraz stopień zmienności tego okresu;
- 3) zakresy obsługiwanie dla poszczególnych rodzajów obsług, określone liczbą obligatoryjnych, niezależnych od stanu technicznego obiektu, operacji obsługowych do wykonania;
- 4) stopień indywidualizacji obsługiwanie, określany poprzez procent ogólnej liczby zespołów i podzespołów, które są obsługiwane niezależnie, a nie łącznie z innymi zespołami i podzespołami składowymi obiektu;

Podane parametry zależą od przyjętych reguł obsługiwanie, a szerzej od stworzonego systemu obsługiwanie dla określonych obiektów o zdeterminowanych właściwościach, użytkowanych w określonych warunkach. Jeżeli uwzględnimy „wrodzone” właściwości obsługiwanego obiektu, przyjętą technologię i organizację obsługiwanie oraz właściwości systemu obsługiwanie scharakteryzowane wyżej wymienionymi parametrami, to możemy wyznaczyć następujące dodatkowe parametry, pośrednio charakteryzujące system obsługiwanie:

- 5) współczynnik gotowości obiektu $kg(t)$ określany jako prawdopodobieństwo zdarzenia, że w dowolnie wybranej chwili czasu obiekt będzie znajdował się w stanie zdatności, to znaczy że będzie mógł być użytkowany;

- 6) względny łączny czas trwania wyłączenia obiektu z użytkowania w celu przeprowadzenia obsługi, określany dla odpowiednio długiego przedziału czasu (np. w okresie 1 roku);
- 7) stopień udiagnostycznienia obsługi określany stosunkiem liczby operacji obsługowych, decyzja o wykonaniu których zapada na podstawie uprzednio przeprowadzonej diagnostyki, do łącznej liczby operacji występujących w obsłudze obiektu;
- 8) stopień mechanizacji prac obsługowych określany stosunkiem liczby operacji obsługowych wykonywanych z użyciem maszyn i urządzeń mechanizujących pracę do łącznej liczby operacji niezbędnych do wykonania obsługi;
- 9) jednostkowy koszt obsługi t.j. koszt obsługi przypadający na jednostkę czasu pracy (np. na 1 rok) lub wielkości wykonanej pracy (np. 1000 km przebiegu).

Zależnie od przyjętego systemu obsługi, pewne parametry mogą w ogóle nie występować; można też tworzyć inne parametry obsługi.

Parametry obsługi nie powinny być zakładane; twórcy systemu obsługi powinni je świadomie i w sposób optymalny kształtować. Odbywać się to powinno z uwzględnieniem następujących zasad:

- 1) parametry obsługi należy kształtować w sposób umożliwiający efektywne ekonomicznie osiągnięcie, za pomocą obiektów, celów systemu eksploatującego te obiekty;
- 2) należy dążyć do tego aby obsługa jako działalność było ekonomicznie efektywne, jednak nie kosztem efektywności osiągania celu pozaeksploatacyjnego. Stąd optymalizowanie parametrów obsługi powinno uwzględniać cele i potrzeby systemu użytkownika i nadrzędnego;
- 3) parametry obsługi nie powinny być sztywne i sformalizowane. Powinny być zmieniane, jeżeli okaże się to korzystne w skali systemu eksploatacji lub nadrzędnego.

6. SPECYFIKA UŻYTKOWANIA POJAZDÓW SZYNOWYCH, A SYSTEM OBSŁUGIWANIA

Pojazdy szynowe, podobnie jak inne środki trwałe, są eksploatowane (użytkowane i obsługiwane) w spójnym systemie. Oznacza to potrzebę uwzględnienia podczas tworzenia systemu obsługi wymagań wynikających z obowiązujących reguł użytkowania.

Specyfikę użytkowania pojazdów można scharakteryzować następująco:

- pojazdy są obiektami mobilnymi, nie są użytkowane stacjonarnie, natomiast muszą być stacjonarnie obsługiwane;
- pojazdy są użytkowane w systemie, który narzuca „reguły gry” i które muszą być respektowane – np. rozkład jazdy pociągów metra, godziny kursowania w okresie doby;
- pojazdy są użytkowane w systemie, jako różne podzbiory pojazdów (pociągi) pracujące równolegle; zaburzenia w pracy jednego podzbioru (pociągu) pociągają za sobą zaburzenia w pracy wszystkich pozostałych podzbiorów oraz systemu jako całości;
- pojazdy są użytkowane (pracują) w dynamicznym otoczeniu; występują silne oddziaływania wzajemne między pojazdem a otoczeniem, a w tym takie, które wpływają na bezpieczeństwo ludzi;
- zapotrzebowanie na użytkowanie pojazdów jest zmienne w czasie;
- właściciel pojazdów ponosi odpowiedzialność za szkody, jakie to użytkowanie może spowodować w otoczeniu, a w tym – jakie może przynieść ludziom.

Na tle tej charakterystyki, ogólne wymagania jakie powinien spełniać system obsługi można określić jak niżej:

- system musi zapewniać wysoką, możliwą do osiągnięcia ze względu na właściwości pojazdu, niezawodność systemu użytkowania;
- system obsługi powinien być nastawiony na zapobieganie, na niedopuszczanie do powstawania w procesie użytkowania niesprawności w pojazdach;
- system musi uwzględniać zmienną w czasie dostępność pojazdów w celu wykonania obsługi oraz często krótki czas tej dostępności;
- system musi uwzględniać dynamiczne oddziaływanie otoczenia na pojazdy, (przejawiające się dynamicznymi zmianami właściwości pojazdów pod wpływem działania otoczenia);
- system obsługi musi działać na zasadzie, że pojazd przyjeżdża do systemu, albo, że system przyjeżdża do pojazdu aby go naprawić;

- system obsługiwanego musi być ukształtowany i funkcjonować z założeniem, że obsługując pojazd w istocie umożliwia się funkcjonowanie systemu użytkownika; w tej sytuacji system obsługiwanego musi być bardzo elastyczny i dysponować pewnym nadmiarem zdolności produkcyjnej (obsługowej) wykorzystywanej w krytycznych sytuacjach;
- system obsługiwanego musi dysponować aktualizowanymi w sposób ciągły informacjami dotyczącymi stanu pojazdów, sytuacji w systemie użytkownika i obsługiwanego oraz sytuacji w otoczeniu, kierując się zasadą: „tyle możemy ile wiemy”.

7. WŁAŚCIWOŚCI POJAZDÓW, A SYSTEM ICH OBSŁUGIWANIA

Każdy pojazd jest systemem technicznym. Jego ogólne właściwości można scharakteryzować następująco:

- jest zbiorem podsystemów – składników pojazdu - różnorodnych pod względem właściwości konstrukcyjnych, technologicznych i funkcjonalnych oraz tempa utraty właściwości użytkowych;
- składniki pojazdu (zespoły, podzespoły) prowadzą „niezależne życie” – charakteryzują się różnymi funkcjami niezawodności, zróżnicowaną trwałością i różnym stopniem wzajemnego oddziaływania na siebie (relacje); właściwości początkowe nawet takich samych (z założenia) zespołów i podzespołów są różne;
- składniki charakteryzują się dużym stopniem spójności w obrębie zespołów i podzespołów i znacznym stopniem niezależności między sobą;
- zespoły i podzespoły muszą zawsze pracować łącznie – to warunkuje funkcjonowanie pojazdu jako całości;
- struktura niezawodnościowa pojazdów jest przeważnie szeregową;
- konstrukcja modułowa, podobnie jak i dostosowanie do diagnozowania występują w pojazdach w różnym stopniu; obserwuje się tendencje rozwijania tych właściwości.

Opisane cechy pojazdów, występujące też i w innych obiektach technicznych, obok specyfiki użytkownika powodują duże trudności w określeniu racjonalnego systemu obsługiwanego.

