

prof. dr hab. inż. Andrzej Chudzikiewicz
Politechnika Warszawska
Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu
dr hab. inż. Anna Stelmach, prof. PW
prof. dr hab. inż. Wojciech Wawrzyński
Politechnika Warszawska

Innovative solutions in the scope of railway rolling stock in research projects

Innowacyjne rozwiązania w zakresie taboru szynowego w projektach badawczych

*In Poland, the basic document introducing, in a formal way, the concept of innovation into the economic cycle was the **Operational Program Innovative Economy 2007-2013 (OP IE)** - a government document adopted by the Council of Ministers on 19 December 2006. This document described the state of the Polish economy and the state of Polish science in terms of innovation and competitiveness. As usual in such cases, the administrative structures were initially developed by introducing the concepts such as: Managing Institution, Intermediate Institutions and Implementing Institutions, and a large-scale information campaign was started as if the projects in Poland had not been implemented so far, which had not been completed with implementation in practice of a new or significantly improved product, service or process. The paper will present some projects carried out at the Faculty of Transport of the Warsaw University of Technology before 2007., that is before the OP IE, which projects can be included in the innovative projects according to the adopted definition.*

*W Polsce podstawowym dokumentem wprowadzającym, w sposób formalny, pojęcie innowacyjności do obiegu gospodarczego był **Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka 2007-2013 (PO IG)** – rządowy dokument przyjęty przez Radę Ministrów 19 grudnia 2006 roku. Dokument ten opisywał stan polskiej gospodarki oraz stan polskiej nauki pod kątem innowacyjności i konkurencyjności. Jak zwykle w takich przypadkach, na początek rozwinięto struktury administracyjne wprowadzając takie pojęcia jak: Instytucja Zarządzająca, Instytucje pośredniczące i Instytucje Wdrażające oraz rozpoczęto szeroko zakrojoną kampanię informacyjną tak, jak gdyby do tej pory w Polsce nie realizowano projektów, które nie zostały zakończone wdrożeniem w praktyce gospodarczej nowego lub znacząco udoskonalonego produktu, usługi lub procesu. W referacie zostaną przedstawione niektóre projekty zrealizowane na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej przed 2007 rokiem, czyli przed uruchomieniem PO IG, które to projekty zgodnie z przyjętą definicją zaliczyć można do projektów innowacyjnych.*

1. Introduction

The concept of innovation (from Latin *innovare* - re-new) a novelty, intentionally introduced change in → **technology**, → **organization**, → **economic activity** or in another sphere of human life) was popularized in the EU countries in the late 90s by the OECD [1] as a new approach to research on the development of new solutions practically in all areas of the economy of a given country, not excluding the areas of social activity.

In the case of the economy, innovation is the ability and motivation of entrepreneurs to carry out the scientific research to improve and develop production, to search for new solutions, ideas and concepts. The innovations in the economy should lead to the creation

1. Wstęp

Pojęcie innowacyjności ((od łac. *innovare* - odnowić) nowość, celowo wprowadzona zmiana w → **technice**, → **organizacji**, → **działalności gospodarczej** lub w innej sferze ludzkiego życia) zostało spopularyzowane w krajach UE pod koniec lat 90 - tych przez OECD [1] jako nowe podejście do badań nad rozwojem nowych rozwiązań praktycznie wszystkich dziedzin gospodarki danego kraju, nie wyłączając obszarów działalności o charakterze społecznym.

W przypadku gospodarki, innowacyjność to zdolność i motywacja przedsiębiorców do prowadzenia badań naukowych polepszających i rozwijających produkcję, do poszukiwania nowych rozwiązań, pomysłów i koncepcji. Innowacje w gospodarce powinny prowadzić

of new products, to improve technology, to increase efficiency and thus to increase the competitiveness of the economy towards other countries. So that it would be, the certain conditions must be met regarding the flow of knowledge and information between the institutions that influence the development of innovation, taking into account the R & D area (Research + Development). These include:

- creating the conditions for the development of research and development of research aimed at innovative solutions
- flow of knowledge about innovative solutions from scientific and research institutions to the economy sector (private and public)
- creating a coherent and politically justified system in the field of diffusion of innovations in the area of the purchase of goods and services.

According to the PRO INNO institution Europe, established by the European Commission to study the development of innovation, Poland in 2007. took 23rd place for 27 EU countries, taking into consideration the innovation of the economy. The coefficient SII (*Summary Innovation Index*) for Poland in 2007. was 0.270 with the EU average of 0.450. In order to improve these indexes according to the EU policy, a number of activities were taken in Poland to improve this situation.

One of these activities was initiation of the Operational Program Innovative Economy 2007-2013 (OP IE). The basic document introducing the program to realization in a formal way was the government document adopted by the Council of Ministers on 19 December 2006. This document described the state of the Polish economy and the state of Polish science in terms of innovation and competitiveness. At the same time, in 2007. the National Center for Research and Development (NCBiR) was established, the Polish executive agency within the meaning of the Act of 27 August 2009 on public finance (O. J. of 2013., item 885, as amended), whose task is realization of tasks in the field of scientific, scientific and technical and innovation policy of the state. NCBiR replaced the Scientific Research Committee (KBN).

do tworzenia nowych produktów, do ulepszania technologii, zwiększenia efektywności i tym samym do zwiększenia konkurencyjności gospodarki wobec innych krajów. Aby tak było, muszą być spełnione pewne warunki dotyczące przepływu wiedzy i informacji pomiędzy instytucjami oddziaływującymi na rozwój innowacji, mając na uwadze obszar B+R (Badania + Rozwój). Do nich można zaliczyć:

- stworzenie warunków do rozwoju badań oraz rozwój badań ukierunkowanych na rozwiązania innowacyjne
- przepływ wiedzy o rozwiązaniach innowacyjnych z instytucji naukowo-badawczych do sektora gospodarki (prywatnego i publicznego)
- stworzenie spójnego i politycznie uzasadnionego systemu w zakresie dyfuzji innowacji w obszarze zakupu dóbr i usług.

