

Mateusz MARZEC, Tadeusz UHL
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

WYKORZYSTANIE METOD EKSPLOACJI DANYCH PRZY USTALANIU STRATEGII EKSPLOATACJI TABORU AUTOBUSOWEGO.

Słowa kluczowe

Eksploatacja obiektów technicznych, niezawodność, gotowość, data mining, środki transportu.

Streszczenie

Przestój autobusu lub innego urządzenia technicznego sprawia, że praca zaplanowana do wykonania w określonym czasie może nie zostać zrealizowana. Pociąga to za sobą znaczne konsekwencje finansowe odzwierciedlające wartość niewykonanej pracy bądź jej efektów. W związku z tym, bardzo ważne jest, aby wykonywać odpowiednie badania mające na celu zwiększenie dostępności taboru autobusowego. Na potrzeby niniejszego opracowania przebadano dużą populację autobusów miejskich i zaproponowano odpowiednie procedury serwisowe, które pozwolą zmniejszyć ilość nieplanowanych przestoi oraz umożliwią efektywniejsze wykorzystanie taboru autobusowego. Do ustalenia procedur serwisowych wykorzystano analizę statystyczną i narzędzia eksploracji danych.

Wprowadzenie

Obecnie od eksploatowanych przez przewoźników środków transportu wymagana jest bardzo duża gotowość techniczna. Spowodowane jest to przede wszystkim wymaganiami ekonomicznymi. W szczególności wysokie wymagania stawiane są flotą autobusów miejskich, których przestoje generują poważne straty finansowe. Jak wynika z badań przeprowadzonych przez autorów straty te sięgają w przypadku autobusów klasy *MAXI* średnio 2500 zł/dobę a w przypadku autobusów klasy *MEGA* 3000 zł/dobę [1]. Należy pamiętać również o kosztach napraw oraz innych działań serwisowych. W celu zapewnienia realizacji zaplanowanych zadań przewozowych każdy przewoźnik utrzymuje rezerwowe środki transportu aby wykorzystać je w przypadku awarii i koniecznego przestoju. Mając na uwadze alternatywne metody, można stwierdzić, że w wielu przypadkach polityka utrzymania zwiększonej rezerwy jest przeceniana i nieuzasadniona ekonomicznie.

Niniejsze opracowanie przedstawia sposób wykorzystania narzędzi eksploracji danych do ustalania odpowiedniej strategii eksploatacji taboru autobusowego. Właściwie dobrana strategia serwisowa gwarantuje zwiększenie gotowości zadaniowej autobusu i minimalizację kosztów związanych z prowadzeniem serwisu. W celu realizacji niniejszego opracowania zbadano dużą populację autobusów dużego przedsiębiorstwa komunikacyjnego, którego tabor autobusowy liczy ponad 500 pojazdów. Wykorzystane w analizie reguły asocjacyjne pozwoliły wskazać na najczęściej występujące uszkodzenia i zależności jakie w nich występują. Na podstawie tej wiedzy można nie tylko oszacować całkowite koszty awarii, co jest niezbędne przy ustalaniu właściwej strategii eksploatacji, ale również wskazać błędy konstrukcyjne oraz procedury kontrolne mające na celu szybkie lokalizowanie uszkodzeń, co skraca czas badań i powoduje zwiększenie gotowości zadaniowej autobusu. Przydatna w tym zakresie jest również analiza statystyczna, która pozwala wskazać najczęściej występujące uszkodzenia by na tej podstawie optymalizować zawartość magazynów, eliminując przestoje związane z brakiem części.

1. Sformułowanie problemu

Sformułowanie problemu wymaga zdefiniowania pojęcia gotowości taboru i jej znaczenia z punktu widzenia kosztów eksploatacji. Norma [3] zawiera następująca definicje dostępności:

gotowość - możliwość uzyskania usługi w określonym zakresie zgodnie z życzeniem użytkownika.

Gotowość (*ang. availability*) autobusu można wyrazić również za pomocą wzoru:

$$availability = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \quad (1)$$

gdzie:

$MTTF$ - średni czas do wystąpienia uszkodzenia.

$MTTR$ - średni czas na naprawę.

