Maciej Frankowski

„Wdrożenie narzędzia doboru parametrów pojazdu szynowego ze szczególnym uwzględnieniem innowacyjnych źródeł zasilania”

Streszczenie

Współczesny transport szynowy jest obecnie intensywnie rozwijany i modernizowany ze względu m.in. na zwiększenie zapotrzebowania na przewozy, wprowadzanie coraz bardziej rygorystycznych wymagań dotyczących ograniczania oddziaływania transportu na środowisko oraz rozwój nowych technologii. Szczególnego znaczenia nabierają alternatywne źródła zasilania, umożliwiające np. eksploatację pojazdów na liniach niezelektryfikowanych, czy też redukujące emisję zanieczyszczeń w miejscu eksploatacji. Pojazd szynowy stanowi złożony system techniczny, w którym zmiana jednego z podstawowych parametrów może wpływać na jego konstrukcję, osiągi, wyposażenie oraz nakłady związane z wytworzeniem. Powoduje to potrzebę systemowego podejścia do procesu konfiguracji pojazdu. Jednocześnie rosnąca liczba wymagań technicznych, eksploatacyjnych i ekonomicznych zwiększa złożoność procesu przygotowania ofert na dostawę taboru.

Przedstawione uwarunkowania stanowiły podstawę realizacji rozprawy doktorskiej, której głównym celem było opracowanie i weryfikacja narzędzia doboru parametrów pojazdu szynowego wspomagającego proces jego konfiguracji na etapie przygotowania oferty, ze szczególnym uwzględnieniem możliwości zastosowania różnych technologii napędowych oraz ich wpływu na konstrukcję pojazdu i związane z nią koszty. Istotę realizacji celu pracy stanowi opracowanie autorskiej metodyki umożliwiającej integrację wymagań zamawiającego, danych technicznych i produkcyjnych oraz zależności pomiędzy parametrami pojazdu w ramach spójnego, powtarzalnego i weryfikowalnego procesu.

W pierwszej części rozprawy przedstawiono kierunki rozwoju transportu szynowego w Unii Europejskiej i Polsce, a następnie przeprowadzono analizę postępowań przetargowych dotyczących wagonów pasażerskich, lokomotyw oraz elektrycznych zespołów trakcyjnych. Pozwoliło to na identyfikację wymagań zamawiających oraz kryteriów stosowanych przy wyborze ofert. W analizowanych postępowaniach największą wagę miało kryterium ceny, jednak stosowano również kryteria odnoszące się do właściwości technicznych i eksploatacyjnych pojazdów. To było podstawą do sformułowania celu pracy i jej struktury. W dalszej części omówiono możliwości wdrażania nowoczesnych źródeł zasilania, ze szczególnym uwzględnieniem pojazdów elektrycznych z akumulatorami i wykorzystujących w napędzie ogniwa paliwowe.

Obiektem badań zasadniczych było rzeczywiste postępowanie przetargowe dotyczące zakupu ośmiu fabrycznie nowych elektrycznych zespołów trakcyjnych do obsługi regionalnych przewozów pasażerskich w województwie wielkopolskim. Dokumentacja tego postępowania stanowiła podstawę do określenia wymagań wejściowych wykorzystywanych następnie w procesie konfiguracji pojazdu.

W ramach badań opracowano autorską metodykę konfiguracji oraz stanowiące jej praktyczną implementację narzędzie doboru parametrów pojazdu szynowego. Podstawowymi elementami rozwiązania są: karta konfiguracyjna, otwarta baza danych, lista kontrolna grup

konstrukcyjnych oraz moduł konfiguracji, uzupełnione o reguły decyzyjne i procedurę weryfikacji. Narzędzie wykorzystuje dane pochodzące z dokumentacji przetargowej, systemów informatycznych przedsiębiorstwa, dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej oraz informacji dotyczących stosowanych podzespołów. Podział pojazdu na grupy konstrukcyjne umożliwił analizę wpływu poszczególnych parametrów na jego konstrukcję oraz przypisanie rozwiązaniom technicznym odpowiednich nakładów. Uwzględniono również nakłady dodatkowe i czynniki ryzyka mające znaczenie dla przygotowania i realizacji oferty.