Według instytucji PRO INNO Europe, założonej przez Komisję Europejską do badania rozwoju innowacyjności, Polska w 2007 zajmowała 23 miejsce na 27 krajów Unii, mając na uwadze innowacyjność gospodarki. Współczynnik SII (*Summary Innovation Index*) dla Polski wynosił w 2007 roku 0,270 przy średniej unijnej 0,450. Aby, zgodnie z polityką UE, poprawić te wskaźniki, podjęto w Polsce szereg działań zmierzających do poprawy tego stanu.

Jednym z tych działań było uruchomienie Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007-2013 (PO IG). Podstawowym dokumentem wprowadzającym, w sposób formalny do realizacji ten program, był rządowy dokument przyjęty przez Radę Ministrów 19 grudnia 2006 roku. Dokument ten opisywał stan polskiej gospodarki oraz stan polskiej nauki pod kątem innowacyjności i konkurencyjności. Jednocześnie w 2007 roku powołano Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, polską agencję wykonawczą w rozumieniu ustawy z dnia 27 sierpnia 2009 r. o finansach publicznych (Dz.U. z 2013 r. poz. 885, ze zm.), mającą za zadanie realizację zadań z zakresu polityki naukowej, naukowo-technicznej i innowacyjnej państwa. NCBiR zastąpił Komitet Badań Naukowych (KBN).

Jak wygląda pozycja Polski, po 10 latach od momentu uruchomienia PO IG, mając na uwadze innowacyjność polskiej gospodarki?

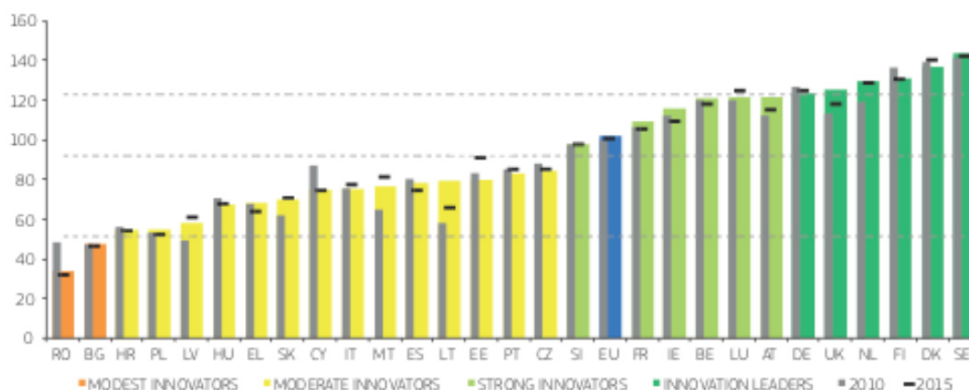


Fig.1. Innovation index of the individual EU countries (state according to data for 2017.) [4]

Rys.1. Wskaźniki innowacyjności poszczególnych krajów UE (stan wg danych za 2017 r) [4].

What is the position of Poland, 10 years after the launch of the OP IE, taking into consideration the innovation of the Polish economy?

Using the data contained in the annual EC publication [4], Figure 1 presents the value of the global innovation index for individual EU countries, calculated according to the adopted algorithm taking into account 27 parameters characterizing the achievements of these countries in the individual areas, adopted by the EU as those that characterize the innovation [4].

Poland's position is the 25th place for 28 EU countries included in this ranking. In relation to 2015, this index hasn't practically changed, and in relation to 2010, its value increased by 2.0%. In the ranking our neighbors are ahead of us, with whom we were admitted to the EU together. It should be noted, however, that according to the conducting ranking, taking into account the whole problem of innovation of the economy, we are classified as a country with an average level of innovation development.

The concept of innovation and the philosophy of innovative activities in the economy are no novelties that appeared at the end of the 20th century. As it was mentioned earlier, the word innovation comes from the Latin word *innovatio* and, like many other concepts known in the ancient times, it was not widely used, which does not mean that actions in science as well as in technology and economy, characterized by innovation features were not carried out.

Referring to the pre-2007. period it should be noted that the then existing structure of financing of research projects in the form of KBN allowed and enabled the realization of innovative projects with the innovative character, as evidenced by the examples shown in the next chapter. For the obvious reasons, it is impossible to refer to the entire transport area, therefore the presented considerations will refer to the examples of projects concerning the railway vehicles, realized at the Faculty of Transport of Warsaw University of Technology, before and after 2007.

2. Research process at the stage of designing/modernization of rail vehicle

The basic goals which should be achieved in the design process in the case of rail vehicles are:

- achieving a large functionality of the future vehicle
- reduction of construction, serial production and later operation costs in comparison to the current conditions, and
- increasing comfort while increasing driving safety

The user and operator are also interested in such features as the emitted noise, vibrations and durability of the vehicle, associated with such an operational feature as availability. Using the traditional methods and tools in the design process of the construction prototype, it

Korzystając z danych zawartych w corocznej publikacji KE [4] na rys. 1 przedstawiono wartości globalnego wskaźnika innowacyjności dla poszczególnych państw UE, obliczone wg przyjętego algorytmu uwzględniającego 27 parametrów charakteryzujących osiągnięcia tych krajów w poszczególnych obszarach, przyjętych przez UE jako te, które charakteryzują innowacyjność [4].