Z opisanych specyficznych właściwości pojazdów można dla systemu obsługiwanego wyciągnąć następujące wnioski ogólne:

- 1) Zróżnicowanie właściwości składników pojazdów i tempa ich zużywania się przejawiające się tzw. „niezależnym życiem” powoduje, że wykonywanie napraw

wszystkich składników w tym samym momencie (terminie) nie znajduje technicznego uzasadnienia. System powinien umożliwiać indywidualne obsługiwane składników wtedy, kiedy ich stan techniczny tego wymaga.

- 2) Występowanie, choć w ograniczonym stopniu i zakresie zjawiska spójności między składnikami pojazdu powoduje, że w procesie obsługiwanego zajmować się należy w pewnym stopniu także pojazdem jako całością. Wynika to też z konieczności zapewnienia funkcjonowania pojazdu jako całości, co jest prostą konsekwencją faktu, że zespoły składowe muszą zawsze pracować łącznie.
- 3) Szeregową strukturą niezawodnościową pojazdów powoduje, że po wystąpieniu niesprawności trzeba ją bez zwłoki usunąć, aby dalsze funkcjonowanie pojazdu było możliwe.
- 4) Ponieważ właścicielowi pojazdu zależy na dużym współczynniku gotowości, na co wpływa czas trwania obsługiwanego, należy to uwzględnić podczas konstruowania pojazdu. Chodzi o stworzenie rozwiązania o dużej podatności diagnostycznej, konstrukcji modułowej, wymienności zespołów, podzespołów i części, łatwości demontażu, montażu i regulacji. Spowoduje to, że obsługiwane będzie mogło być wykonywane w pewnym zakresie nawet w warunkach „poligonowych”, podczas krótkiego postoju i z użyciem pracowników o niższych kwalifikacjach, co zmniejszy koszty.

8. OBECNY SYSTEM OBSŁUGIWANIA WAGONÓW METRA

8.1. Charakterystyka wagonów metra z punktu widzenia ich obsługiwanego

Metro warszawskie eksploatuje dwa rodzaje pojazdów: wagony serii 81, produkcji rosyjskiej, pracujące obecnie w składach czterowagonowych i wagony serii Metropolis produkowane przez firmę Alstom, pracujące w składach sześciowagonowych. Wybrane cechy charakterystyczne wymienionych wagonów przedstawiono w tabeli 2.

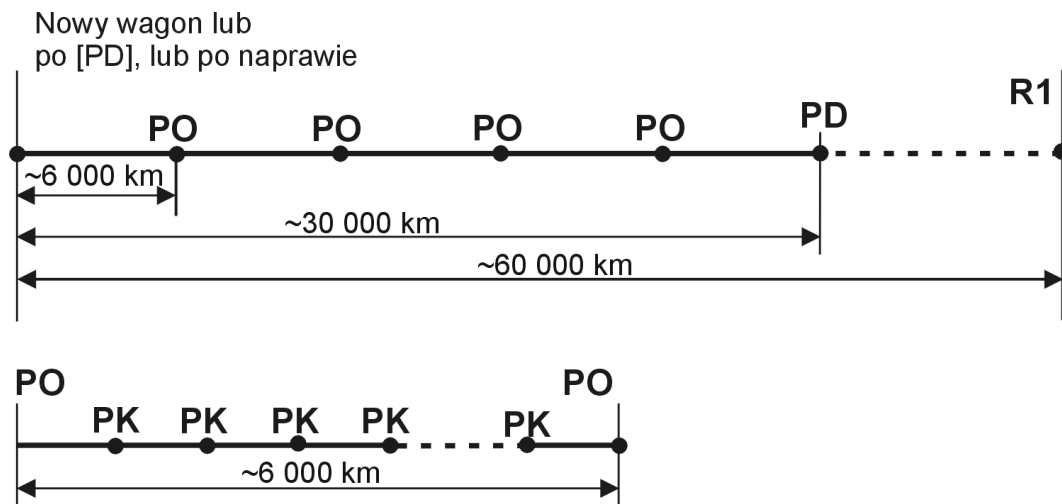
Wybrane cechy charakterystyczne wagonów metra

Lp.	Cechy charakterystyczne	Wagony serii 81	Wagony serii Metropolis
1.	Rok produkcji	1990 i 1994	1998
2.	Zakładany „czas życia” i przebieg w okresie życia.	58 lat; 5800000 km	30 lat; 3000000 km
3.	Liczba i rodzaj wagonów w składzie pociągu	Minimum 3, maksimum 8; obecnie 4 wagony, planuje się 6 wagonów; wszystkie wagony silnikowe.	6 wagonów; mogą być użytkowane bez możliwości zmiany liczby i konfiguracji wagonów pociągu; cztery wagony silnikowe i dwa sterownicze (końcowe).
4.	Diagnostyka stacjonarna	Możliwa w ograniczonym zakresie	Możliwa w ograniczonym zakresie
5.	Diagnostyka pokładowa	Brak możliwości	Możliwa w ograniczonym zakresie
6.	Rejestracja i dostępność informacji o parametrach stanu i parametrach funkcjonowania wagonu	System rejestracji BUR rejestruje 12 parametrów analogowych i 32 logiczne, występujące podczas pracy wagonu; przedział czasowy rejestrowania 50 h; odczyt zapisów komputerowy, po zjeździe pociągu na stację techniczno – postojową; wyniki odczytu mogą być wykorzystane do ustalenia przyczyn wypadku bądź awarii, a w procesie obsługiwanym – podczas oceny stanu w momencie obsługiwanym i do prognozowania zmian stanu niektórych elementów wagonu; nie ma możliwości bieżącego odczytywania zapisów w czasie jazdy; liczba rejestrowanych parametrów – ograniczona.	Wagony są wyposażone w informatyczny system monitorowania TIMS, służący do dozoru stanu wagonów podczas użytkowania; są rejestrowane parametry stanu i parametry funkcjonowania wybranych elementów; informacje z tego zakresu, z zakwalifikowaniem ich jako awarie lub usterki otrzymuje na bieżąco (na wyświetlaczu) maszynista pociągu; poprzez PC można je też uzyskać i wykorzystać podczas obsługiwanym; przetwornice, sterowniki hamulca, drzwi, elektronika sterownia napędem, sprzężarki mają oddzielne złącza umożliwiające odczytanie informacji o ich parametrach stanu i funkcjonowania.
7.	Obowiązujący system obsługiwanym	Planowo-zapobiegawczych remontów – PZR; Podczas naprawy stosowana jest metoda wymiany zespołów	Planowo- zapobiegawczych remontów – PZR; Podczas naprawy jest stosowana metoda wymiany zespołów; w wagonach występują elementy o konstrukcji modułowej.

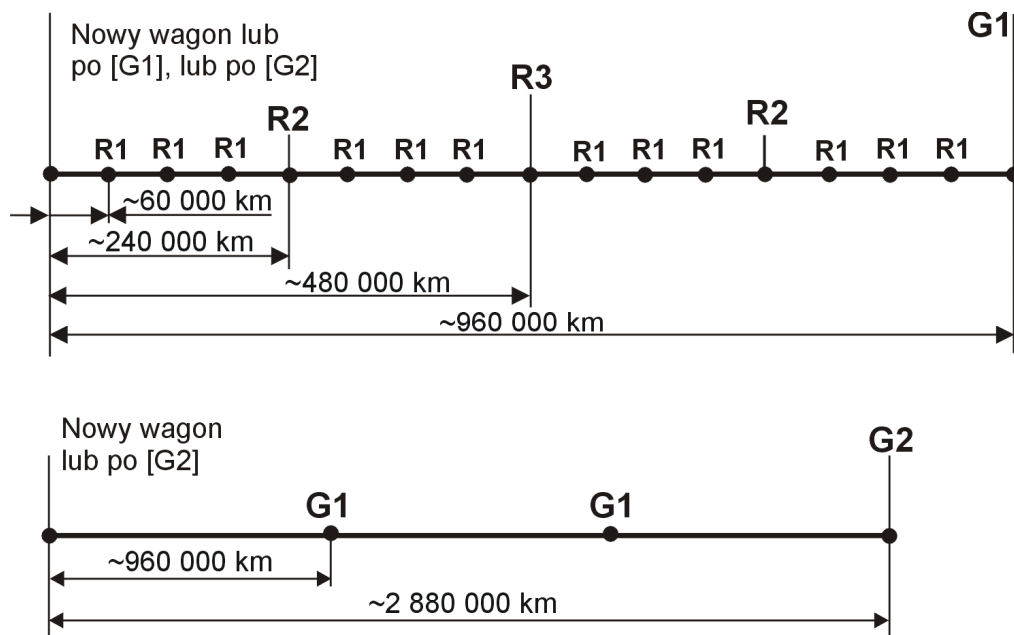
8.2. Ogólna charakterystyka obecnego systemu obsługi wagonów metra.