Na podstawie wzoru (1) łatwo zauważyć, że bezpośredni wpływ na gotowość autobusu ma parametr $MTTF$ i $MTTR$, czyli średni czas do wystąpienia uszkodzenia i czas na jego naprawę. Dłuższy czas do wystąpienia uszkodzenia lub krótszy czas naprawy powoduje zwiększenie dostępności obiektu technicznego i odwrotnie. Na podstawie tych zależności można wskazać kierunek działań jakie należy podjąć w celu ustalania optymalnej strategii eksploatacji. Jest to bardzo istotne mając na uwadze straty finansowe wynikające z przestoju autobusu. Straty te można obliczyć na podstawie wartości niewykonanej pracy, czyli możliwego do uzyskania przychodu z tytułu wynajęcia autobusu w wypadku jego dostępności. Znając koszt wozokilometra, wartość średniego przebiegu dziennego i wskaźnik dostępności można obliczyć dzienne straty związane z przestojem, które wynoszą odpowiednio:

- $L_{MIDI} = 1980$ zł/dzień,
- $L_{MAXI} = 2520$ zł/dzień,
- $L_{MEGA} = 2880$ zł/dzień.

Bazując na powyższych danych, można skonstatować jak duże znaczenie dla przedsiębiorstwa przewozowego ma utrzymanie taboru w wysokiej dostępności.

Wykorzystanie parametru $MTBF$ (*ang. Mean Time Between Failures*) do porównania awaryjności różnych autobusów, może być nieprecyzyjne ze względu na brak możliwości uwzględnienia różnych przebiegów dziennych oraz przestojów. Z tego punktu widzenia lepszym parametrem określającym awaryjność jest parametr $MDBF$ (*ang. Mean Distance Between Failures*), czyli średni przebieg między uszkodzeniami

W następnym paragrafie pracy przedstawiono szczegóły badanej bazy danych z eksploatacji taboru autobusowego krakowskiego przewoźnika.

2. Baza danych analizowanej floty autobusów miejskich

Aby zbudować bazę danych, umożliwiającą przeprowadzenie analizy stanu technicznego autobusów, podjęto współpracę z dużym przedsiębiorstwem komunikacyjnym. Do taboru tamtejszego przewoźnika zalicza się 15 modeli autobusów, rozmieszczonych pomiędzy trzema zajezdniami. Znaczna część autobusów przekroczyła planowany okres eksploatacji i nie spełniała standardów techniczno-ekonomicznych związanych z bezpieczeństwem i kosztami eksploatacyjnymi. W związku z powyższym należało dokonać selekcji wielokryterialnej, obejmującej takie zmienne jak:

- rok produkcji,
- przebieg autobusu,
- rodzaj zasilania jednostki napędowej,
- emisja zanieczyszczeń,
- ogólny stan techniczny.

Wyselekcjonowano łącznie 140 autobusów przynależnych do 4 różnych marek. Autobusy oznaczone symbolami literowymi *A*, *B* i *D* wyprodukowane zostały w latach 2008–2011 a autobusy oznaczone symbolem *C* w latach 2003–2004. Symbol literowy określający markę autobusu z przyporządkowanym indeksem 1 oznacza autobus klasy *MAXI* a z indeksem 2 - klasy *MEGA*. Autobus oznaczony symbolem *D* jest autobusem klasy *MIDI*. Ze względu na charakter publikowanych danych użytkownik nie wyraził zgody na publikowanie nazw marek autobusów.

Na podstawie systemu rejestracji części wydawanych z magazynu na poszczególne naprawy, odtworzono bazę danych dla wyselekcjonowanych wcześniej autobusów. System ten, zawierał dokładne dane na temat daty wydania części, jej kosztu oraz przeznaczenia. Informacje zawarte w bazie danych stanowiły wymagane minimum do przeprowadzenia analizy optymalizacyjnej.

Zasadniczym problemem, wynikającym z wykorzystania danych wygenerowanych przez system rejestracji części, był brak informacji na temat charakteru występujących uszkodzeń (w postaci przebiegu pomiędzy poszczególnymi awariami). W przypadku autobusów eksploatowanych przez wspomnianą wcześniej firmę przewozową, stan licznika autobusu zapisywany jest każdorazowo po powrocie do zajezdni, w systemie rejestracji przebiegów. Dokonując korelacji danych zawartych w obu systemach, udało się wyznaczyć przebieg pomiędzy uszkodzeniami poszczególnych części.

Na podstawie pozycji [2] części w bazie danych przyporządkowano do ich układów nadrzędnych, co pozwoliło przeprowadzić analizę na wyższym

szczeblu strukturalnym. W tab.1 zostały przedstawione układy, do których przyporządkowano poszczególne części.

Tabela 1. Uwzględnione w analizie układy nadrzędne poszczególnych części

Lp. Komponenty skład.	
1. układ drzwi	10. układ napędowy
2. układ oświetlenia	11. układ ogrzewania/wentylacji
3. układ skrzyni biegów	12. układ pneumatyczny
4. układ chłodzenia	13. układ rozruchowy
5. układ dolotowy	14. układ smarowania
6. układ elektryczny	15. układ wydechowy
7. układ hamulcowy	16. układ zasilania
8. układ kierowniczy	17. układ wycieraczek
9. układ ładowania	18. układ zawieszenia.