Pozycja Polski to 25 miejsce na 28 krajów UE uwzględnionych w tym rankingu. W stosunku do 2015 roku wskaźnik ten praktycznie nie uległ zmianie, a w stosunku do 2010 roku jego wartość zwiększyła się o 2.0 %. W rankingu wyprzedzają nas nasi sąsiedzi, z którymi razem byliśmy przyjmowani do UE. Należy jednak zaznaczyć, że wg prowadzonego rankingu, uwzględniającego całokształt problematyki dotyczącej innowacyjności gospodarki, jesteśmy klasyfikowani jako kraj o średnim poziomie rozwoju innowacyjności. Pojęcie innowacyjności i filozofia dotycząca działań innowacyjnych w gospodarce nie są żadnymi nowościami, które pojawiły się pod koniec XX wieku. Jak wspomniano wcześniej, słowo innowacja pochodzi od słowa łacińskiego *innovatio* i tak jak wiele innych pojęć, znanych w dawnych czasach, nie było w powszechnym użyciu, co nie oznacza że działania zarówno w nauce jak i w technice i gospodarce, charakteryzujące się cechami innowacyjności, nie były prowadzone.

Odnosząc się do okresu sprzed 2007 roku, należy stwierdzić, że istniejąca wówczas struktura finansowania projektów badawczych w postaci KBN pozwalała i umożliwiała realizację projektów o charakterze innowacyjnym, czego dowodem będą pokazane w następnym rozdziale przykłady. Z przyczyn oczywistych nie sposób jest, aby odnieść się do całego obszaru transportu, dlatego też przedstawione rozważania dotyczyć będą przykładów projektów dotyczących pojazdów szynowych, zrealizowanych na Wydziale Transportu PW przed, jak i po 2007 roku.

2. Proces badawczy na etapie projektowania/modernizacji pojazdu szynowego

Podstawowymi celami jakie należy osiągnąć w procesie projektowania, w przypadku pojazdów szynowych to:

- osiągnięcie dużej funkcjonalności przyszłego pojazdu
- obniżenie kosztów budowy, produkcji seryjnej i późniejszej eksploatacji pojazdu w porównaniu do aktualnych warunków, oraz
- zwiększenie komfortu przy jednoczesnym zwiększeniu bezpieczeństwa jazdy.

Użytkownika i operatora interesują ponadto takie cechy jak emitowany hałas, drgania oraz trwałość pojazdu, związana z taką cechą eksploatacyjną jaką jest

would be difficult to meet the above-mentioned goals and expectations of the user, in addition taking into consideration time of the project implementation. That is why it became essential to use the new approaches in this type of projects with using the computer techniques and tools that allow to use the modeling methods and computer simulation techniques.

Figure 2 presents a general procedure showing the use of computer simulation methods in the process of construction works on a rail vehicle prototype. The rail vehicle is a construction working under the specific operating conditions and therefore the basic matter is to formulate the guidelines for the simulation process, taking into account the technical assumptions, working conditions and requirements works of the future user.

During carrying out the construction works of the vehicle using CAD/CAE, simulation tests and analyzes are carried out, whose goal is determination the impact of static and dynamic loads on the behavior of the vehicle structure. These tests are performed on discrete or continuous models. The procedure of research at this stage was presented in [6, 7].

Due to the static loads, the elements of the vehicle construction are checked taking into account the maximum loads and failures that may occur during operation, e.g. derailment and lifting of the vehicle. However, the dynamic loads, that often exceed the static values of strength, lead to the fatigue wear of the construction and through the accumulation of fatigue stress are the reason of cracks occurring and as a result of the destruction of the construction. The discrete model, describing the dynamics of motion, allows to obtain the maximum values of forces and displacements that will occur in the modeled elements of vehicle during simulation of motion in the real conditions.

dyspozycyjność. Stosując tradycyjne metody i narzędzia w procesie projektowania prototypu konstrukcji trudno byłoby spełnić wymienione wyżej cele i oczekiwania użytkownika, mając dodatkowo na uwadze czas realizacji projektu. Dlatego też nieodzowne stało się stosowanie w tego typu projektach nowych podejść z wykorzystaniem technik i narzędzi komputerowych pozwalających na wykorzystanie metod modelowania i technik symulacji komputerowych.

Na rysunku 2 przedstawiono ogólną procedurę pokazującą wykorzystanie metod symulacji komputerowej w procesie prac konstrukcyjnych nad prototypem pojazdu szynowego. Pojazd szynowy jest konstrukcją pracującą w specyficznych warunkach eksploatacyjnych i dlatego też podstawową sprawą jest sformułowanie wytycznych dla procesu symulacji mając na uwadze założenia techniczne, warunki pracy oraz wymagania przyszłego użytkownika.

Podczas prowadzenia prac konstrukcyjnych pojazdu z wykorzystaniem techniki CAD/CAE, prowadzone są metodami symulacyjnymi badania i analizy mające na celu określenie wpływu obciążeń statycznych i dynamicznych na zachowanie się konstrukcji pojazdu. Badania te wykonuje się na modelach dyskretnych lub ciągłych. Procedura prowadzonych na tym etapie badań została przedstawiona w pracach [6, 7].