Awaryjność wagonów metra

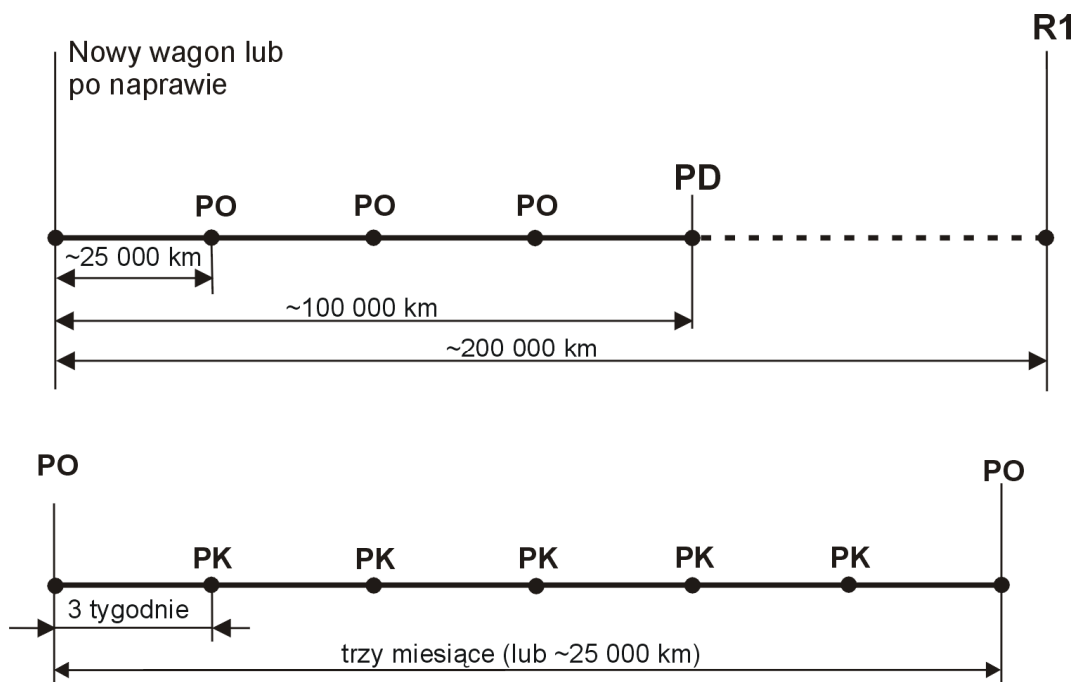
Wagony metra obsługiwane są w oparciu o cykle przeglądkowo-naprawcze, przedstawione na rys. 6, 7, 8 i 9. Przebiegi międzyprzeglądowe i międzynaiprawcze oraz odpowiadające im czasy podano w tablicach 3 i 4 według [10].



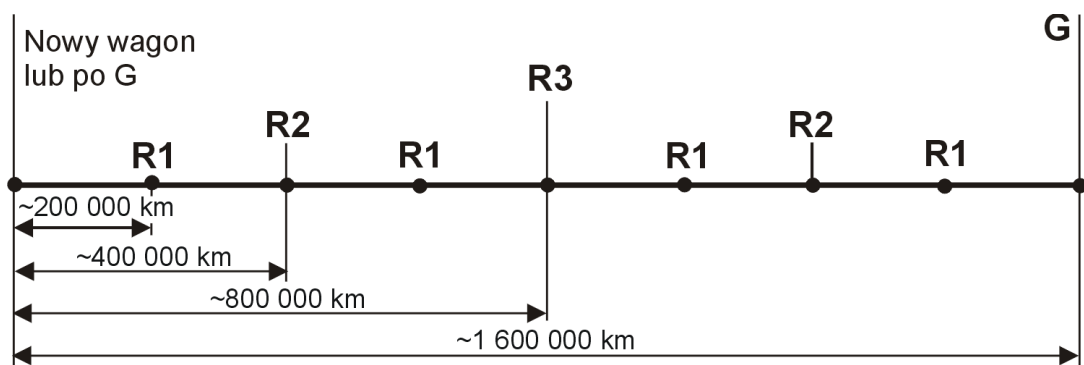
Rys. 6. Cykl przeglądkowy wagonów metra serii 81 gdzie: PK - przegląd kontrolny codzienny (wykonywany w rozkładowych przerwach w pracy pociągu) PO - przegląd okresowy PD - przegląd okresowy rozszerzony R1 - naprawa rewizyjna pierwsza



Rys. 7. Cykl naprawczy wagonów metra serii 81 gdzie: R1 - naprawa rewizyjna pierwsza R2 - naprawa rewizyjna druga R3 - naprawa rewizyjna trzecia G1 - naprawa główna pierwsza G2 - naprawa główna druga



Rys. 8. Cykl przeglądu wagonów metra serii Metropolis gdzie: PK - przegląd kontrolny
 PO - przegląd okresowy PD - przegląd okresowy rozszerzony
 R1 - naprawa rewizyjna pierwsza



Rys. 9. Cykl naprawczy wagonów metra serii Metropolis gdzie: R1 - naprawa rewizyjna pierwsza R2 - naprawa rewizyjna druga R3 - naprawa rewizyjna trzecia G - naprawa główna pierwsza

Tablica 3

Przebiegi międzyprzeglądowe i międzynaprawcze oraz odpowiadające im czasy, dla wagonów serii 81

Lp.	Rodzaj przeglądu i naprawy	Przebieg [tys. km]	Odpowiadający przebiegowi czas
1	PK – przegląd kontrolny codzienny	0,2 ÷ 0,6	8 ÷ 20 h
2	PO – przegląd okresowy	5 ÷ 7	11 ÷ 16 dni
3	PD – przegląd okresowy rozszerzony	25 ÷ 35	55 ÷ 80 dni
4	R1 – naprawa rewizyjna pierwsza	50 ÷ 70	150 ÷ 250 dni
5	R2 – naprawa rewizyjna druga	220 ÷ 260	2 ÷ 2,5 roku
6	R3 – naprawa rewizyjna trzecia	450 ÷ 510	4 ÷ 5 lat
7	G1 – naprawa główna pierwsza	910 ÷ 1010	9 ÷ 10 lat
8	G2 – naprawa główna druga	2730 ÷ 3030	27 ÷ 30 lat

Przebiegi międzyprzeglądowe i międzynaprawcze oraz odpowiadające im czasy, dla wagonów typu Metropolis

Lp.	Rodzaj przeglądu i naprawy	Przebieg [tys. km]	Odpowiadający przebiegowi czas
1	PK – przegląd kontrolny	-	2 tygodnie
2	PO – przegląd okresowy	23,75 ÷ 26,25	3 miesiące
3	PD – przegląd okresowy rozszerzony	95 ÷ 105	12 miesięcy
4	R1 – naprawa rewizyjna pierwsza	190 ÷ 210	2 lata
5	R2 – naprawa rewizyjna druga	380 ÷ 420	4 lata
6	R3 – naprawa rewizyjna trzecia	760 ÷ 840	8 lat
7	G – naprawa główna	1520 ÷ 1680	16 lat