3. Analiza baz danych z eksploatacji autobusów

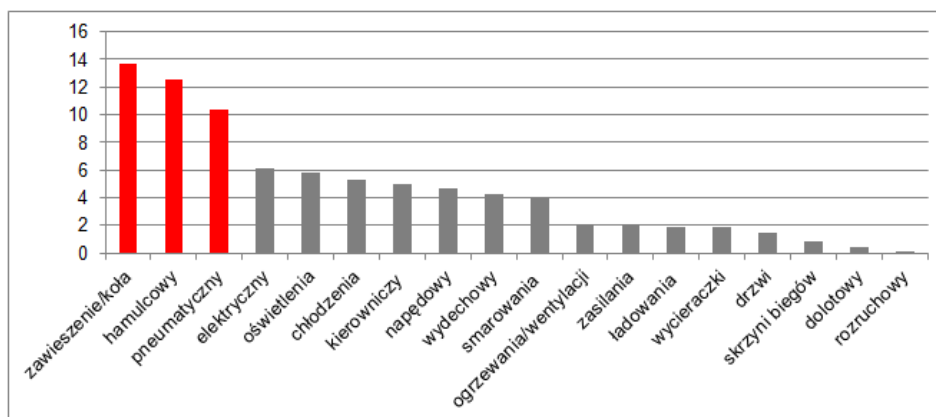
Aby określić właściwy kierunek badań, należało w pierwszej kolejności wskazać najbardziej awaryjną grupę autobusów. Jak wspomniano we wcześniejszym paragrafie pracy, autobusy w trakcie swojej eksploatacji posiadały różne wartości przebiegu dziennego. Uzyskanie obiektywnej oceny awaryjności poszczególnych grup autobusów, wymagało podzielenia ilości awarii, do jakich doszło w danej grupie, przez zsumowany przebieg całej grupy. Poniższa tabela przedstawia wartości jednostkowego wskaźnika intensywności uszkodzeń dla jednego autobusu z danej grupy. Jak łatwo zauważyć, najbardziej awaryjnym autobusem jest autobus marki C. Jest to oczywiste mając na uwadze jego długi okres eksploatacji.

Tabela 2. Ilość awarii przypadająca na 10^5 km

Nazwa układu	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D
drzwi	4,6	7,2	2,8	0,1	2,2	1,5	2,3
oświetlenia	2,4	8,0	3,9	3,5	7,4	5,8	6,8
skrzyni biegów	0,0	0,2	0,0	0,0	0,8	0,8	0,0
chłodzenia	0,6	1,6	0,5	0,0	4,3	5,3	0,5
dolotowy	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,5	0,1
elektryczny	7,6	14,3	8,3	3,1	8,3	6,1	6,0
hamulcowy	2,8	6,8	3,8	0,0	10,8	13,7	0,7
kierowniczy	0,1	1,6	0,0	0,0	3,8	4,9	0,0

Nazwa układu	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D
ładowania	0,2	0,4	0,4	0,0	1,5	1,8	0,2
napędowy	0,3	1,5	1,1	0,8	3,1	4,7	0,2
ogrzewania/wentylacji	1,4	3,9	1,5	0,0	3,9	4,0	1,7
pneumatyczny	1,3	2,5	2,8	1,3	8,0	10,3	6,2
rozruchowy	0,3	1,1	0,6	0,0	0,0	0,1	0,0
smarowania	0,3	0,9	0,1	0,0	2,4	4,3	0,7
wydechowy	0,3	0,2	0,0	0,0	1,0	2,0	0,3
zasilania	0,3	0,9	0,2	0,0	2,0	2,1	0,2
wycieraczki	1,3	2,3	1,2	0,0	1,5	1,9	0,1
zawieszenie/kola	1,5	5,9	2,8	0,1	10,5	12,6	3,5
SUMA	25	59	30	9	72	82	29

Zgodnie z przedstawioną wcześniej koncepcją, w dalszym etapie badań, należało dla autobusów wykazujących się największą awaryjnością, wyznaczyć ich najbardziej awaryjne układy. Ta prosta analiza pozwoliła wskazać obszary działań, które należy wziąć pod uwagę przy ustalaniu odpowiednich strategii eksploatacyjnych. Innymi słowy, koncentrując wysiłki na wskazanych obszarach, można mieć pewność, że przyniosą one najlepsze rezultaty. Sytuację tę najlepiej przedstawia wykres Pareto dla awarii występujących w autobusie C2. Na wykresie widać wyraźnie, że najwięcej awarii występuje w układzie zawieszenia, hamulcowym i pneumatycznym. Awarie te stanowią 45% wszystkich awarii występujących w tym autobusie.



