IT SYSTEM FOR SUPPORTING COST-RELIABILITY ANALYSIS OF FLEET VEHICLES

INFORMATYCZNY SYSTEM WSPOMAGANIA ANALIZY KOSZTOWO-NIEZAWODNOŚCIOWEJ POJAZDÓW FLOTOWYCH

Jarosław Selech⁽¹⁾, Karol Andrzejczak⁽¹⁾, Marek Młyniczak⁽²⁾

¹Poznan University of Technology, Politechnika Poznańska

²Wroclaw University of Science and Technology, Politechnika Wrocławska

Abstract: The paper presents the technical aspects of a development of a monitoring system (ISM – Monitoring Information System) allowing a collection, processing and analysis of reliability and cost-related data of the operation of a fleet of vehicles. The platform allows performing advanced analyses according to the LCC (Life Cycle Costing) concept and IRIS compliant RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) methodology. The tool has been developed within the research project titled 'Increase in the efficiency of the means of public transport following the implementation of the IRIS (International Railway Industry Standard) compliant LCC and RAMS concepts based on an integrated information system'. Thanks to the implementation of the ISM system in the practices of a fleet provider, it is possible to monitor malfunction data (in RAMS indexes, life cycle costs, identification of cost-generating components) and perform multidimensional analyses on the collected historical data related to the operation of vehicles. The presented results have been obtained within the research project number PBS3/B6/30/2015 [1].

Keywords: public transport, corrective maintenance, maintenance cost

Streszczenie: Artykuł przedstawia techniczne aspekty realizacji informatycznego systemu monitorującego (ISM), umożliwiającego zbieranie, przetwarzanie i analizowanie danych niezawodnościowych i kosztowych związanych z eksploatacją floty pojazdów szynowych. Powstała w ten sposób platforma umożliwia prowadzenie zaawansowanych analiz według koncepcji LCC (Life Cycle Costing) oraz metodyki RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) zgodnych ze Standarem IRIS. Narzędzie to zostało opracowane w ramach projektu badawczego pt. „Wzrost efektywności funkcjonowania środków transportu publicznego w wyniku wdrożenia koncepcji LCC oraz RAMS zgodnych ze standardem IRIS opartych na zintegrowanym systemie informatycznym”. Dzięki wdrożeniu systemu ISM do praktyki dostawcy taboru, możliwe jest monitorowanie danych o uszkodzeniach (m.in. obserwowanie wartości wskaźników RAMS, kosztu cyklu życia, identyfikację kosztochłonnych elementów) oraz przeprowadzanie wielowymiarowych analiz na zgromadzonych danych historycznych dotyczących eksploatacji pojazdów. Prezentowane wyniki badań zostały wykonane w ramach projektu badawczego nr PBS3/B6/30/2015 [1].

Słowa kluczowe: transport publiczny, naprawa nieplanowa, koszt obsługi

IT SYSTEM FOR SUPPORTING COST-RELIABILITY ANALYSIS OF FLEET VEHICLES

1. System architecture – software components

The ISM system is composed of the following three fundamental software components:

- ISM WEB – a set of files (JavaScript and HTML) to be installed on the ISM www server,
- ISM API – a WAR file to be installed on the ISM web application server,
- ISM database (a file) - a relation database of the ISM system containing the basic data structures and historical data related to vehicle malfunction rates provided by the Ordering Party during project realization).

The figure below presents the fundamental relations among the basic software components of the ISM system.

Fig. 1 Relations among the software components of the ISM system [1]

According to the three-layer concept (client-server) of the IT systems architecture, the integrated ISM system is divided into the following layers:

Presentation layer: *ISM web* application developed in the React.js technology [2], a layer within the www server (proxy server for web and API application of the ISM system) nginx [3] responsible for generating of a user graphic interface and forwarding HTTP queries/responses HTTP to/from ISM (*ISM api*).

Within the *ISM web* the following libraries and software components have been utilized:

- React.js, ver. 15.5.4
- Redux, ver. 3.6.0
- Material-UI, ver. v.0.18.2 [4]
- Recharts, ver. 0.22.4
- nginx, ver. 1.11 [8]
- JavaScript ES5/ES6
- HTML 5, CSS3, Sass

Processing layer: *ISM api* developed in the Java Spring framework technology, within the Apache Tomcat application server responsible for access logic and data processing of the ISM system.