Ze względu na obciążenia statyczne, elementy konstrukcji pojazdu sprawdzane są mając na uwadze maksymalne obciążenia oraz mogące zdarzyć się w czasie eksploatacji awarie np. wykolejenie i podnoszenie pojazdu. Natomiast obciążenia dynamiczne, przekraczające często statyczne wartości wytrzymałości prowadzą do zmęczeniowego zużycia konstrukcji i poprzez kumulację naprężeń zmęczeniowych są powodem powstawania pęknięć i w efekcie zniszczenia

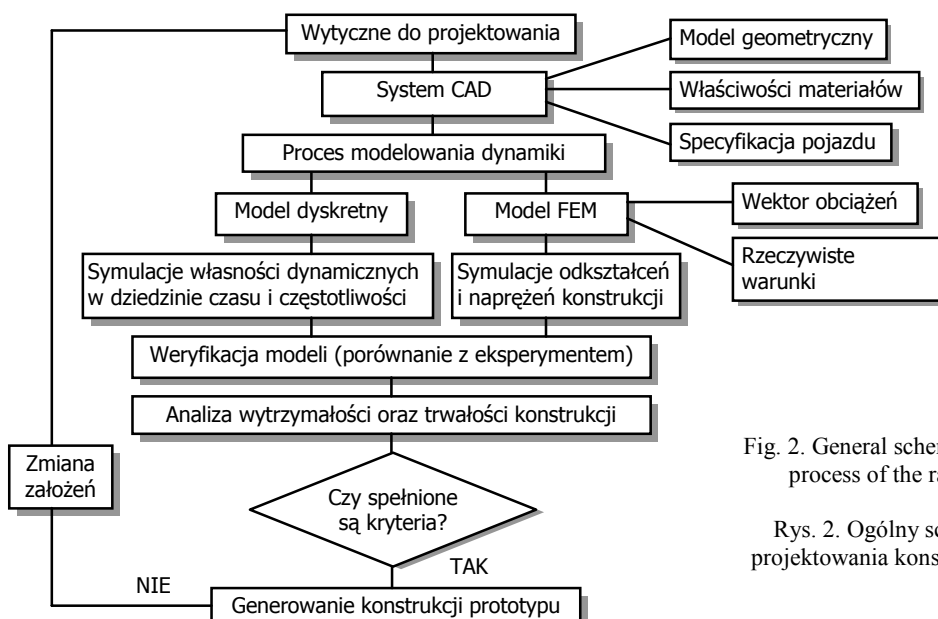


Fig. 2. General scheme of research in the design process of the rail vehicle construction

Rys. 2. Ogólny schemat badań w procesie projektowania konstrukcji pojazdu szynowego

The essential matter is including in this model the contact zone between the wheel and rail and the geometry of the track represented by the actual geometric irregularities of the track. The finite element model is used to assess the strength, safety and durability of the construction. From the computer simulations carried out on this model, the values of deformations and stresses are determined and the critical places of the construction are located. This stage of research enables early detection of constructional errors and their improvement without the necessity of the prototype tests, which significantly reduces the costs of the prototype construction process.

Carrying out the computer simulations, in order to verify the constructional and technological assumptions, the following computer packages are used at the individual stages:

- for simulation of motion dynamics and vehicle dynamics analysis - DADS, Matlab/Symulink system
- for design support CAD - CATIA, AutoCAD, Autodesk Inventor, Solidworks 3D Mechanical
- for analysis of static and dynamic properties - MSC PATRAN/NASTRAN, ADAMS/Rail
- for noise analysis - SYSNOIS system.

The exemplary results of simulation analyses carried out at the stage of vehicle construction will be presented in the next chapter of the article.

In the case of modernization, which generally the aim is creation, on the basis of an already existing product having the technical parameters corresponding to the products produced by the competitors, a new product of the same kind and type, but morally modernized, the research process proceeds as shown in Figure 3.

The basic goals that should be achieved with modernization in the case of rail vehicles are: improvement of functionality, reduction of operating costs and increasing the comfort while minimizing the cost of modernization. The user is also interested in such features as the emitted noise, vibrations and vehicle durability connected with such an operational feature as availability. Using the traditional methods and tools in the process of designing of a modernized construction prototype, it would be difficult to meet the above mentioned goals and expectations of the user, in addition taking into account the time of project realization. Therefore, it has become essential to use in this type of projects the new approaches with using the computer techniques and tools [3] allowing to use the modeling methods and simulation techniques that allow at the design stage to adapt the vehicle to the existing conditions in place of its operation. These conditions include, among others, the track quality, their geometry, service conditions, etc.

In addition, in the case of modernization, its subject is an already existing and operating rail vehicle, which must meet the specific technical conditions to carry

konstrukcji. Model dyskretny, opisujący dynamikę ruchu, pozwala na otrzymanie maksymalnych wartości sił i przemieszczeń, które wystąpią w zamodelowanych elementach pojazdu w czasie symulacji ruchu w rzeczywistych warunkach. Istotną sprawą jest uwzględnienie w tym modelu strefy kontaktu koła z szyną oraz geometrii toru odwzorowywanej przez rzeczywiste geometryczne nierówności toru. Do oceny wytrzymałości, bezpieczeństwa oraz trwałości konstrukcji wykorzystywany jest model elementów skończonych. Z symulacji komputerowych wykonanych na tym modelu wyznacza się wartości odkształceń i naprężeń oraz lokalizuje miejsca krytyczne konstrukcji. Ten etap badań umożliwia wczesne wykrycie konstrukcyjnych błędów oraz ich poprawę bez konieczności badań prototypu, co znacznie zmniejsza koszty procesu budowy prototypu.