Rys. 1. Wykres Pareto dla autobusu C2 przedstawiający ilość awarii w 10⁵ km

4. Strategie eksploatacji obiektów technicznych

Znaczący wpływ na działanie złożonych układów, ma sposób serwisowania ich poszczególnych części. Poprzez wybór odpowiednich strategii serwisowych wpływamy na niezawodność, gotowość oraz koszty eksploatacji. Generalnie większość działań serwisowych można zaliczyć do jednej z czterech kategorii:

- działania naprawcze,
- działania profilaktyczne,
- inspekcje, kontrole, testy,
- prowadzenie serwisu wg bieżącego stanu technicznego[5].

Prowadzenie serwisu wg bieżącego stanu technicznego wymaga z reguły zastosowania odpowiednich systemów diagnostycznych, umożliwiających monitorowanie stanu. Cechą technik monitorowania stanu technicznego jest to, że są one bardzo kosztowne i często wymagają ingerencji w strukturę serwisowanego obiektu [8][9]. W przypadku autobusów, wdrażanie tego typu strategii leży bardziej po stronie konstruktora niż eksploatatora autobusu. W ramach serwisu autobusów, wspomniane wcześniej przedsięwzięcie przewozowe, skupia się na trzech pierwszych wymienionych działaniach. Dokładny opis stosowanych powszechnie strategii serwisowych został przedstawiony w pozycjach [6][7].

4.1 Strategia korekcyjna

Na serwis naprawczy składają się wszystkie działania podejmowane w celu przywrócenia uszkodzonego urządzenia do stanu zdatności funkcjonalnej i zadaniowej [10]. Działania te podejmowane są w następujących etapach [27]:

- wykrycie uszkodzenia,
- lokalizowanie uszkodzenia,
- usunięcie uszkodzenia (wymiana, regeneracja, regulacja),
- test funkcjonalny sprawdzający skuteczność naprawy.

W przypadku autobusów czas naprawy związany jest głównie z dojazdem lub holowaniem autobusu do warsztatu, lokalizowaniem uszkodzenia oraz ze zwłoką logistyczną wynikającą z braku personelu, wolnych stanowisk naprawczych lub części zamiennych. Celem ten polityki jest więc osiągnięcie krótkiego oczekiwanego czasu do odnowy (*MTTR*) urządzenia [28]. Można to osiągnąć m.in. poprzez optymalizację zawartości magazynów części

zamiennych, co pozwoli wyeliminować znaczną część przestojów związanych z brakiem części, oraz poprzez szybkie lokalizowanie uszkodzeń.

Funkcja kosztów dla tego modelu opisana jest wzorem:

$$K = \frac{K_p \times (1 - R(T))}{\int_0^T R(t) dt} \quad (2)$$

gdzie:

$R(t)$ – funkcja niezawodności urządzenia,

T – czas,

K – koszt całkowity przypadający na jednostkę czasu,

K_p – całkowity koszt naprawy korekcyjnej.

4.2 Strategia prewencyjna

W przeciwieństwie do strategii naprawczej polityka prewencyjna zakłada naprawę lub wymianę danej części zanim dojdzie do jej uszkodzenia. Harmonogram wymian lub napraw części ustala się na podstawie historii eksploatacji przy dokładnej analizie kosztów. Aby polityka prewencyjna przyniosła oczekiwane rezultaty muszą być spełnione dwa warunki [13][14]:

- intensywność uszkodzeń musi wzrastać wraz z upływem czasu (wyznaczony empirycznie parametr kształtu rozkładu Weibulla musi spełniać warunek $\beta > 1$),
- całkowity koszt prowadzenia serwisu prewencyjnego musi być mniejszy od kosztów prowadzenia serwisu korekcyjnego.

Funkcja kosztów dla tego modelu opisana jest wzorem [15]:

$$K = \frac{K_k \times (1 - R(T)) + K_p \times R(T)}{\int_0^T R(t) dt} \quad (3)$$

gdzie:

$R(t)$ – funkcja niezawodności urządzenia,

T – czas,

K – koszt całkowity przypadający na jednostkę czasu,

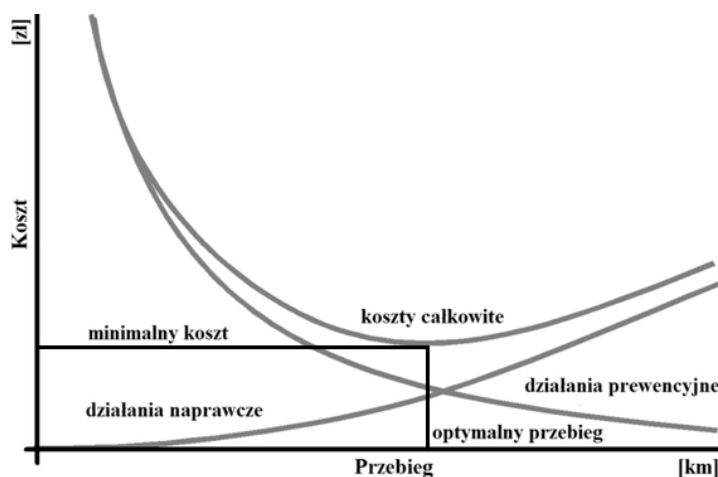
K_p – całkowity koszt naprawy prewencyjnej,

K_k – całkowity koszt naprawy korekcyjnej.