Within the *ISM api* the following libraries and software components have been utilized:

- Java Spring framework, ver. 4.3.8
- Spring Data JPA, ver. 1.11.3
- Spring Boot, ver. 1.5
- Apache POI, ver. 3.16
- OpenCSV, ver. 3.9
- Java JDK, ver. 8
- Apache Tomcat, ver. 8.5

Data layer: a system of management of the PostgreSQL relation database along with the ISM system database responsible for permanent storage and sharing of data of the ISM system. Within this layer, PostgreSQL, ver. 9.6 is utilized.

2. Functional system modules

In order to determine individual functionality groups offered by the system, the following main ISM functional modules are defined:

Data Import Module (MID) allowing periodic and automatic or manual import of XLS and CSV files in a standardized form of a given structure with the vehicle malfunction related data from a given network location.

Data Validation Module (MWD) allowing a validation of data from imported external files or manually entered data on vehicle malfunction rate in terms of their physical integrity (e.g. detection of missing data, changes in the structure of input file), logical integrity, accuracy and timeliness of data (e.g. detection of misleading data correlations, incorrect data types).

Data Edition Module (MED) allowing manual input, correction and browsing of the data collected in the ISM system related to vehicle malfunction rate with dedicated, interactive forms. This module allows a series of operations i.e.: data download from the central database (MBD module), creation of new objects in the central database and editing of existing objects etc.

Database Module (MBD) allowing permanent storage, search and sharing of collected data related to the malfunction rate of vehicles, results of performed LCC and RAMS analyses as well as all other data necessary for the realization of the ISM system objectives of standardized structure.

Data Analysis Module (MAD) the key module of the ISM system allowing the performance of LCC analyses including analyses related to the costs of purchase, ownership, end-of-life operations, maintenance and operation, vehicle/component disposal as well as RAMS analyses including, *inter alia*, determination of individual indexes of reliability, roadworthiness, maintainability and safety. The results of the performed analyses will be available on an interactive dashboard in the form of reports (data in tables and graphs).

Report Generating Module (MGR) allowing generation of analytical reports containing results of performed LCC/RAMS analyses and the source data related to the malfunction rate in the form of a readable PDF or HTML document.

Data Export Module (MEX) allowing the export of data from the ISM system (results of performed analyses and the source data) into a predefined XLS and CSV formats. This module communicates with the MBD module in order to collect an appropriate scope of data and is responsible for the conversion into another data model and generation of a resultant file in a given format.

Administration Module (MADM) allowing management and parameterization of the ISM system including accounts, authorizations and ISM user roles. It allows managing of the mechanism of creating back-up copies, the configuration of the location of the source data of the system and the configuration of the automatic processes (e.g. automatic generation of analytical reports).

Authentication and Authorization Module (MUA) is responsible for the monitoring of the system operation in the context of access security to the data and system functions.

User Graphic Interface Module (MGUI) is a graphic environment of the human-computer interaction allowing simple input, edition and presentation of the data processed in the ISM system.

The diagram below presents the entire concept of interaction of individual functional modules of the ISM system.

The above functional modules of the ISM system present a logical decomposition of this system against the assumed groups of functionalities. They correspond to individual software components of the ISM system.

Fig. 2 The concept of decomposition of the ISM system into functional modules [1]

3. Functional requirements (ISM system functions)

Upon logging in, through the main navigation menu, the user launches individual views grouping the ISM functions (access modules). The following basic grouping views have been developed (components of the ISM system main navigation menu):

- ISM dashboard,
- RAMS reliability analysis,
- LCC cost analysis,
- Malfunctions and actions.

Fig. 3 The concept of the ISM system main navigation menu [1]

Main ISM dashboard

Majority of the functions of the ISM system have been properly grouped in content-related ISM areas (e.g. RAMS analysis, LCC analysis, malfunction statistical analysis) and are accessible from the ISM navigation menu shown in the figure below.

Upon user logging in, a default view is the grouping view (*ISM Dashboard*). The dashboard is a view synthetically presenting (in a graphic form) the most important information related to the ongoing functioning of a fleet of vehicles in the context of RAMS, LCC and the widely understood malfunction rate.

Individual values presented on the ISM dashboard are grouped accordingly into panels (e.g. – R – RAMS reliability-related panel), which allows a quicker search for the required values. Additionally, a coherent color and symbol schemes of individual area domains were used for the entire ISM system.