Przeprowadzając symulacje komputerowe, w celu weryfikacji założeń konstrukcyjno-technologicznych, wykorzystywane są na poszczególnych etapach następujące pakiety komputerowe:

- do symulacji dynamiki ruchu i analizy dynamiki pojazdu - system DADS, Matlab/Symulink
- do wspomaganie projektowania CAD - CATIA, AutoCAD, Autodesk Inventor, Solidworks 3D Mechanical
- do analizy własności statycznych i dynamicznych - MSC PATRAN/NASTRAN, ADAMS/Rail
- do analizy hałasu - system SYSNOIS.

Przykładowe wyniki analiz symulacyjnych prowadzonych na etapie konstruowania pojazdu zostaną przedstawione w następnym rozdziale artykułu.

W przypadku modernizacji, której ogólnie celem jest stworzenie, na bazie już istniejącego produktu, posiadającego parametry techniczne odpowiadające produktom wytwarzanym przez konkurencję, nowego produktu tego samego rodzaju i typu, ale moralnie odnowionego, proces badawczy przebiega, tak jak to pokazano na rys. 3.

Podstawowymi celami, jakie należy osiągnąć poprzez modernizację w przypadku pojazdów szynowych to: poprawa funkcjonalności, obniżenie kosztów eksploatacji oraz zwiększenie komfortu przy jednoczesnym zminimalizowanym koszcie wykonania modernizacji. Użytkownika interesują ponadto takie cechy jak emitowany hałas, drgania oraz trwałość pojazdu związana z taką cechą eksploatacyjną jak dyspozycyjność. Stosując tradycyjne metody i narzędzia w procesie projektowania prototypu zmodernizowanej konstrukcji trudno byłoby spełnić wymienione wyżej cele i oczekiwania użytkownika, mając dodatkowo na uwadze czas realizacji projektu. Dlatego też nieodzowne stało się stosowanie w tego typu projektach nowych podejść z wykorzystaniem technik i narzędzi komputerowych [3] pozwalających na wykorzystanie metod modelowania i technik symulacyjnych pozwalających na etapie projektowania dostosowania pojazdu do istnieją-

out the modernization. The correct selection of such a vehicle requires to carry out the preliminary tests to determine the state and extent of wear as a result of exploitation. The results of these tests decide on the choice of the object for modernization and later they determine the scope of modernization works.

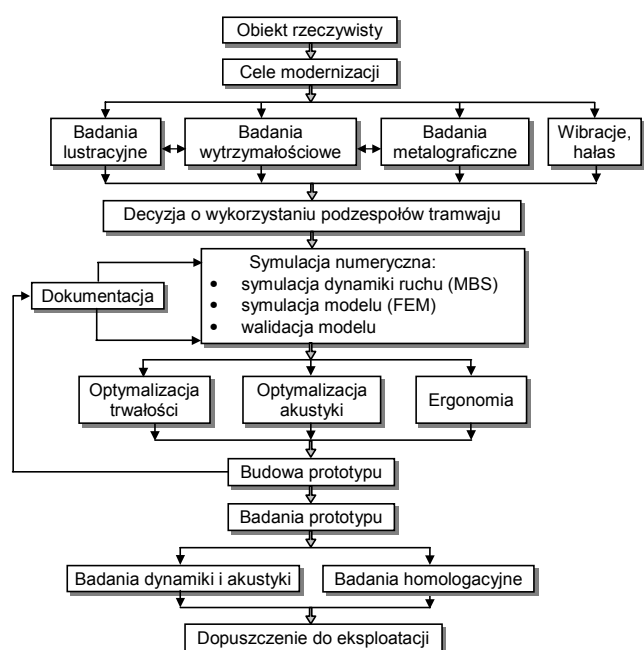


Fig. 3. The test process in the case of modification and modernization of the vehicle construction

Rys. 3. Proces badań w przypadku modyfikacji i modernizacji konstrukcji pojazdu.

3. Examples of realized projects

In 2001 the realization of *Modernization of the 105N tram as an element of the tram fleet renewal strategy* project was initiated [5]. The task of the project was the full modernization of the tram of 805Na type, for which the general goals were:

- increasing the comfort and safety of passengers and driver,
- reduction of operating and servicing costs (LCC costs)
- improvement of external and internal aesthetics
- increasing the durability of the vehicle
- lowering the level of emitted noise.

The scope of work included the following elements:

- the frame of the body was cleaned, strengthened and covered with appropriate protective substances
- a new body was made in the "inter-locking" technology with a newly designed interiors, air conditioning system and a new driver's cab
- a new front of the wagon was designed and made with a new bumper (energy absorber)
- the bogies were redesigned and an additional degree of springing was added (rubber-metal elements of the MEGI type were used), the

cych warunków w miejscu jego eksploatacji. Warunki te, to między innymi, jakość torów, ich geometria, warunki serwisowania, itp.

Dodatkowo, w przypadku modernizacji, jej przedmiotem jest istniejący już i będący w eksploatacji pojazd szynowy, który musi spełniać określone warunki techniczne, aby modernizacja mogła być na nim wykonana. Prawidłowy wybór takiego pojazdu wymaga przeprowadzenia wstępnych badań, których celem jest określenie stanu i stopnia zużycia w wyniku eksploatacji. Wyniki tych badań decydują o wyborze obiektu do modernizacji i wyznaczają później zakres prac modernizacyjnych.