W przypadku zastosowania polityki prewencyjnej, należy wykonać odpowiednie zadania optymalizacyjne. Zadanie optymalizacyjne można matematycznie sformułować w sposób następujący [17][18][19]. Jest dana metryczna przestrzeń poszukiwań $\Omega = (U, |\cdot|)$, gdzie U jest zbiorem wartości a $|\cdot|$ metryką, oraz podzbiór $D \subseteq U$. Dana jest także funkcja celu $f(x): U \rightarrow R$. Zadanie optymalizacji polega na znalezieniu takiego $x^* \in D$, że:

$$x^* = \arg \min_{x \in D} f(x) \quad (4)$$

W przypadku autobusu, działania optymalizacyjne sprowadzają się do wyznaczenia resursu między-naprawczego poszczególnych części (podając przebieg w km) w taki sposób, aby koszt prowadzenia wymian prewencyjnych był jak najmniejszy. Funkcją celu jest w tym przypadku funkcja kosztów całkowitych, która jest sumą kosztów działań prewencyjnych oraz korekcyjnych. Zgodnie z (4) oraz z rys.2 optymalny resurs między-naprawczy zostaje wyznaczony dla minimum funkcji celu.



Rys. 2. Optymalizacja działań prewencyjnych

Jak łatwo zauważyć, wybór strategii prewencyjnej oraz działania w jej zakresie podejmowane są na podstawie dokładnej analizy kosztów. W ramach konstrukcji funkcji celu należy uwzględnić takie koszty jak:

- koszty części,

- koszty pracy (obliczone na podstawie czasu naprawy, kosztu roboczogodziny oraz ilości osób przy naprawie),
- koszty przestoju,
- koszty dodatkowych zniszczeń będących wynikiem awarii.

Zasadniczym problemem jest w tym przypadku określenie kosztów dodatkowych zniszczeń powstałych w wyniku awarii.

W przypadku systemu wieloelementowego jakim jest autobus, możemy dodatkowo zastosować politykę obsługiwaną okazjonalnego. Uszkodzenie jednego z ciągle kontrolowanych elementów jest okazją do przeprowadzenia wymiany (przeгляdu) elementu niepodlegającego kontroli. Przerwa systemu jest traktowana jako okazja do wykonania profilaktycznej obsługi na pozostałych komponentach. Obsługi te są korzystne, gdy koszt obsługi łącznej jest mniejszy od sumy kosztów oddzielnych obsług [28]. W przypadku zastosowania tej strategii niezbędne są informacje na temat zestawów części, które jednocześnie mogą być kontrolowane lub naprawiane.