Podstawowym spostrzeżeniem jakie się nasuwa jest to, że wagony Metropolis, mimo że są wyposażone w urządzenia diagnostyki pokładowej, są obsługiwane według sztywnego i sformalizowanego cyklu, traktującego pojazd całościowo. Podobnie zresztą odbywa się to w przypadku wagonów serii 81, choć tu pewnym usprawiedliwieniem jest małe dostosowanie wagonów do diagnozowania. W przypadku wagonów Metropolis obowiązują dwa normatywy: przebieg w km i czas, który przesądza o wykonaniu przeglądu czy naprawy gdy pojazd nie przejechał normatywnej liczby kilometrów. Oba typy wagonów są naprawiane według sztywnych i sformalizowanych cykli przeglądowo – naprawczych, które są obligatoryjne i odnoszą się do wagonów bądź pociągów jako całości. Różnice między rodzajami obsług sprowadzają się do różnic dotyczących zakresu prac w przypadku poszczególnych zespołów składowych wagonów. System obsługiwanie nie uwzględnia zjawiska „niezależnego życia” zarówno różnych jak i takich samych elementów jednego wagonu. W procesie obsługiwanie w celu sprawdzenia stanu elementów wagonu jest przeprowadzany demontaż; jest to spowodowane brakiem możliwości diagnozowania elementów, zwłaszcza w wagonach serii 81 i w jakimś stopniu brakiem dostosowania systemu obsługiwanie i samych wagonów do szerokiego stosowania diagnostyki w procesie podejmowania decyzji o tym czy i w jakim zakresie przeprowadzić naprawę.

Obowiązujący system obsługiwanie nie został określony z uwzględnieniem kryteriów ekonomicznych t.j. minimalizacji jednostkowych kosztów sumarycznych.

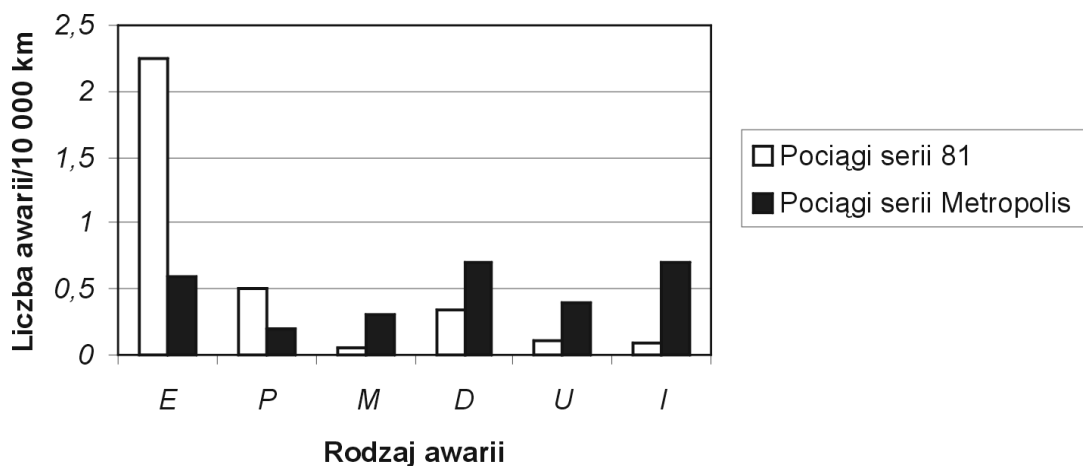
W systemie występują naprawy główne, mimo że celowość prowadzenia takich napraw jest coraz częściej kwestionowana na świecie, a na niektórych kolejach np. DB zostały one wyeliminowane [9].

Jest charakterystyczne, że w wagonach Metropolis zamontowany system diagnostyczny wpływa na zakres prac naprawczych wówczas gdy wykryta zostanie nieprawidłowość w funkcjonowaniu jakiegoś zespołu. Zespoły pracujące prawidłowo podlegają rygorom wynikającym z cyklu i z przepisów mówiących o pracach do wykonania podczas przeglądów i napraw.

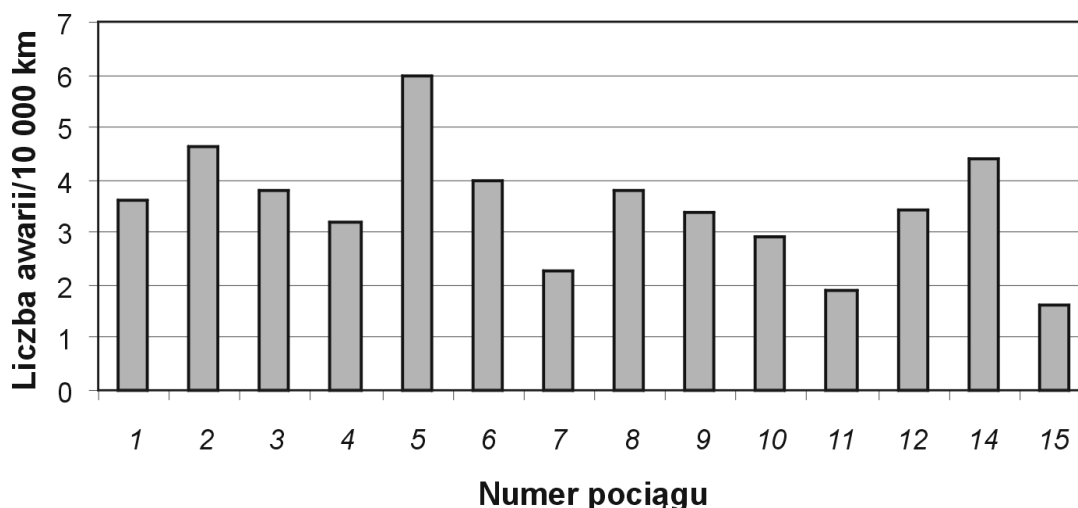
Omówione ogólne zasady postępowania są stosowane w odniesieniu do pojazdów, które jak już o tym powiedziano wcześniej są zbiorem składników o zróżnicowanych właściwościach, w tym niezawodności i trwałości, zróżnicowanych właściwościach początkowych i prowadzących „niezależne życie”.

Ta ostatnia właściwość, będąca swoistą syntezą wszystkich wymienionych właściwości, może być w pewnym stopniu zilustrowana za pośrednictwem danych o uszkodzeniach zespołów i podzespołów wagonów. Dane te, przytoczone w oparciu o [10], zostały przedstawione na rys. 10 - 14.

Przedstawione na rysunku dane uzyskano w wyniku przebadania 15 pociągów serii 81 (60 wagonów) i 8 pociągów serii Metropolis (48 wagonów).