Szczególnym obszarem badań była analiza wpływu technologii napędowej na konfigurację pojazdu. Rozpatrzono cztery warianty: elektryczny zespół trakcyjny zasilany z sieci trakcyjnej – EMU, zespół trakcyjny z napędem spalinowo-elektrycznym, elektryczny zespół trakcyjny wyposażony w akumulatory – BEMU oraz elektryczny zespół trakcyjny wykorzystujący ogniwa paliwowe – FCEMU. W przypadku braku jednoznacznego określenia technologii napędowej przez zamawiającego zastosowano podejście iteracyjne, w którym w pierwszym etapie definiowane są wymagania funkcjonalne wobec napędu, a następnie konstrukcja pojazdu jest dostosowywana do wybranego rozwiązania.

Dla podstawowej konfiguracji o prędkości konstrukcyjnej 160 km/h całkowite nakłady wyniosły 35,5 mln zł dla EMU, 41,5 mln zł dla wariantu spalinowo-elektrycznego, 43,7 mln zł dla BEMU oraz 47,6 mln zł dla FCEMU. Analizę rozszerzono następnie na prędkości 140 i 180 km/h. W badanym zakresie zwiększenie prędkości ze 140 do 180 km/h powodowało zwiększenie całkowitych nakładów o 6,5% dla EMU, 14,6% dla wariantu spalinowo-elektrycznego, 19,3% dla BEMU oraz 30,9% dla FCEMU. Wykazano tym samym, że wraz ze wzrostem prędkości konstrukcyjnej zwiększa się wrażliwość całkowitych nakładów na zastosowaną technologię napędową. Do ilościowej oceny uzyskanych zależności zastosowano wskaźniki umożliwiające analizę poziomu, struktury i dynamiki zmian nakładów.

Opracowane narzędzie poddano weryfikacji strukturalnej, funkcjonalnej, algorytmicznej i procesowej. Sprawdzono między innymi kompletność i jednoznaczność parametrów, poprawność zależności pomiędzy nimi, spójność danych wejściowych, działanie reguł decyzyjnych oraz zgodność procesu konfiguracji z rzeczywistym procesem ofertowania. Zastosowanie kryteriów weryfikacyjnych, bramek decyzyjnych i pętli korekcyjnych umożliwiło identyfikację konfiguracji niespójnych technicznie lub formalnie oraz potwierdziło poprawność przyjętej struktury i logiki działania opracowanego narzędzia.

Rezultatem przeprowadzonych prac jest opracowana, zweryfikowana i wdrożona w przedsiębiorstwie autorska metoda doboru parametrów pojazdu szynowego wspomagająca proces przygotowania konfiguracji ofertowej. Otwarta struktura rozwiązania umożliwia dalsze uzupełnianie bazy danych wraz z realizacją kolejnych projektów i pozyskiwaniem nowych informacji. Wkład naukowy rozprawy obejmuje sformalizowanie procesu konfiguracji pojazdu na etapie ofertowania, opracowanie sposobu integracji danych i zależności pomiędzy parametrami, agregowania nakładów w strukturze grup konstrukcyjnych oraz wykorzystanie wskaźników umożliwiających ilościową ocenę wpływu parametrów technicznych i technologii napędowej na konfigurację pojazdu. Przeprowadzone badania wykazały, że opracowana metodyka umożliwia prowadzenie konfiguracji w sposób spójny, powtarzalny i weryfikowalny oraz ocenę wpływu wybranych decyzji konfiguracyjnych na konstrukcję pojazdu i związane z nią nakłady.

Abstract

“Implementation of a tool for selecting parameters of a rail vehicle with particular emphasis on innovative power sources”

Contemporary rail transport is undergoing intensive development and modernization, driven, among other factors, by the growing demand for transport services, increasingly stringent requirements concerning the reduction of the environmental impact of transport, and the development of new technologies. Alternative power sources are becoming particularly important, as they enable, for example, the operation of vehicles on non-electrified lines and contribute to reducing pollutant emissions during operation. A rail vehicle is a complex technical system in which a change in one of its fundamental parameters may affect its design, performance, equipment, and the costs associated with its manufacture. This creates a need for a systematic approach to the vehicle configuration process. At the same time, the increasing number of technical, operational, and economic requirements adds to the complexity of preparing bids for the supply of rolling stock.