The ISM dashboard has a form of an interactive analytical report allowing a quick access to the current values of individual RAMS and LCC indexes as well as the most important data on current fleet malfunction rate. They may be presented in the form of simple numerical data, graphic decrease/increase indexes against a pre-configured time frame and graphs utilizing data collected in the ISM database module (MBD).

Fig. 4 ISM dashboard - visualization of the key performance of RAMS parameters [1]

Fig. 5 System of RAMS/LCC indexes on the ISM dashboard [1]

RAMS reliability analyses

The group of ISM functions under the name 'RAMS analyses' allows performing RAMS analyses, generating reports and managing the results of historical analyses. Within this group, the user can perform collective analyses of all RAMS indexes for a selected configuration of the input parameters (time frame, mileage, vehicle number) and a detailed analysis of a selected index [5].

Fig. 6 ISM navigation menu – level 1[1]

List of functions for the “RAMS dashboard”

The system automatically computes the values of the RAMS indexes (MTBF Ang, MTBF An, MDBF Ang, MDBF An, Ap, An, Ao, MTTR Ang, MTTR An, MTTR Aa, MTTR Ao, MTBM, MDBM, MTTM, MMT, MDT, MUT i MTBSF) in a time frame starting from the date of the occurrence of the first malfunction in the database to date.

Management of malfunctions and recalls

The system allows configuring a statistical analysis (numerical) of malfunctions against: time frame, name of customer/contract, vehicle number, mileage range, product groups, different causes and categories of malfunctions, repairing workshop and whether the malfunction resulted in a vehicle in running order [6].

Access to the source data on the fleet malfunction rate is possible through the group of functions 'Malfunctions actions' in the navigation menu. The data imported from external sources will be divided into two groups i.e. verified valid data and invalid data [7].

The valid data having all required values in an appropriate format will be automatically considered in the RAMS/LCC analyses. Invalid data (vehicle malfunction entry that does not contain all required information) will be properly marked in the system for further adjustment (within the group of functions under 'Source data').

Additionally, the group of functions under 'Malfunction analysis' allows the performance of simple statistical analyses of the source data of the ISM system (daily distribution of malfunctions, weekly distribution of malfunctions) [8].

Cost analysis according to the LCC methodology

The group of ISM functions under 'LCC analyses' allows cost analyses, generating reports and managing historical results of analyses. Within this group, the user may perform an analysis of different cost indexes for a selected configuration of input parameters (time frame, name of customer/contract, vehicle number, mileage range, product group).

Within the LCC analyses, several areas grouping the cost indexes have been implemented such as corrective repairs, scheduled repairs, service recalls etc. These areas, similarly to the RAMS indexes, are visualized with appropriate panels.

The system allows determining of the values of the cost indexes against: time frame, name of customer/contract, vehicle number, mileage range, product group.

Fig. 7 Visualization dashboard of a collective analysis of the cost related LCC indexes [1]

A cost analysis allows configuring the costs according to the LCC methodology (i.e. determining the values of the cost against: time frame, name of customer/contract, vehicle number, mileage range, product group:

- Total cost (materials + man-hours) of scheduled/corrective maintenance,
- Cost of man-hour of scheduled/corrective maintenance,
- Number of man-hours of scheduled/corrective maintenance,
- Cost of materials for scheduled/corrective maintenance as well as many other parameters.

Fig. 8 Example panel of cost analysis for corrective maintenance [1]

4. Conclusions

In the paper, the authors presented the technical aspects of a realization of a monitoring system (ISM) allowing gathering, processing and analysis of cost and reliability related data of the operation of a fleet of rail vehicles.

In order to carry out detailed analyses, with a possible attempt to forecast the types of costs, it is required to record all cost-generating events. The creation of databases related to the widely understood malfunction rate, including all the operation costs of a fleet of mass transport vehicles, should be one of the fundamental activities in the process of planning of the costs of servicing and repair.

It is also assumed that the developed system, at the further stage of its development, will enable forecasting the cost and possibility (of occurrence) of malfunctions with a certain level of probability.

A detailed knowledge of the costs divided into scheduled and corrective maintenance will contribute to a change in the cost-related perception on the side of the manufacturer (provider of the rolling stock) as well as the fleet operator. Therefore, this trend in the development of an information technology tool appears to be promising in terms of its commercial applications.

Acknowledgements

The research has been financed by National Centre for Research and Development – Applied Research Program PBS III/B6/30/2015 and the Faculty of Electrical Engineering of Poznan University of Technology – research project PP 04/43/DS PB/0096.