Rys. 10. Liczba poszczególnych rodzajów awarii na 10000 przejechanych kilometrów pociągów serii 81 oraz Metropolis w 2002 r. Użyte symbole oznaczają: E - układ elektryczny sterowania i napędu P - układ pneumatyczny M - układ mechaniczny D – drzwi U - urządzenia pomocnicze w kabinie maszynisty I - inne elementy

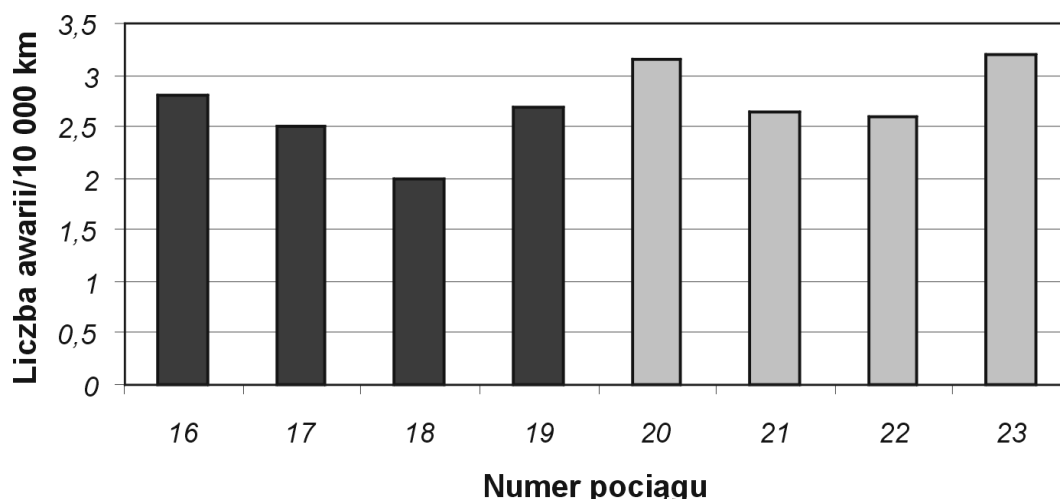


Rys. 11. Liczba awarii poszczególnych pociągów serii 81 przypadająca na 10000 przejechanych kilometrów w 2002 r.

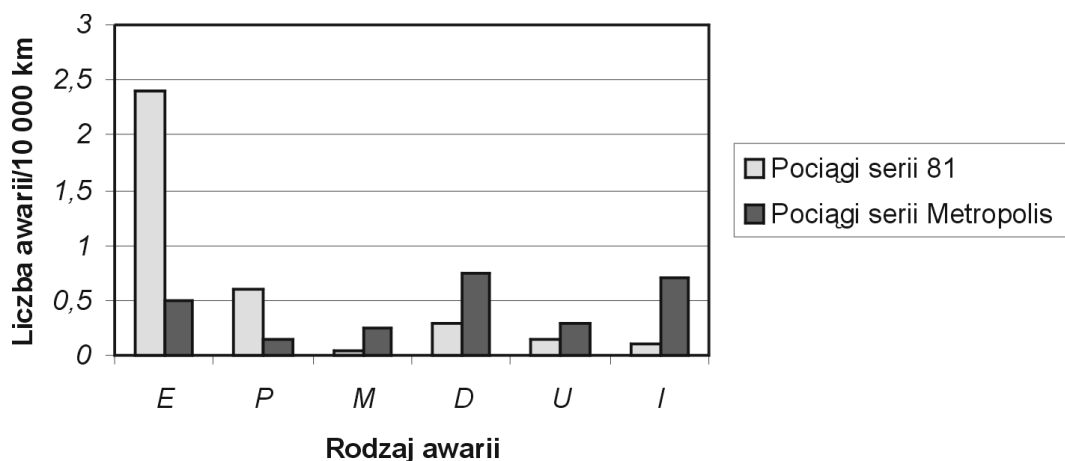
Pociągi z I dostawy użytkowane są w metrze od 2000 r., z II dostawy – od 2001 r.

Ze względu na różne terminy dostaw taboru różne też są liczby przejechanych przez poszczególne pojazdy kilometrów. Aby dane o awariach poszczególnych pojazdów i ich składników mogły być nieco bardziej porównywalne, spośród pociągów obu serii wybrano te o możliwie zbliżonych przebiegach do 31.12.2002 r. Dla serii 81 przebiegi te są rzędu 750 tys. km, a dla Metropolis – rzędu 260 tys. km. Nie można było bardziej „zbliżyć” przebiegów z uwagi na zbyt krótki czas użytkowania wagonów Metropolis.

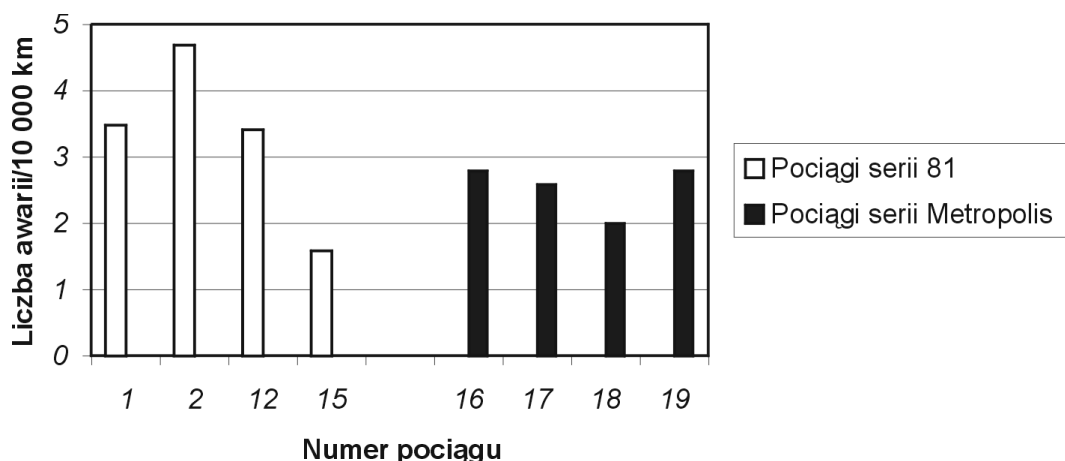
Dane o awaryjności tak dobranych pociągów przedstawiono na rys. 13 i 14.



Rys. 12. Liczba awarii poszczególnych pociągów serii Metropolis przypadająca na 10000 przejechanych kilometrów w 2002 r. (I dostawa - kolor ciemny, II dostawa - kolor jasny)



Rys. 13. Liczba poszczególnych rodzajów awarii na 10000 przejechanych kilometrów. Przedstawiono wykorzystując dane o awariach pociągów o numerach 1, 2, 12, 15 (wagony serii 81) oraz 16, 17, 18, 19 (wagony serii Metropolis) w 2002 r.



Rys. 14. Liczba awarii wybranych pociągów serii Metropolis oraz 81, przypadająca na 10000 przejechanych kilometrów w 2002 r. określona odrębnie dla poszczególnych pociągów

Z przedstawionych na rys 10 ÷ 14 danych nasuwają się pewne spostrzeżenia ogólne.

Występuje bardzo wyraźne zróżnicowanie liczby awarii przypadających na 10000 przejechanych kilometrów dla grup zespołów składowych pojazdów (rys. 10). To zróżnicowanie dotyczy różnych zespołów w obu rozpatrywanych typach pojazdów.

Jednak omawiane wyżej zróżnicowanie odnosi się nie tylko do poszczególnych zespołów obu typów pojazdów ale daje się też zauważyć w obrębie poszczególnych wagonów tego samego typu, co obrazują rys. 11 i 12.

Jest to potwierdzenie faktu „niezależnego życia” składników pojazdu jak i samych pojazdów.

Konfrontując właściwości wagonów z obowiązującym obecnie systemem obsługiowania dostrzec można pewną sprzeczność. Wagony składające się z elementów o zróżnicowanych właściwościach i przebiegu utraty właściwości użytkowych są obsługiwane według systemu, który narzuca z góry momenty i zakresy przeglądów i napraw odnoszące się do pojazdów jako całości. Takie postępowanie wygodne dla obsługującego powoduje niepełne wykorzystywanie zasobów składników wagonów bądź ich przekroczenie; w obu przypadkach powoduje to zwiększenie kosztów.