4.3 Okresowe kontrole i testy

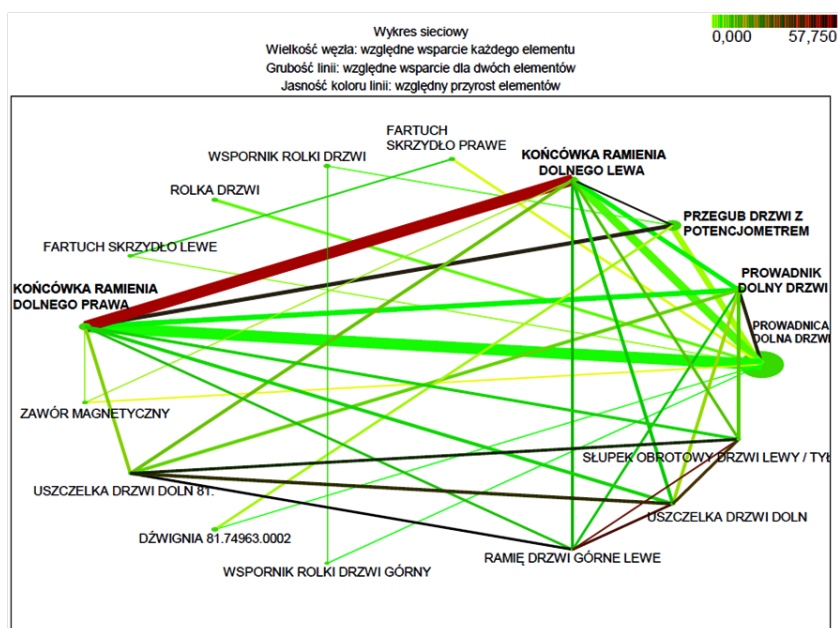
Okresowe kontrole i testy wykorzystywane są do wykrycia uszkodzeń ukrytych (nie widocznych w trakcie normalnej eksploatacji). W przypadku rozpatrywanej firmy przewozowej, działania tego typu realizowane są w ramach przeglądów okresowych na Stacji Kontroli Pojazdów. Przeglądy te, są z reguły czasochłonne i wymagają zaangażowanie znacznej części personelu. Skutecznym rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie nowoczesnego stanowiska diagnostycznego, działającego w sposób zautomatyzowany, co umożliwia przeprowadzenie pełnego procesu badań każdorazowo przed wyjazdem autobusu z zajezdni. Wykorzystanie zautomatyzowanych procedur testowych pozwala skrócić czas badań oraz wyeliminować błąd ludzi podczas przeprowadzanej kontroli. Omawiane stanowisko diagnostyczne zostało skonstruowane przez naukowców z Akademii Górniczo-Hutniczej w ramach projektu „End of Line”. Stanowisko testowe typu „End of Line” i jego wykorzystanie w diagnostyce autobusów zostało szeroko omówione w pozycji [16].

5. Wykorzystanie metod eksploracji danych przy ustalaniu strategii eksploatacji taboru autobusowego

Zbudowana przez autorów baza danych składa się z kilkudziesięciu tysięcy rejestrów, wśród których można wyszukać odpowiednie reguły wskazujące na sposób powstawania uszkodzeń. Wiedza ta może być ukryta w bazie danych pod postacią odpowiednich regularności a w celu ich wyszukania należy skorzystać z dedykowanych algorytmów przeszukiwania zbiorów. Proces ten nazywa się eksploracją danych (*ang. Data Mining*) [20][21][22]. Obecnie dostępnych jest wiele metod eksploracji danych. Mając na uwadze problemy powstające przy ustalaniu strategii eksploatacji, najlepsze rezultaty można osiągnąć wykorzystując reguły asocjacyjne.

Badania nad regułami asocjacyjnymi motywowane były zagadnieniami analizy koszykowej (*ang. Market Basket Analysis*) wykorzystywanej m. in. w hipermarketach do wskazania grup produktów kupowanych jednocześnie - znajdujących się w jednym "koszyku" [23][24][25]. Tego typu informacje mogą zostać wykorzystane do odpowiedniego rozmieszczenia towarów na półkach, które spowoduje zwiększenie sprzedaży. W przypadku awarii autobusu miejskiego reguły asocjacyjne dają informacje na temat awarii występujących jednocześnie lub następujących po sobie w określonej kolejności i czasie [26]. Ważność reguł asocjacyjnych opisuje się za pomocą takich zmiennych jak wsparcie, zaufanie i przyrost. **Wsparcie** zestawu to frakcja rekordów zawierających ten zestaw. Jest to miara częstości występowania awarii jedno lub k-elementowej. **Zaufanie** jest to prawdopodobieństwo warunkowe, że zestawy zawierające podzespół A będą również zawierać C. Reguła ta pozwala ustalić, jakie jest prawdopodobieństwo awarii A jeśli doszło do awarii B. **Przyrost** jest definiowany na podstawie zaufania i wsparcia. Jeśli występuje zestaw "jeśli A to C" ze 100% zaufaniem i jednocześnie wsparcie awarii C jest niskie, to taki zestaw będzie miał wysoki przyrost. Wysoki przyrost zestawu "jeśli A to C" będzie świadczyć o tym, że awaria elementu C jest spowodowana w głównej mierze awarią elementu A.

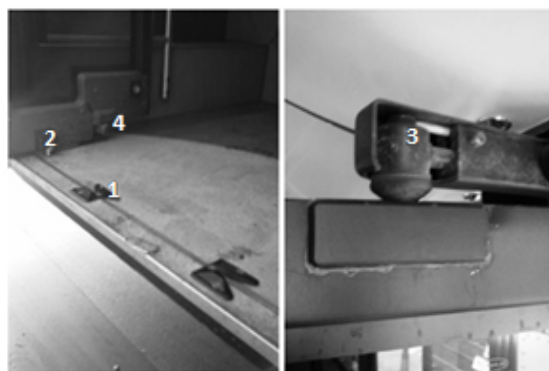
Aby wyszukać w bazie danych reguły asocjacyjne posłużono się modułem programu *STATISTICA Data Miner - Analiza Sekwencji Asocjacji i Połączeń*. Omawiane narzędzie wykorzystuje algorytm FP-growth (technika budowania drzew) [25]. Wyniki analizy asocjacyjnej można przedstawić na wykresach sieciowych, które znacznie ułatwiają interpretację wyników. Przykładowy wykres sieciowy dla awarii w układzie drzwi autobusu A2 został przedstawiony na rys. 3. Wartości wsparcia, zaufania i przyrostu przedstawione są na wykresie w postaci wielkości węzła, grubości linii oraz jej koloru zgodnie z legendą znajdującą się nad wykresem.