5. References

- [1] Research project titled 'Increase in the efficiency of the means of public transport following the implementation of the IRIS compliant LCC and RAMS concepts based on an integrated information system', No. PBS3/B6/30/2015.
- [2] Andrzejczak K.: Stochastic modeling of the repairable system, Journal of KONBiN 3(35) 2015, 5-14.
- [3] Andrzejczak K.: Methods of the forecasting in the modeling of means of transport maintenance (in Polish). Rozprawy nr 496. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2013.
- [4] Andrzejczak K., Selech J.: Quantile analysis of the operating costs of public transport fleet, Transport Problems, vol. 12 (3), 103-111, 2017.
- [5] Andrzejczak, K., Selech, J. Investigating the trends of average costs of corrective maintenance of public transport vehicles. Journal of KONBiN, 41(1), pp. 207-226. Retrieved 21 Nov. 2017, from doi:10.1515/jok-2017-0011
- [6] <https://facebook.github.io/react/> (last visited Dec. 14, 2017)
- [7] <http://www.material-ui.com/#/> (last visited Dec. 14, 2017)
- [8] <https://nginx.org/en/> (last visited Dec. 14, 2017)

Dr inż. Jarosław Selech graduated from Poznan University of Technology in 1999 majoring in mechanics and machine design. Since his graduation he has been affiliated with Institute of Machines and Motor Vehicles of Poznan University of Technology. In 2005 he was awarded with the degree of PhD in technical sciences in the field of design and operation of machines. His academic interests focus on the methodology of research on operation of technical objects in the context of reliability forecasting and life cycle costs. He is a member of Polish Tribological Society, Association of Agricultural Engineering and Polish Scientific and Technical Operation Society (Share 40%).

Dr hab. Karol Andrzejczak graduated from Adam Mickiewicz University of Poznan majoring in Mathematics in 1980. Since his graduation he has been affiliated with Institute of Mathematics of Poznan University of Technology. In 1987 he was awarded with the degree of PhD in Mathematical Sciences and in 2014 he was awarded with the degree of PhD habilitated in technical sciences in the field of transport. His academic interests focus on the theory of reliability and its applications, statistical methods and probabilistic modeling of readiness, operation and safety of transport systems and means of transport. He is a member of Polish Statistical Society, POLSPAR Polish Association of Measurements, Automatics and Robotics and the American Mathematical Society (Share 30%).

Ass. Prof. Dr Hab. Eng. Marek Młyńczak is graduated from Wrocław University of Science and Technology and currently is a member of research and teaching staff in that University in the Faculty of Mechanical Engineering, in the Chair of Maintenance and Operation of Logistics, Transportation and Hydraulic Systems. His field of interests cover methods of operational field testing as well as risk assessment in technical systems. He works on operation and maintenance of technical objects, reliability, degradation and diagnostics directed on failure prevention. He is a member of Committee of Machine Construction of Polish Science Academy, Polish Scientific and Technical Society of Operation and Maintenance, Polish Society of Safety and Reliability (Share 30%).

INFORMATYCZNY SYSTEM WSPOMAGANIA ANALIZY KOSZTOWO-NIEZAWODNOŚCIOWEJ POJAZDÓW FLOTOWYCH

1. Architektura systemu - komponenty programowe

System ISM składa się z następujących, trzech podstawowych komponentów programowych:

- aplikacji ISM WEB będącej zbiorem plików, głównie języka JavaScript i HTML przeznaczonych do zainstalowania w ramach serwera www systemu ISM,
- aplikacji ISM API będącej plikiem WAR przeznaczony do zainstalowania w ramach serwera aplikacji web systemu ISM,
- bazy danych ISM, plik będący relacyjną bazą danych systemu ISM zawierającą podstawowe struktury danych oraz historyczne dane dot. uszkodzeń pojazdów dostarczone przez Zamawiającego w trakcie realizacji projektu).