Nasuwa się wniosek, że obecnie obowiązujący system obsługiowania powinien zostać zmieniony. Powinno to być jednak poprzedzone przyjęciem pewnych ogólnych założeń, wynikających z obserwowanych na świecie tendencji [4]. Są one następujące:

1. Dąży się do odchodzenia od całościowego obsługiowania pojazdów na rzecz niezależnego obsługiowania ich zespołów i podzespołów według indywidualnych cykli przeglądowo – naprawczych. Podstawą określenia cykli są przy tym badania niezawodnościowe i badania kosztów, umożliwiające dobór optymalnych momentów obsługiowania.
2. Przyjmuje się zasadę, że najważniejsze to zapobiegać, nie dopuszczać do powstawania nadmiernych zużyć i uszkodzeń, gdyż to pociąga za sobą znaczne koszty i zwiększa czas wyłączenia pojazdu z użytkowania. Podstawą takiego postępowania jest dozоровanie, generowanie, diagnozowanie i prognozowanie stanu zespołów i podzespołów oraz pojazdu jako całości. Obowiązuje przy tym zasada elastycznego postępowania, zgodnie z którą normatywny zakres prac przeglądowo – naprawczych jest zastępowany zakresem ustalonym na podstawie stwierdzonego stanu technicznego pojazdu.
3. Dąży się do obsługiowania pojazdów metodą „In situ” to znaczy na miejscu. Metoda ta oznacza dążenie do wykonywania przeglądów i napraw w wagonowniach i lokomotywniach. Dzięki konstrukcji modułowej pojazdów, przyspieszającej i umożliwiającej w warunkach wagonowni i lokomotywni wymianę niesprawnych zespołów, skraca się czas wyłączenia pojazdu z użytkowania, a więc poprawia współczynnik gotowości. Do zakładów naprawczych wysyła się luzem niesprawne zespoły i podzespoły do naprawy; naprawione pełnią rolę zespołów rotacyjnych. Dzięki temu zmniejsza się liczba zakładów naprawczych; lokomotywnie i wagonownie muszą być jednak lepiej uzbrojone.
4. Przywiązuje się dużą wagę do konstruowania pojazdów o dużej niezawodności, aby zmniejszyć częstość i zakres przeglądów i napraw, a przez to i koszty.

5. Dostrzega się dążenie do silniejszego zintegrowania systemów użytkowania i obsługi. Osiąga się to przez przeniesienie na wagonownie i lokomotywownie głównego ciężaru obsługi na zasadach podanych w punkcie 3.
6. Zamiast opierania się na sztywnych przepisach daje się większe uprawnienia i możliwości decydowania ludziom zajmującym się obsługiwaniem. Uprawnienia dotyczą podejmowania decyzji o potrzebie wykonania prac obsługowych, wnioskowania zmian w przepisach, współpracy z producentami taboru oraz części i zespołów, a także gospodarowania funduszami.
7. Coraz szerzej wprowadza się komputery do badań niezawodnościowych, tworzenia banków danych, gospodarki magazynowej i częściami zamiennymi, zbierania danych statystycznych o kosztach, postojach, pracochłonności obsługi, do wspomagania zarządzania wagonownikami i lokomotywnikami. Stosuje się też komputery w celu operatywnego przekazywania pracownikom zatrudnionym w obsłudze danych technicznych charakteryzujących procesy technologiczne.

Komputery znajdują zastosowanie do śledzenia przebiegu pojazdu i jego zespołów w procesie obsługi, do porozumiewania się między obiektami zaplecza obsługowego, a w tym do składania zapotrzebowania na materiały, części i zespoły zamienne i następnego ich dostarczania zainteresowanym metodą „just – in – time”.

W chwili obecnej warszawskie metro jeszcze znajduje się w początkowej fazie swojego rozwoju i na pewno będzie się rozrastać. Eksploatowany obecnie tabor metra będzie zapewne użytkowany jeszcze ponad 30 lat, a jego liczba będzie systematycznie wzrastać. Jest zatem możliwe i konieczne przyjęcie długofalowych założeń dotyczących polityki obsługowej, najlepiej uwzględniającej wyżej podane, występujące za granicą trendy. Ma to techniczny i ekonomiczny sens, ponieważ będzie przynosić profity przez cały czas istnienia metra.

Realizacja wymienionych prac wymaga szeroko zakrojonej działalności projektantów i ekonomistów. Poniżej w rozdziale 9 przedstawiono sugestie dotyczące zmian w systemie obsługi obecnie użytkowanych w metrze pojazdów, uwzględniające ich „wrodzone” właściwości.

9. PROPOZYCJE ZMIAN SYSTEMU OBSŁUGIWANIA OBECNIE EKSPLOATOWANYCH WAGONÓW METRA

Na podstawie dotychczasowych rozważań i zebranych informacji a także [10] zaproponowane zostały zmiany w systemie obsługi wagonów metra. Zmiany te są różne dla wagonów serii 81 i Metropolis ze względu na ich odmienne rozwiązania, istotne z punktu widzenia obsługi. Wspólną cechą charakterystyczną proponowanych zmian jest dążenie do uwzględnienia w większym stopniu zjawiska „niezależnego życia” składników wagonów. Zmiany w systemie obsługi powinny być poprzedzone następującymi pracami, możliwymi do zrealizowania już obecnie, w warunkach metra:

- badaniami niezawodności głównych zespołów i podzespołów składowych, wraz z określeniem postaci matematycznej wskaźników niezawodności;
- badaniami trwałości głównych zespołów i podzespołów i określeniem przebiegu zużywania się ich w funkcji czasu lub liczby przejechanych kilometrów;
- stworzeniem banku informacji o historii życia (biografii) głównych zespołów i podzespołów, wzorcach przebiegu utraty właściwości użytkowych, niezawodności, wymaganiach technicznych, ekonomicznych i innych;
- stworzeniem systemu szczegółowej rejestracji kosztów eksploatacji wagonów, a w tym kosztów obsługi, awarii, skutków awarii, składników kosztów oraz rejestracji czasów wyłączenia pojazdów z użytkowania i przyczyn tych zdarzeń;
- opracowaniem, na podstawie powyższych informacji, optymalnych z ekonomicznego punktu widzenia parametrów systemu obsługi;
- opracowaniem systemu organizacji i zarządzania obsługiwaniem wagonów metra.

9.1 Propozycje zmian systemu obsługi wagonów serii 81

Generalnie proponuje się pozostawić cykle przeglądowo – naprawcze, ze względu na niedostosowanie tych wagonów do diagnozowania, ale ze znacznym rozluźnieniem obowiązujących w nich rygorów, jak to podano niżej.

Przeglądy kontrolne i okresowe – PK, PO, PD

Przeglądy kontrolne PK są wykonywane obecnie codziennie, w przerwach kursowania pociągów. Zakres prac sprawdza się głównie do oględzin zespołów wagonu w celu wykrycia ewentualnych niesprawności, sprawdzenia mocowania elementów, ich działania, uzupełnieniu smaru i ewentualnej regulacji. Przeglądy PO i PD mają podobny charakter lecz znacznie większy zakres prac kontrolnych, regulacyjnych, pomiarowych i smarowniczych. W niektórych przypadkach wykonywany jest demontaż i wymiana elementów. Szczególnie jest widoczna różnica w zakresie prac w przypadku urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Podczas przeglądów PO i PD jest przeprowadzone mycie i sprzątanie wagonów, a po przeglądach – jazdy próbne i usuwanie usterek. Różnica między PO i PD dotyczy głównie układu mechanicznego:

- w przypadku układu mechanicznego przeprowadza się dokładniejsze pomiary i oględziny zestawów kołowych oraz smarowanie czopa skrzetu,
- w przypadku układu pneumatycznego różnice nie występują,
- w przypadku układu elektrycznego prawie nie ma różnic, a w przypadku układu elektronicznego – różnice nie występują.

Proponuje się na razie codzienne przeglądy kontrolne PK pozostawić bez zmian odnośnie momentu i zakresu prac. Na podstawie badań niezawodności i trwałości będzie można ustalić możliwość zmniejszenia częstości ich wykonywania, albo uzależnić od liczby przejechanych kilometrów.