3. Przykłady zrealizowanych projektów

W 2001 roku rozpoczęto realizację projektu *Modernizacja tramwaju 105N jako element strategii odnowy taboru tramwajowego* [5]. Zadaniem projektu była pełna modernizacja tramwaju typu 805Na, dla której ogólnymi celami było:

- zwiększenie komfortu i bezpieczeństwa jazdy pasażerów oraz motorniczego,
- obniżenie kosztów eksploatacji i serwisowania (kosztów LCC)
- poprawa estetyki zewnętrznej i wewnętrznej
- zwiększenie trwałości pojazdu
- obniżenie poziomu emitowanego hałasu.

Zakres prac obejmował następujące elementy:

- rama pudła została oczyszczona, wzmocniona i pokryta odpowiednimi substancjami zabezpieczającymi
- wykonano nowe pudło, w technologii „inter-locking”, z nowo zaprojektowanym wystrojem wnętrza, układem klimatyzacji oraz nową kabiną motorniczego
- zaprojektowano i wykonano nowe czoło wagonu z nowym zderzakiem (pochłaniacz energii)
- wózki zostały przeprojektowane oraz dodany został dodatkowy stopień odsprężynowania (zastosowano elementy gumowo-metalowe typu MEGI), układ hamulca został zmodernizowany
- układ napędowy i sterowania uległy pełnej modernizacji (zachowane zostały jedynie silniki, został zastosowany rozruch impulsowy)
- zostały zamontowane dodatkowe układy (układ informacji pasażerskiej, układ diagnostyki, czarna skrzynka).

Była to klasyczna innowacja produktowa. Badania i prace badawczo-rozwojowe podzielono na:

- badania przed modernizacją
- prace rozwojowe prowadzone w trakcie modernizacji
- badania po wykonaniu prototypu.

Projekt został zakończony w 2003 roku [3], a jego efekt końcowy w porównaniu z pojazdem przed modernizacją pokazano na rys. 4.

- brake system was modernized
- the drive and control systems were fully modernized (only the engines were retained, an impulse start was used)
- additional systems were installed (passenger information system, diagnostics system, black box).

It was the classic product innovation. The tests and research and development works were divided into:

- tests before the modernization
- development works carried out during the modernization
- tests after the prototype was made.

The project was completed in 2003. [3], and its final effect in comparison to the vehicle before modernization is shown in Figure 4.

The experiences obtained during realization of this project were used both by the Contractor (PESA Bydgoszcz SA) and the Implementer (Faculty of Transport) in the further works on the development of construction and production of modern tram vehicles and in the development of methods and research tools in the area of rail vehicles.

Next example of project with an innovative character was the project: *Specialized 8-axle self-discharging coal wagon*, realized in 2003-2005.

As part of the project it was performed:

- technical and economic analyzes related to the selection of the running gear system and body construction
- simulation tests of vehicle dynamics
- constructional documentation
- a prototype was built
- so-called approval tests were carried out
- necessary certificates of approval for operation on the PKP network were obtained.

As a result of the conducted analyzes for the designed wagon, regarding the running gear system, it was selected the guiding based on eight-axle wheelsets and innovative suspension of 26RS type. The research and development works covered by the planned financing of the State Committee for Scientific Research concerned: constructional analyzes related to the choice of materials, simulation analyzed related to the selection of the running gear system, homologation analyzes of vehicle, supervised operation as well as the detailed analyzes in the range of LCC costs. The prototype composition was subjected to tests according to a specially designed trials and tests program. It included: applicable national and international requirements, UIC leaflets, ERRI reports, PKP regulations, European and national standards. The built prototype is shown in Fig. 5.

However, this project did not finish with full success because PKP Cargo did not decide to place an order for these wagons, but the 1-axle bogie constructed for this wagon by R. Suwalski turned out to be innovative

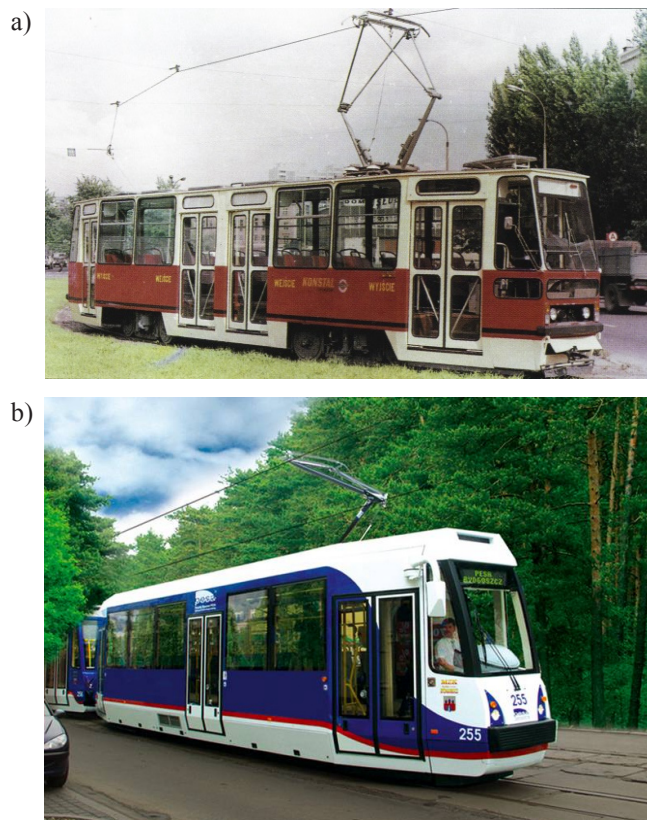


Fig. 4. Tram of 805Na type before modification a) and after modification b)

Rys. 4. Tramwaj typu 805Na przed modyfikacją a) i po modyfikacji b).