These considerations provided the basis for the doctoral dissertation, whose main objective was to develop and verify a rail vehicle parameter selection tool supporting the vehicle configuration process at the bid preparation stage, with particular emphasis on the use of innovative power sources and different propulsion technologies and their impact on vehicle design and the associated costs. A key element in achieving this objective was the development of an original methodology integrating the contracting authority’s requirements, technical and production data, and the interrelationships between vehicle parameters within a coherent, repeatable, and verifiable process.

The first part of the dissertation presents the main development trends in rail transport in the European Union and Poland, followed by an analysis of tender procedures concerning passenger coaches, locomotives, and electric multiple units. This made it possible to identify the requirements specified by contracting authorities and the criteria applied in the evaluation of bids. In the analysed procedures, price was the criterion with the highest weighting; however, criteria relating to the technical and operational characteristics of vehicles were also applied. These findings provided the basis for defining the objective and structure of the dissertation. The subsequent part discusses the possibilities for implementing innovative power sources, with particular emphasis on battery electric vehicles and vehicles using fuel cells for propulsion.

The principal research was based on an actual tender procedure for the purchase of eight new electric multiple units intended for regional passenger services in the Greater Poland Voivodeship. The tender documentation provided the basis for defining the input requirements subsequently used in the vehicle configuration process.

As part of the research, an original configuration methodology and a rail vehicle parameter selection tool constituting its practical implementation were developed. The principal elements of the proposed solution comprise a configuration card, an open database, a construction group checklist, and a configuration module, supplemented by decision rules and a verification procedure. The tool uses data derived from tender documentation, the company’s IT systems, design and manufacturing documentation, and information concerning the components used. Dividing the vehicle into construction groups made it possible to analyse the impact of individual parameters on its design and to assign the corresponding costs to specific technical

solutions. Additional costs and risk factors relevant to bid preparation and execution were also taken into account.

A particular focus of the research was the analysis of the influence of propulsion technology on vehicle configuration. Four variants were considered: an electric multiple unit supplied from the overhead traction network (EMU), a multiple unit with diesel-electric propulsion, a battery electric multiple unit (BEMU), and a fuel cell electric multiple unit (FCEMU). Where the propulsion technology is not explicitly specified by the contracting authority, an iterative approach was applied in which the functional requirements for the propulsion system are defined in the first stage, followed by adaptation of the vehicle design to the selected solution.

For the baseline configuration with a design speed of 160 km/h, the total costs amounted to PLN 35.5 million for the EMU, PLN 41.5 million for the diesel-electric variant, PLN 43.7 million for the BEMU, and PLN 47.6 million for the FCEMU. The analysis was subsequently extended to design speeds of 140 and 180 km/h. Within the analysed range, increasing the design speed from 140 to 180 km/h resulted in an increase in total costs of 6.5% for the EMU, 14.6% for the diesel-electric variant, 19.3% for the BEMU, and 30.9% for the FCEMU. The results therefore demonstrated that, as design speed increases, the sensitivity of total costs to the propulsion technology applied also increases. Quantitative indicators were used to assess the identified relationships in terms of the level, structure, and dynamics of cost changes.

The developed tool was subjected to structural, functional, algorithmic, and process verification. The verification covered, among other aspects, the completeness and unambiguous definition of parameters, the correctness of the relationships between them, the consistency of input data, the operation of decision rules, and the alignment of the configuration process with the actual bid preparation process. The application of verification criteria, decision gates, and corrective loops enabled technically or formally inconsistent configurations to be identified and confirmed the correctness of the adopted structure and operating logic of the developed tool.

The outcome of the research is an original rail vehicle parameter selection method that has been developed, verified, and implemented in an industrial enterprise to support vehicle configuration at the bidding stage. The open structure of the solution allows the database to be further expanded as subsequent projects are implemented and new information becomes available. The scientific contribution of the dissertation includes the formalisation of the rail vehicle configuration process at the bidding stage, the development of a method for integrating data and interrelationships between parameters, the aggregation of costs within the structure of construction groups, and the use of indicators enabling a quantitative assessment of the influence of technical parameters and propulsion technology on vehicle configuration. The research demonstrated that the developed methodology enables the configuration process to be carried out in a coherent, repeatable, and verifiable manner and makes it possible to assess the impact of selected configuration decisions on vehicle design and the associated costs.