Proponuje się zlikwidować podział przeglądów na PO i PD i wprowadzić tylko jeden, wykonywany w z góry określonym momencie, rodzaj przeglądu PO o zmiennym zakresie prac, zależnym od stanu wagonu.

Zaproponowana zmienność zakresu prac oznaczałaby, że zakres prac przeglądowych byłby w pewnym stopniu funkcją stanu wagonu stwierdzonego podczas przeglądu na podstawie oględzin, pomiarów i kontroli, a także stwierdzonego stanu i opracowanej następnie prognozy przebiegu zużywania się podczas wcześniejszych przeglądów czy napraw. Oznacza to potrzebę posiadania bieżąco aktualizowanej skomputeryzowanej bazy informatycznej. Ze względów bezpieczeństwa proponuje się pozostawić stały, obligatoryjny zakres prac dla zespołów wagonu mających wpływ na bezpieczeństwo ruchu i pasażerów tj. dla układu hamulcowego, sprzęgów międzywagonowych, układu sterowania drzwiami i napędem trakcyjnym.

Naprawy rewizyjne R1, R2, R3

Obecnie występują trzy rodzaje napraw rewizyjnych – R1, R2 i R3. Różnią się one między sobą w sposób następujący:

Naprawy R1 i R2 odnoszą się do pociągu jako całości, natomiast naprawa R3 – do pojedynczych wagonów.

Naprawy są wykonywane według zasad cyklu naprawczego, a różnice między nimi sprowadzają się do częstości ich wykonywania oraz zakresów prac demontażowych i naprawczych, z góry ustalonych, sztywnych i obligatoryjnych. Aby wykorzystać choć częściowo zjawisko niezależnego życia, proponuje się odstąpić od podziału rodzajowego napraw rewizyjnych oraz od obecnych cykli naprawczych odnoszących się do pojazdu (pociągu, wagonu) jako całości i wprowadzić indywidualne cykle w przypadku następujących głównych zespołów: wózków kompletnych, sprzężarek wraz z silnikami, półautomatycznych sprzęgów wagonowych, przetwornic pomocniczych, nadwozia wraz z pozostałymi podzespołami. Aby ograniczyć postój całego pojazdu w naprawie, który mógłby zwiększać się w wyniku zwiększenia częstości wyłączeń pojazdu z ruchu, stosować należy zespoły rotacyjne (z wyjątkiem nadwozia). Postój w naprawie pojazdu obejmowałby w takiej sytuacji czas potrzebny na wymontowanie zespołu podlegającego naprawie rewizyjnej, zamontowanie w jego miejsce zespołu rotacyjnego oraz na wykonanie na pozostałych zespołach przeglądu o zakresie jak PO. Naprawa rewizyjna wymontowanego zespołu odbywałaby się niezależnie od pojazdu i w zakresie wynikającym ze stanu technicznego zespołu; po wykonaniu naprawy zespół naprawiony stawałby się rotacyjnym. Jest oczywiste, że każdy z zespołów musiałby mieć swoje własne identyfikujące go oznaczenie i swoją odrębnie rejestrowaną w bazie danych „biografię” oraz koszty.

Kierowanie zespołów do naprawy następowałoby po określonym przebiegu kilometrów, ale możliwe byłoby przesunięcie terminu naprawy (opóźnienie lub przyspieszenie) jeżeli uzasadniałby to ich stan techniczny stwierdzany (prognozowany) podczas przeglądów PO, podczas napraw awaryjnych bądź też w oparciu o analizę informacji zarejestrowanych w bazie danych. Podobnie elastycznie proponuje się traktować ustalone wcześniej przeciętne zakresy prac naprawczych, z wyjątkiem elementów decydujących o bezpieczeństwie ruchu i pasażerów, o których wspomniano poprzednio. Wielkości przebiegów do napraw rewizyjnych zespołów powinny być optymalizowane w oparciu o badania niezawodnościowe i analizę kosztów.

Naprawy główne G1, G2

Według założeń przepisów [11] naprawa główna ma za celu przywrócenie pojazdowi właściwości pojazdu nowego, bądź zbliżonych do niego. Z technicznego punktu widzenia jest to założenie nierealne, a z ekonomicznego – nieuzasadnione. W użytkowanych obiektach (elementach) zachodzą bowiem, bardzo często zmiany, których nie usuną procesy regeneracyjne. Przykładem może być zmiana składu chemicznego materiału, pęknięcia zmęczeniowe, zmiany zachodzące pod wpływem temperatury, promieniowania ultrafioletowego, utleniania itp. Jest wiele zmian, które można zlikwidować jedynie wymieniając element czy zespół na zupełnie nowy. Ze względów ekonomicznych dokonywanie wymiany elementów które jeszcze mogłyby pracować tylko dlatego, że nadszedł termin naprawy głównej, jest nieuzasadnione. Nie można bowiem z góry dekretować terminu wykonania naprawy o tak bogatym zakresie i to elementów, które często są jeszcze w dobrym stanie technicznym, a tylko nie spełniają definicji stanu technicznego po naprawie głównej.

Z tego powodu proponuje się zlikwidować naprawy główne w ogóle. Ponieważ nadwozie wagonu wraz z wyposażeniem jest bardzo narażone na zużycia, uszkodzenia i dewastacje (zwłaszcza w kontaktach z pasażerami) proponuje się w momencie wynikającym ze stanu technicznego nadwozia przeprowadzić naprawę „rewizyjną rozszerzoną”. W naprawie tej, w odniesieniu do wszystkich zespołów poza nadwoziem obowiązywałyby zasady jak przy naprawach rewizyjnych, natomiast naprawa nadwozia obejmowałaby prace, które zwykle się przypisywać naprawom głównym, oczywiście z uwzględnieniem faktycznego stopnia i zakresu zużycia nadwozia. W ten sposób wymieniając fragmenty skorodowanego poszycia, wykładziny podłóg i ścian, siedzenia, przewody elektryczne, przeprowadzając renowację powłok malarskich itp. można przywrócić stan zdatności głównemu, z punktu widzenia pasażerów, elementowi pojazdu w terminie i zakresie wynikającym z jego stanu technicznego. Wszystkie inne zespoły składowe naprawiane byłyby jak podczas naprawy rewizyjnej i w zakresie wynikającym z ich stanu technicznego.

9.2. Propozycje zmian systemu obsługi wagonów typu Metropolis

Propozycje zmian w tym typie pojazdów idą dalej niż w przypadku serii 81, ponieważ wagony Metropolis częściowo dysponują systemem diagnostycznym oraz konstrukcją modułową.

Przeglądy kontrolne PK

Według obecnie obowiązujących przepisów wykonywane są co dwa tygodnie, charakteryzują się dość dużym zakresem prac i trwają jeden dzień. Nie są zatem jak w serii 81 wykonywane w przerwach między kursowaniem pociągów. Zakres prac przeglądów kontrolnych obejmuje głównie oględziny zespołów, podzespołów i części, sprawdzenie mocowań i działania, prace regulacyjne i smarowanie. Po przeglądzie pojazdy są myte wewnątrz i z zewnątrz oraz jest przeprowadzana jazda próbna. Zakres prac jest obligatoryjny. Proponuje się pozostawić terminy wykonywania PK jak dotychczas, natomiast zakres prac określać elastycznie, na podstawie wyników diagnozowania, informacji zgromadzonych wcześniej w bazie danych oraz prognoz opracowywanych na tej podstawie. Dla elementów pojazdu mających wpływ na bezpieczeństwo ruchu i pasażerów, a nie mających możliwości diagnozowania, proponuje się pozostawić obligatoryjny zakres prac przeglądowych.