Rys.1 Powiązania pomiędzy komponentami programowymi ISM

Zgodnie z koncepcją trójwarstwowej (klient-serwer) architektury systemów IT, zintegrowany system ISM został podzielony na następujące warstwy;
warstwa prezentacji: aplikacja *ISM web* wykonana głównie technologii React.js [2] osadzona w ramach serwera www (proxy serwer dla aplikacji web i API systemu ISM) nginx [3] odpowiadająca za generowanie graficznego interfejsu użytkownika i przekazywanie żądań/odpowiedzi HTTP do/z aplikacji usługowej ISM (*ISM api*). W ramach aplikacji *ISM web* wykorzystano następujące biblioteki i komponenty programowe:

- React.js, wersja 15.5.4
- Redux, wersja 3.6.0
- Material-UI, wersja v.0.18.2 [4]
- Recharts, wersja 0.22.4
- nginx, wersja 1.11[8]
- JavaScript ES5/ES6
- HTML 5, CSS3, Sass

Warstwa przetwarzania: aplikacja *ISM api* wykonana głównie w technologii Java Spring framework, osadzona w ramach serwera aplikacji Apache Tomcat odpowiadająca za zapewnienie logiki dostępu i przetwarzania danych systemu ISM.

W aplikacji *ISM api* wykorzystano następujące biblioteki i komponenty programowe:

- Java Spring framework, wersja 4.3.8
- Spring Data JPA, wersja 1.11.3
- Spring Boot, wersja 1.5
- Apache POI, wersja 3.16
- OpenCSV, wersja 3.9
- Java JDK, wersja 8
- Apache Tomcat, wersja 8.5

Warstwa danych: system zarządzania relacyjną bazą danych PostgreSQL wraz z bazą danych systemu ISM odpowiadający za trwałe przechowywanie i udostępnianie danych systemu ISM. W ramach warstwy danych wykorzystano PostgreSQL, wersja 9.6.

2. Moduły funkcjonalne systemu

W celu określenia poszczególnych grup funkcjonalności oferowanych przez system, zdefiniowano następujące, główne moduły funkcjonalne wchodzące w skład systemu ISM:

Moduł Importu Danych (MID) umożliwiający periodyczny i automatyczny lub manualny import plików XLS oraz CSV w znormalizowanej postaci, o określonej strukturze z danymi o uszkodzalności pojazdów, z danej lokalizacji sieciowej.

Moduł Weryfikacji Danych (MWD) umożliwiający weryfikację zaimportowanych z plików zewnętrznych lub wprowadzanych manualnie danych o uszkodzalności pojazdów pod kątem ich integralności fizycznej (np. wykrywanie brakujących danych, zmiany w strukturze pliku wejściowego), logicznej (np. wykrywanie błędnych powiązań pomiędzy danymi, niepoprawnych typach danych) aktualności oraz prawdziwości.

Moduł Edycji Danych (MED) umożliwiający manualne wprowadzanie, korektę i przeglądanie zgromadzonych w systemie ISM danych o uszkodzalności pojazdów za pomocą dedykowanych, interaktywnych formularzy. Moduł ten udostępnia szereg operacji tj.: pobieranie danych z centralnej bazy danych (modułu MBD), tworzenie nowych obiektów w centralnej bazie danych, edycję istniejących obiektów itp.

Moduł Bazy Danych (MBD) umożliwiający trwałe przechowywanie, przeszukiwanie i udostępnianie gromadzonych danych o uszkodzalności pojazdów, wyników przeprowadzonych analiz LCC i RAMS oraz wszelkich innych danych niezbędnych do realizacji celów systemu ISM w ramach relacyjnej bazy danych o znormalizowanej strukturze.

Moduł Analizy Danych (MAD) kluczowy moduł systemu ISM umożliwiający wykonywanie analiz LCC w tym np. analiz dotyczących kosztów nabycia, posiadania, wycofania, obsługi, eksploatacji, likwidacji pojazdu/elementu pojazdu oraz analiz RAMS w tym m.in. wyznaczania poszczególnych wskaźników niezawodności, gotowości, podatności na utrzymanie oraz bezpieczeństwa. Wyniki przeprowadzonych analiz będą dostępne na interaktywnym pulpicie w postaci raportów zawierających tabelaryczne i graficzne (wykresy) zestawienia danych.

Moduł Generowania Raportów (MGR) umożliwiający generowanie raportów analitycznych zawierających wyniki przeprowadzonych analiz LCC/RAMS oraz dane źródłowe o uszkodzalności do czytelnego dokumentu w formacie np. PDF, HTML.

Moduł Eksportu Danych (MEX) umożliwiający eksport danych z systemu ISM (wyników przeprowadzonych analiz oraz danych źródłowych) do zdefiniowanego wcześniej formatu XLS i CSV. Moduł ten komunikuje się z modułem MBD w celu pobrania odpowiedniego zakresu danych oraz za konwersję do innego wspieranego modelu danych i przygotowania wynikowego pliku w danym formacie.