Uzyskane podczas realizacji tego projektu doświadczenia zostały wykorzystane zarówno przez Wykonawcę (PESA Bydgoszcz SA) jak i Realizatora (Wydział Transportu) w dalszych pracach nad rozwojem konstrukcji i produkcji nowoczesnych pojazdów tramwajowych oraz w zakresie rozwoju metod i narzędzi badawczych w obszarze pojazdy szynowe. Następnym przykładem projektu o charakterze innowacyjnym był projekt: *Specjalizowana węglarka ośmioosiowa samowyladowcza*, zrealizowany w latach 2003 – 2005.

W ramach realizacji projektu wykonano:

- analizy techniczne i ekonomiczne związane z wyborem układu jezdny i konstrukcji nadwozia
- badania symulacyjne dynamiki pojazdu
- dokumentację konstrukcyjną
- zbudowano prototyp
- przeprowadzono badania tzw. homologacyjne,
- uzyskano niezbędne świadectwa homologacyjne do eksploatacji na sieci PKP.

W wyniku przeprowadzonych analiz wybrano dla projektowanego wagonu, odnośnie układu jezdny, prowadzenie oparte na zestawach kołowych ośmioosiowych i nowatorskim sprężynowaniu typu 26RS. Objęte planowanym dofinansowaniem KBN prace badawczo-rozwojowe dotyczyły: analiz konstrukcyjnych związanych z wyborem materiałów, symulacyj-

solution that found application in later constructional solutions of rail buses produced by the Polish producers.



Fig. 5. Specialized 8-axle self-discharging coal wagon.
Rys. 5. Specjalizowana samowyladowcza węglarka 8-osiowa.

Another example of the innovative project for those times was the target project of *A new generation four-section electric traction unit for servicing the inter-regional transport* realized in 2005-2007 in the system of Rail Vehicles PESA as a leader (then the Client Party) and the Faculty of Transport of Warsaw University of Technology as partner (then the Contractor). The project was financed by the State Committee for Scientific Research (KBN). The project results were presented, among others at the conference [8].

The effect of the realization of the topic was the introduction of a four-section electric traction unit for the passenger inter-regional transport. It is a vehicle with technical parameters that do not differ from the technical parameters of vehicles of the same type produced by such concerns as Siemens, Bombardier or Alstom.

The vehicle can carry 250 passengers with an operating speed of 140 km/h, with a maximum design speed of 160 km/h. The profile of the vehicle (Fig. 6) has an aerodynamic shape obtained as a result of using the modern computer techniques in the design, constructional and building processes of the vehicle.

It is a vehicle of a friendly and safe series for the passenger. It was equipped with:

- passenger information system (visual and with sound system)
- monitoring system (cameras allowing observation and recording of events inside of the vehicle)
- toilet system in the closed system
- heating and ventilation system
- special, marked off the space for luggage with large dimensions.

In the design and construction process it was also paid attention to such parameters as:

- noise level
- vibration comfort index
- electromagnetic field density
- heating comfort.

nych związanych z wyborem układu jezdnego, homologacyjnych pojazdu, eksploatacji nadzorowanej, a także szczegółowych analiz w zakresie kosztów LCC. Prototypowy skład poddany został badaniom wg specjalnie opracowanego programu prób i badań. Uwzględniał on: obowiązujące wymagania krajowe i międzynarodowe, karty UIC, raporty ERRI, przepisy PKP, normy europejskie i krajowe. Zbudowany prototyp przedstawia rys. 5.

Projekt ten nie zakończył się jednak pełnym sukcesem, bowiem spółka PKP Cargo nie zdecydowała się złożyć zamówienia na te wagony, jednak skonstruowany dla tego wagonu przez R. Suwalskiego jednoosiowy wózek, okazał się rozwiązaniem nowatorskim, które znalazło zastosowanie w późniejszych rozwiązaniach konstrukcyjnych autobusów szynowych produkowanych przez polskich producentów.

Innym przykładem projektu innowacyjnego jak na owe czasy, był projekt celowy *Czterowagonowy elektryczny zespół trakcyjny nowej generacji do obsługi przewozów międzyregionalnych* realizowany w latach 2005 – 2007 w układzie Pojazdy Szynowe PESA jako lider (wówczas Zleceniodawca) i Wydział Transportu PW jako partner (wówczas Wykonawca). Projekt był finansowany przez KBN. Wyniki projektu były prezentowane, m. in. na konferencji [8].

Efektom realizacji tematu było wprowadzenie do produkcji czterowagonowego elektrycznego zespołu trakcyjnego do pasażerskich przewozów międzyregionalnych. Jest to pojazd o parametrach technicznych nie odbiegających od parametrów technicznych pojazdów tego samego typu produkowanych przez takie koncerny jak Simens, Bombardier czy Alstom.

Pojazd może przewozić 250 pasażerów z prędkością eksploatacyjną 140 km/godz., przy maksymalnej prędkości konstrukcyjnej 160 km/godz. Sylwetka pojazdu (rys. 6) posiada aerodynamiczny kształt, uzyskany w wyniku zastosowania nowoczesnych technik komputerowych w procesie projektowania, konstruowania i budowy pojazdu.

Jest to pojazd z serii przyjaznych i bezpiecznych dla pasażera. Wyposażony został w:

- system informacji dla pasażerów (wizualny i z nagłośnieniem)
- system monitoringu (kamery pozwalające na obserwację i rejestrację zdarzeń wewnątrz pojazdu)
- system toalet w układzie zamkniętym
- system ogrzewania i wentylacji
- specjalne, wydzielone miejsca na bagaż o dużych gabarytach.