Rys. 3. Wykres sieciowy dla podzespołów układu drzwi

Analizując wykres sieciowy można wyróżnić następujące relacje:

1. końcówka ramienia dolnego (Rys. 4-(4)) ↔ przegub drzwi z potencjometrem (Rys. 4-(3)),
2. prowadnica dolna drzwi (Rys. 4-(1)) ↔ prowadnik dolny (Rys. 4-(2)),
3. końcówka ramienia dolnego lewa ↔ końcówka ramienia dolnego prawa,
4. uszczelka dolna ↔ słupek obrotowy,
5. uszczelka dolna ↔ ramię drzwi górne,
6. słupek obrotowy ↔ ramię drzwi górne.



Rys. 4. Podzespoły układu drzwi: (1)-prowadnica dolna; (2)-prowadnik dolny;
(3)-przegub drzwi z potencjometrem; (4)-końcówka ramienia dolnego

Przykładowo, sekwencja 1 wskazuje na silną relację między uszkodzeniami końcówki ramienia dolnego i przegubu drzwi z potencjometrem. W rzeczywistości trudne warunki eksploatacji oraz zła jakość montażu końcówki ramienia dolnego prowadzą do powstania znacznych oporów podczas pracy drzwi. Przekłada się to bezpośrednio na awarie przegubu drzwi z potencjometrem, którego wymiany stanowią największą część kosztów napraw w rozpatrywanym autobusie. W związku z powyższym, dla końcówki ramienia dolnego zaleca się prowadzenie polityki prewencyjnej zgodnie z resursem między-naprawczym wyznaczonym metodami optymalizacyjnymi.

Wyniki uzyskane za pośrednictwem metod eksploracji danych mogą być przydatne przy ustalaniu odpowiednich strategii eksploatacji. Wykorzystane na potrzeby opracowania reguły asocjacyjne wskazują na następstwa powstałych awarii. Następstwa te, mogą być przyczyną kosztownych napraw ale również mogą powodować zmniejszenie gotowości zadaniowej autobusu. Informacje o następstwach awarii są niezbędne do prawidłowego oszacowania funkcji kosztów napraw. Jest to niezwykle ważne ponieważ niewłaściwie oszacowana funkcja kosztów może być przyczyną doboru nieodpowiedniej strategii eksploatacji. Reguły asocjacyjne mogą być również przydatne przy ustalaniu strategii obsługi okazjonalnego. Jeśli wsparcie danej reguły asocjacyjnej jest wysokie, to można wnioskować o wymianach okazjonalnych. Ponadto narzędzia klasy *data mining* mogą wskazywać błędy konstrukcyjne oraz procedury kontrolne mające na celu szybkie lokalizowanie uszkodzeń, co skraca czas badań i powoduje zwiększenie gotowości zadaniowej autobusu. Przydatna w tym zakresie jest również analiza statystyczna, która pozwala wskazać najczęstsze uszkodzenia by na tej podstawie optymalizować zawartość magazynów eliminując przestoje związane z brakiem części.

Wnioski

Kształtowanie polityki serwisowej istotnie wpływa na wskaźniki eksploatacyjne obiektów takie jak niezawodność czy gotowość zadaniowa, dlatego określając w optymalny sposób strategię prowadzenia serwisu mamy możliwość w bezpośredni sposób oddziaływać na efektywność techniczno-ekonomiczną całego procesu eksploatacji [5]. Przedstawione w pracy badania pozwoliły ustalić odpowiednie strategie serwisowe dla floty autobusów komunikacji miejskiej. W ramach kształtowania tych strategii, koniecznym stało się przeprowadzenie dokładnej analizy czynników ekonomicznych, gdyż w dużym stopniu decydują one o słuszności zastosowanych technik. Aby dokonać tej analizy wykorzystano narzędzia eksploracji danych, które pozwoliły wskazać reguły asocjacyjne opisujące następstwa powstających awarii. Informacje tego typu mogą być przydatne przy doborze odpowiedniego typu strategii eksploatacji oraz działań w jej zakresie. Naszym zdaniem, pokazane typy analiz powinny być przeprowadzone zarówno przez producentów autobusów dla wyeliminowanie błędów konstrukcyjnych i montażowych, które wpływają na gotowość pojazdów oraz przez eksploatatorów, gdyż w wielu przypadkach gotowość floty zależy od badanych warunków ich eksploatacji dla ustalenia zasad prowadzenia serwisów i remontów.