Przeglądy okresowe PO i PD

Zakres przeglądu PO obejmuje głównie oględziny i sprawdzenie stanu elementów pojazdu, sprawdzenie mocowań, pomiary, sprawdzenie ilości mediów smarnych i w razie potrzeby ich uzupełnienie, regulacje, sprawdzenie działania urządzeń, oczyszczenie elementów. Przed przystąpieniem do przeglądu sprawdza się zapisy w systemie TIMS, czy nie zostały zarejestrowane nieprawidłowości działania lub awarie. W razie ich występowania – usuwa się je. Różnica między PO a PK polega na tym, że przeglądowi PO poddaje się więcej elementów i zakres przeglądu jest znacznie większy. Zakres przeglądu PD jest nieco większy niż PO i głównie dotyczy to urządzeń elektrycznych i mechanicznych. Proponuje się zlikwidować podział przeglądów na PO i PD i wprowadzić tylko jeden przegląd PO lecz o zmiennym, zależnym od stanu technicznego wagonów, zakresie. Zakres prac ustalać na podstawie diagnozowania oraz informacji zgromadzonych w bazie danych między innymi pochodzących z poprzednich przeglądów PK i PO, w tym prognoz. Obligatoryjny zakres robót pozostawić w przypadku zespołów decydujących o bezpieczeństwie ruchu i pasażerów. Wyniki oględzin i pomiarów uzyskane podczas przeprowadzonego przeglądu należy rejestrować w bazie danych co pomoże w ustaleniu zakresów kolejnych przeglądów PK i PO.

Naprawy rewizyjne i główne – R1, R2, R3, G

Naprawy tego rodzaju na pojazdach typu Metropolis jeszcze nie były prowadzone, ze względu na ich krótki okres eksploatacji, podobnie jak i przeglądy typu PD. Dlatego brak jest praktycznych doświadczeń i spostrzeżeń, które mogłyby być pomocne w przedstawieniu propozycji zmian. Są jednak dwa istotne czynniki, które mogą być pomocne w tym zakresie:

- pierwszy to doświadczenia z napraw rewizyjnych i pierwszej próbnej naprawy głównej pojazdów serii 81, które dla taboru o zbliżonych cechach i warunkach pracy mogą być dość miarodajne,
- drugi to fakt, że niektóre zespoły składowe pojazdów typu Metropolis mogą być diagnozowane.

Z tych powodów proponuje się zrezygnować z podziału napraw na R1, R2, R3 i G i zastąpić je następującym postępowaniem naprawczym:

Zespoły takie jak przetwornice pomocnicze, systemy drzwiowe, układy hamulcowe, sprzężarki wraz z silnikami, elementy sterowania napędem, przekształtniki trakcyjne naprawiać według zasad SSO (sekwencyjnej strategii obsługiwanania) opisanej w rozdziale 4.2.6 oraz w [8] i [9]. Wymienione zespoły mają możliwości diagnozowania i dlatego system SSO będzie można spróbować wprowadzić. Ponieważ brak jest możliwości diagnozowania pozostałych zespołów t.j. nadwozia, wózków, zestawów kołowych, silników trakcyjnych i przekładni, sprzęgieł, sprzęgów półautomatycznych i międzywagonowych - proponuje się naprawiać je według cyklu naprawczego jak w systemie PZR, z jednoczesnym założeniem, że zakresy wykonywanych napraw (za wyjątkiem elementów decydujących o bezpieczeństwie ruchu i pasażerów) będą zależne od stanu technicznego elementów i wyników prognozowania na podstawie informacji z bazy danych. Wykonywanie napraw według cyklu powinno przebiegać elastycznie; proponuje się dopuścić przesuwanie w niewielkim stopniu terminów napraw celem łączenia ich z terminami napraw elementów podlegających systemowi SSO. Naprawy powinny być wykonywane z użyciem zespołów rotacyjnych celem skrócenia czasu wyłączenia pojazdu z użytkowania. Do naprawy można byłoby kierować pociąg jako całość lub jego pojedyncze wagony oddzielnie, zastępując wyłączony do naprawy wagon, wagonem dobrym, rezerwowym. Naprawy główne proponuje się zlikwidować całkowicie i zastąpić naprawą rewizyjną rozszerzoną, tak jak w przypadku pojazdów serii 81 i z tych samych powodów.

Dla wszystkich zaproponowanych zmian dotyczących obsługiwanania pojazdów serii 81 i Metropolis będzie niezbędne przeprowadzenie optymalizacji wielkości okresów

międzyprzeładowych i międzynaprawczych oraz zakresów przeglądów i napraw, opartej o minimalizację jednostkowych kosztów sumarycznych. Sposób postępowania został przedstawiony w pracy [9].

10. PRZEWIDYWANE KORZYŚCI Z WPROWADZENIA ZMIAN W SYSTEMIE OBSŁUGIWANIA

Korzyści z zaproponowanych zmian należy rozpatrywać nie w odniesieniu do stanu dzisiejszego w metrze lecz w dłuższym horyzoncie czasowym. Wiadomo, że metro będzie się rozwijać jako niezwykle wygodny środek komunikacji miejskiej, będzie zwiększała się liczba użytkowanego taboru i koszty jego obsługi. Z drugiej strony wprowadzenie nowego systemu i metod obsługi wymagać będzie nakładów finansowych. Obecnie warunki obsługi pojazdów w metrze są dopiero kształtowane i tworzone. Jest to dobry moment do wprowadzania nowych rozwiązań, odmiennych od tradycyjnych, które w przyszłości obowiązywałyby przez dłuższy czas.

Przewiduje się, że wprowadzenie zaproponowanych w artykule rozwiązań umożliwiających uzyskanie następujące ważniejsze korzyści:

- zmniejszenie czasów wyłączeń pojazdów w celu dokonania przeglądów i napraw;
- ograniczenie zakresów prac przeglądowych i naprawczych oraz czasów trwania tych zabiegów, a przez to wielkości zatrudnienia i kosztów obsługi;
- poprawienie współczynnika gotowości pociągów;
- poprawienie wykorzystania rewersów składników pojazdów;
- być może uda się też doprowadzić do zmniejszenia awaryjności pociągów dzięki lepszemu wykorzystaniu diagnostyki oraz wprowadzeniu, z wykorzystaniem bazy danych, prognozowania zmian stanu technicznego elementów pojazdów w czasie, a także dzięki odformalizowaniu zakresu przeglądów i napraw;
- zebrane doświadczenia umożliwią wprowadzenie w budowanym na potrzeby metra taborze rozwiązań, które jeszcze bardziej usprawnią obsługę i zmniejszą jego koszty.

BIBLIOGRAFIA

1. Cawdery P.R.: Computer Aided Maintenance Management – Without paper Work. Materiały Kongresu Eksploatacyjnego Euromaintenance 88. Helsinki 1988
2. Karpiński J., Firkowicz S.: Zasady profilaktyki obiektów technicznych. PWN, Warszawa 1981
3. Laakso K.: Methods of Systematics Analysis of Plant Disturbances. Materiały Kongresu Eksploatacyjnego Euromaintenance 88. Helsinki 1988
4. Moczarski M.: Podstawy organizacji i techniki obsługi pojazdów szynowych. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1986.
5. Moczarski M.: Nowe tendencje w obsłudze obiektów technicznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, zeszyt nr 41, Poznań 1994
6. Moczarski M., Koczyrkiewicz A.: Nowe systemy obsługi wagonów pasażerskich. Problemy Kolejnictwa, zeszyt 123, Warszawa 1996
7. Ogólna teoria systemów. Tendencje rozwojowe. Red. G. J. Klier. WNT, Warszawa 1976
8. Polska Norma PN-82/N-04001
9. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych eksploatacji pojazdów szynowych. Rozporządzenie nr 415 z dnia 10.04.2000r
10. Skrzecz S.: praca dyplomowa „Analiza możliwości i celowości zastosowania sekwencyjnej strategii obsługi wagonów metra”. Promotor Moczarski M. Politechnika Warszawska, Warszawa 2004
11. Suzuki T.: Recent Trends in TPM. Materiały Kongresu Eksploatacyjnego Euromaintenance 88. Helsinki 1988