Moduł Administracyjny (MADM) umożliwiający zarządzanie i parametryzację systemu ISM w tym zarządzanie kontami, uprawnieniami i rolami użytkowników systemu ISM, zarządzanie systemem mechanizmu tworzenia kopii zapasowych danych, konfigurację lokalizacji danych źródłowych systemu, konfigurację procesów automatycznych (np. automatycznego generowania raportów analitycznych) itp.

Moduł Uwierzytelniania i Autoryzacji (MUA) odpowiadający za nadzorowanie działania systemu w kontekście bezpieczeństwa dostępu do danych i funkcji systemu.

Moduł Graficznego Interfejsu Użytkownika (MGUI) będący graficznym środowiskiem interakcji człowiek-komputer umożliwiający proste wprowadzanie, edycję i prezentację danych przetwarzanych w ISM.

Przedstawione powyżej moduły funkcjonalne systemu ISM przedstawiają logiczną dekompozycję systemu względem zakładanych grup funkcjonalności. Odpowiadają one poszczególnym komponentom programowym systemu ISM.

3. Wymagania funkcjonalne (funkcje Systemu ISM)

Po zalogowaniu się do systemu ISM, użytkownik za pomocą głównego menu nawigacyjnego uruchamia poszczególne widoki grupujące funkcje ISM tzw. Moduły dostępne. Opracowano następujące podstawowe widoki grupujące (elementy głównego menu nawigacyjnego ISM):

- Pulpit ISM,
- Analiza niezawodnościowa RAMS,
- Analiza kosztowa LCC,
- Uszkodzenia i akcje.

Rys. 3 Koncepcja głównego menu nawigacyjnego ISM [1]

Pulpit główny ISM

Większość funkcji systemu ISM zostało odpowiednio zgrupowanych w merytoryczne obszary ISM (np. analiza RAMS, analiza LCC, analiza statystyczna uszkodzeń) i są dostępne z poziomu menu nawigacyjnego ISM przedstawionego na poniższym rysunku.

Domyślnie widokiem po zalogowaniu się użytkownika do systemu ISM jest widok grupujący „Pulpit ISM” (ang. *ISM Dashboard*). Pulpit ISM to widok przedstawiający w syntetycznej, graficznej formie najważniejsze informacje dotyczące bieżącego funkcjonowania floty pojazdów w kontekście RAMS i LCC oraz szeroko rozumianej uszkodzalności.

Pulpit ISM ma postać interaktywnego raportu analitycznego, umożliwiającego szybki wgląd w aktualne wartości poszczególnych wskaźników RAMS, LCC oraz najważniejszych informacji o bieżącej uszkodzalności zarządzanej floty.

IT system for supporting cost-reliability analysis of fleet vehicles
Informatyczny system wspomagania analizy kosztowo-niezawodnościowej...

Mogą one być prezentowane w postaci prostych danych liczbowych, graficznych wskaźników wzrostu/spadku wartości danego wskaźnika w stosunku do wcześniej skonfigurowanego okresu czasu oraz wykresów wykorzystujących dane zgromadzone w module bazy danych ISM (MBD).

Rys. 4 Koncepcja pulpitu ISM - pulpit wizualizacji analizy zbiorczej wskaźników RAMS [1]

Poszczególne wartości prezentowane na pulpicie ISM są odpowiednio pogrupowane w ramach tzw. paneli (np. panel dot. Niezawodności – R – RAMS) co pozwala szybciej odnaleźć poszukiwane wartości. Dodatkowo wykorzystano spójną w ramach całego systemu ISM kolorystykę i symbolikę poszczególnych dziedzin obszarów, itp.

Rys. 5 Układ wskaźników RAMS/LCC na pulpicie ISM [1]

Analizy niezawodnościowe RAMS

Grupa funkcji ISM „Analizy RAMS” umożliwia przeprowadzanie analiz RAMS, generowanie raportów oraz zarządzanie historycznymi wynikami analiz. W ramach tej grupy funkcji użytkownik może przeprowadzić zbiorczą analizę wszystkich wskaźników RAMS dla wybranej konfiguracji parametrów wejściowych (np. zakres czasowy, przebieg, numer pojazdu) oraz szczegółową analizę wybranego wskaźnika [5].