Podziękowania

Praca została zrealizowana w ramach projektu End of Line. Autorzy dziękują programowi POIG nr projektu POIG-01.03.01-12-035/08-00 za finansowanie badań.

Bibliografia

- [1] Marzec M.: "Analiza dostępności obiektów mechatronicznych", Praca magisterska, Akademia Górniczo - Hutnicza, Kraków 2012
- [2] Gołąbek A.: "Niezawodność Autobusów", Politechnika Wrocławska, Wrocław 1993
- [3] PN-93/N-50191:1993. Słownik terminologiczny elektryki - Niezawodność, jakość usługi.
- [4] EN-15341:2007. Maintenance - Maintenance Key Performance Indicator.
- [5] Pietrzyk A, "Optymalizacja serwisowania urządzeń technicznych z zastosowaniem algorytmów genetycznych", Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, 2005

- [6] Moubray J.: "Reliability-centered Maintenance", Butterworth-Heinemann, 1999.
- [7] Kelly A.: "Maintenance Strategy", Butterworth-Heinemann, 1997
- [8] Żółtkowski B.: „Podstawy diagnostyki maszyn”, Bydgoszcz 1996
- [9] Niziński S.: „Diagnostyka a koszty obsługi maszyn” Zesz. Nauk. Politechniki Świętokrzyskiej, Mechanika, 42, Kielce
- [10] Olerczuk E.: „Zarys teorii użytkowania obiektów technicznych”, WNT, Warszawa 1972
- [13] Drapella A.: „lifetime models and renewal processes”, Słupsk 2002
- [14] Konieczny J.: „Wstęp do teorii eksploatacji urządzeń”, WNT, Warszawa 1971
- [15] Ossaki S.: „Stochastic Models in Reliability and Maintenance”, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2002
- [16] Marzec M., Uhl T.: „Mechatroniczne stanowisko testowe typu „End Line” i jego wykorzystanie w diagnostyce autobusów”, Autobusy-TEST, 2013, 4
- [17] Brdyś M., Ruczyński A.: „metody optymalizacji w zadaniach”, WNT, Warszawa 1985
- [18] Findeisen W., Szymanowski J., Wierzbicki A.: „Teoria i metody obliczeniowe w optymalizacji”, PWN, Warszawa 1977
- [19] Stachurski A., Wierzbicki A.: „Podstawy optymalizacji”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999
- [20] Klossgen W., Żytkow M.: "Handbook of data mining and knowledge discovery", Oxford University Press, 2002
- [21] Mills, Terence C.: "Time Series Techniques for Economists", Cambridge University Press, 1990
- [22] Percival Donald B., Andrew T. Walden.: "Spectral Analysis for Physical Applications.", Cambridge University Press, 1993
- [23] Zheng, Z., Kohavi, R. Mason, L.: "Real world performance of association rule algorithms", Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, San Francisco, USA 2001
- [24] Zakrzewicz M.: "Data Mining i odkrywanie wiedzy w bazach danych", Materiały konferencyjne PLOUG'97, Zakopane 1997
- [25] StatSoft (2006). Elektroniczny Podręcznik Statystyki PL, Krakow, WEB: <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html>
- [26] Marzec M., Uhl T.: „Using data mining tools to show correlations between failures occurring in city buses” Diagnostyka, Vol. 4(64), 3-9, 2012
- [27] Mlyńczak M., Pisarski P.: „Wspomaganie komputerowe w prognozowaniu obsługi obiektów mechanicznych”, Materiały XXXI Zimowej Szkoły Niezawodności, Szczyrk 2003.

[28] Nowakowski T., Pisarski P.: „Problemy utrzymania gotowości obiektów technicznych”, Ogólnopolskie Sympozjum Naukowo-Techniczne EKSPLOLOG’2004, Wrocław 2004 r.

Data mining methods used in the determination of the strategy for maintenance of bus fleet.

Key words

Technical objects exploitation, reliability, availability, data mining, means of transport

Summary

Downtime of a bus or other technical device causes that the work which was planned to be done in a specified time may not be completed. This entails significant financial consequences reflecting a value of undone work or its effects. Therefore, it is very important to do appropriate studies designed to increase availability of a bus fleet. For the purpose of this study a large number of city buses was tested. As a result, appropriate service procedures were proposed which will let to decrease a number of unplanned downtimes. Thanks to this, a usage of a bus fleet will be more effective. In order to develop service procedures a statistical analysis and data mining were used.