Rys.6 Menu nawigacyjne systemu ISM – poziom 1 [1]

Lista funkcji dla „Pulpit RAMS”

System automatycznie oblicza wartość wskaźników RAMS (MTBF Ang, MTBF An, MDBF Ang, MDBF An, Ap, An, Ao, MTTR Ang, MTTR An, MTTR Aa, MTTR Ao, MTBM, MDBM, MTTM, MMT, MDT, MUT i MTBSF) w zakresie czasowym od daty wystąpienia najstarszego uszkodzenia w bazie danych do aktualnej daty.

Zarządzanie uszkodzeniami i akcjami serwisowymi

System umożliwia skonfigurowanie analizy statystycznej (liczbowej) uszkodzeń według: zakresu czasowego, nazwy klienta/kontraktu, numerów pojazdu, zakresu przebiegów, grup konstrukcyjnych, różnych przyczyn i kategorii uszkodzeń, wykonawcy naprawy oraz określenia tego czy uszkodzenie spowodowało brak gotowości pojazdu [6].

Dostęp do danych źródłowych o uszkaźalności floty pojazdów jest możliwy za pomocą grupy funkcji „Uszkodzenia akcje” w menu nawigacyjnym. Zaimportowane ze źródeł zewnętrznych dane będą dzielone na dwie grupy tj. zweryfikowane dane poprawne oraz dane niepoprawne [7]. Dane poprawne tj. posiadające wszystkie wymagane wartości w odpowiednim formacie będą automatycznie brane pod uwagę przy wykonywaniu analiz RAMS/LCC. Dane niepoprawne (np. wpis dotyczący uszkodzenia pojazdu nie posiadający kompletu wymaganych informacji) będą odpowiednio oznaczane w systemie w celu ich późniejszej korekty (w ramach grupy funkcji „Dane źródłowe”). Dodatkowo, grupa funkcji „Analiza uszkodzeń” umożliwia przeprowadzanie prostych analiz statystycznych danych źródłowych systemu ISM (np. rozkład dobowy uszkodzeń, rozkład tygodniowy uszkodzeń) [8].

Analizy kosztowe według metodyki LCC

Grupa funkcji ISM „Analizy LCC” umożliwia przeprowadzanie analiz kosztowych, generowanie raportów oraz zarządzanie historycznymi wynikami analiz. W ramach tej grupy funkcji użytkownik może przeprowadzić analizę różnych wskaźników kosztowych dla wybranej konfiguracji parametrów wejściowych (np. zakres czasowy, przebieg, numer pojazdu, indeksy części pojazdu).

W ramach analiz LCC wprowadzono kilku obszarów grupujących wskaźniki kosztowe np. naprawy nieplanowane, planowe, akcje serwisowe itp. Obszary te, podobnie jak w wskaźniki RAMS są wizualizowane za pomocą odpowiednich paneli.

Analiza kosztowa umożliwia skonfigurowanie kosztów wg metodyki LCC (tj. wyznaczenia wartości wskaźników kosztowych względem: zakresu czasowego, nazwy klienta/kontraktu, numeru pojazdu, zakresu przebiegów, grup konstrukcyjnych:

- koszt całkowity (materiały + roboczogodziny) obsługi planowej/nieplanowej,
- koszt roboczogodzin obsługi planowej/nieplanowej,
- liczba roboczogodzin obsługi planowej/nieplanowej,
- koszt materiałów obsługi planowej/nieplanowej i wiele innych parametrów.

Rys. 7 Pulpit wizualizacji analizy zbiorczej wskaźników kosztowych LCC [1]

Rys. 8 Przykładowy panel analizy kosztów dla napraw nieplanowanych [1]

4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono techniczne aspekty realizacji informatycznego systemu monitorującego (ISM), umożliwiającego zbieranie, przetwarzanie i analizowanie danych niezawodnościowych i kosztowych związanych z eksploatacją floty pojazdów szynowych.

W celu prowadzenia szczegółowych analiz, z ewentualną próbą prognozowania rodzajów kosztów, wymaga się rejestrowania wszystkich zdarzeń, które generują koszt. Tworzenie bazy danych dotyczącej szeroko rozumianej uszkodzalności, uwzględniającej wszelkie koszty eksploatacji floty pojazdów transportu masowego, powinno należeć do podstawowych działań w procesie planowania kosztów serwisowania i remontów.

Zakłada się także iż opracowany system w dalszym etapie jego rozwoju będzie umożliwiał prognozowanie zarówno kosztów jak i możliwości wystąpienia uszkodzenia z określonym prawdopodobieństwem.

Dokładna znajomość kosztów z podziałem na obsługę planową i nieplanową związaną z uszkodzeniami przyczyniać się będzie do zmiany spojrzenia w ujęciu kosztowym zarówno ze strony producenta (dostawcy taboru) jak również operatora floty. Dlatego ten kierunek tworzenia narzędzia informatycznego wydaje się być obiecujący z punktu widzenia jego zastosowań komercjalizacyjnych.

5. Literatura

- [1] Projekt badawczy pt. „Wzrost efektywności funkcjonowania środków transportu publicznego w wyniku wdrożenia koncepcji LCC oraz RAMS zgodnych ze standardem IRIS opartych na zintegrowanym systemie informatycznym”, Nr PBS3/B6/30/2015.
- [2] <https://facebook.github.io/react/> (dostęp 14.12.2017)
- [3] <http://www.material-ui.com/#/> (dostęp 14.12.2017)
- [4] <https://nginx.org/en/> (dostęp 14.12.2017)
- [5] Andrzejczak K.: Stochastic modelling of the repairable system, Journal of KONBiN 3(35) 2015, 5-14.
- [6] Andrzejczak K.: Methods of the forecasting in the modelling of means of transport maintenance (in Polish). Rozprawy nr 496. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2013.
- [7] Andrzejczak K., Selech J.: Quantile analysis of the operating costs of public transport fleet, Transport Problems, vol. 12 (3), 103-111, 2017.
- [8] Andrzejczak K., Selech J., Investigating the trends of average costs of corrective maintenance of public transport vehicles, Journal of KONBiN, vol.41(2017), s. 207-226, 2017.

Badania sfinansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju – Program Badań Stosowanych PBS III/B6/30/2015 oraz przez Wydział Elektryczny Politechniki Poznańskiej – projekt PP 04/43/DS PB/0096.

Dr inż. Jarosław Selech ukończył studia na kierunku mechanika i budowa maszyn w 1999 roku na Politechnice Poznańskiej. Od ukończenia studiów pracuje w Instytucie Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych Politechniki Poznańskiej. W 2005 otrzymał stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn. Swoje zainteresowania naukowe koncentruje wokół metodyki badań eksploatacyjnych obiektów technicznych w aspekcie prognozowania niezawodności i kosztów cyklu życia. Jest członkiem Polskiego Towarzystwa Tribologicznego, Polskiego Towarzystwa Inżynierii Rolniczej oraz Polskiego Naukowo-Technicznego Towarzystwa Eksploatacyjnego (Udział 40%).

Dr hab. Karol Andrzejczak ukończył studia na kierunku matematyka w 1980 roku na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Od ukończenia studiów pracuje w Instytucie Matematyki Politechniki Poznańskiej. W 1987 roku otrzymał stopień doktora nauk matematycznych, a w 2014 roku doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie transport. Jego zainteresowania naukowe dotyczą teorii niezawodności i jej zastosowań, metod statystycznych i probabilistycznego modelowania gotowości, eksploatacji oraz bezpieczeństwa systemów transportowych i środków transportu. Jest członkiem Polskiego Towarzystwa Statystycznego, Polskiego Stowarzyszenia Pomiarów, Automatyki i Robotyki POLSPAR oraz Amerykańskiego Towarzystwa Matematycznego (Udział 30%).

Dr hab. inż. Marek Młynczak, prof. nadzw. PWr., jest absolwentem i aktualnie pracownikiem Politechniki Wrocławskiej, na Wydziale Mechanicznym, w Katedrze Logistyki, Systemów Transportowych i Układów Hydraulicznych. Zajmuje się metodami oceny ryzyka w systemach technicznych oraz badaniami eksploatacyjnymi różnorodnych obiektów, a w szczególności środków transportu i maszyn górnictwa odkrywkowego. Interesuje się eksploatacją techniczną, niezawodnością, degradacją i diagnostyką techniczną ukierunkowaną na ograniczanie uszkodzalności w systemach technicznych. Jest członkiem Komitetu Budowy Maszyn PAN, Polskiego Naukowo-Technicznego Towarzystwa Eksploatacyjnego oraz Polskiego Towarzystwa Bezpieczeństwa i Niezawodności (Udział 30%).