W procesie projektowania i konstruowania zwrócono również uwagę na takie parametry jak:

- poziom hałasu
- wskaźnik komfortu wibracyjnego
- gęstość pola elektromagnetycznego
- komfort cieplny.

The particular attention was paid to the driver's cab trying to create the ergonomic and friendly conditions of work for the driver. The control desk was designed with using a computer package allowing to simulate the work of the driver. The cab is air-conditioned. Constructionally its front part, the frame on which it was built, has an additional crumple zone allowing to absorb the additional energy that can be released in the case of a collision.

The vehicle was exhibited at the Innotrans 2006 fair in Berlin, where it enjoyed a great interest of visitors. The ED74 serial unit was presented at TRAKO 2007., where it received rewards, including the Medal of the President of the Association of Polish Electrical Engineers. The consequence of this project realization was gaining by PESA Bydgoszcz SA in 2006. the order from PKP Regional Transport for 11 pieces of four-section electric traction units. The additional 3 pieces of four-section EMU were ordered in 2008. The value of the contract is PLN 182 250 000.



Fig. 6. Electric traction unit ED 74 at Żmigród station during tests
Rys. 6. Elektryczny zespół trakcyjny ED 74 na stacji Żmigród w trakcie badań.

The above presented realizations of projects are only exemplary, performed and implemented projects realized as part of the funding the research and development works by KBN. Undoubtedly, these were the innovative projects. As part of realization of these works, the doctoral, postdoctoral theses were made parallel and the contractors of these works collected the achievements allowing to run the procedures regarding academic and titles degrees. The similar projects were also carried out in other scientific centers at that time. The methods and research tools developed at that time are currently used and they have lost nothing of scientific value [9, 10].

4. Conclusions

The presented research procedures in the scope of research conducted at the stage of works on the construction of a new vehicle as well as in the case of modernization of the existing already construction turned out to be an effective research tool, as it was shown by the realized projects in the presented examples. The supervised operation, which lasted more than

Szczególną uwagę zwrócono na kabinę maszynisty starając się stworzyć ergonomiczne i przyjazne warunki pracy dla maszynisty. Pulpit sterowniczy został zaprojektowany z użyciem pakietu komputerowego pozwalającego na symulowanie pracy maszynisty. Kabina jest klimatyzowana. Konstrukcyjnie jej przednia część, rama na której została posadowiona, posiada dodatkową strefę zgniotu pozwalającą na pochłonięcie dodatkowej energii, jaka może wyzwolić się w przypadku zderzenia.

Pojazd wystawiony był na targach Innotrans 2006 w Berlinie, gdzie cieszył się dużym zainteresowaniem zwiedzających. Jednostka seryjna ED74 zaprezentowana została na targach TRAKO 2007, gdzie uzyskała wyróżnienia, w tym Medal Prezesa Stowarzyszenia Elektryków Polskich. Następstwem zrealizowania tego projektu, było pozyskanie przez PESA Bydgoszcz SA w 2006 roku zamówienia od PKP Przewozy Regionalne na 11 sztuk czterowagonowych elektrycznych zespołów trakcyjnych. Dodatkowe 3 sztuki czteroczłonowych e.z.t. zamówione zostały w 2008 roku. Wartość kontraktu to 182 250 000 zł.

Przedstawione wyżej realizacje projektów są tylko przykładowymi, wykonanymi i wdrożonymi projektami zrealizowanymi w ramach finansowania przez KBN prac o charakterze badawczo-rozwojowym. Niewątpliwie były to projekty innowacyjne. W ramach realizacji tych prac, równoległe powstawały doktoraty, prace habilitacyjne i wykonawcy tych prac zbierali dorobek pozwalający na uruchamianie procedur odnośnie stopni i tytułów naukowych. Podobne projekty były w tym czasie realizowane również w innych ośrodkach naukowych. Opracowane wówczas metody i narzędzia badawcze są wykorzystywane obecnie i nie straciły nic na wartości naukowej [9, 10].

4. Wnioski

Przedstawione procedury badawcze w zakresie badań prowadzonych na etapie prac nad konstrukcją nowego pojazdu jak i w przypadku modernizacji istniejącej już konstrukcji, okazały się skutecznym narzędziem badawczym, jak pokazały zrealizowane projekty na przedstawionych przykładach. Trwająca ponad rok eksploatacja nadzorowana, a następnie eksploatacja w normalnych warunkach zmodernizowanej jednostki potwierdziła skuteczność zastosowanej metodologii. Również w przypadku projektu nad nowym pojazdem, elementy tej metodologii wykorzystane w pracach projektowych pokazały, że zbudowany pojazd spełnił warunki potrzebne do uzyskania dopuszczenia do eksploatacji. Mimo, że prace te były prowadzone w okresie, kiedy to termin *innowacja produktowa* nie był w powszechnym użyciu, to zaproponowane wtedy procedury okazały się w pełni zgodne i kompatybilne z przyjętymi później rozwiązaniami organizacyjnymi, które mają zapewnić innowacyjność realizowanych projektów.

a year, followed by operation under the normal conditions of the modernized unit confirmed the effectiveness of the used methodology. As well as in the case of a project on a new vehicle, the elements of this methodology used in the design works showed that the built vehicle met the conditions required to obtain the authorization for placing in service. Although these works were carried out in the period when the term *product innovation* was not widely used, the proposed procedures at that time turned out to be fully in accordance and compatible with the adopted later organizational solutions which are to provide the innovation of realized projects.

5. *Modernization of the 105N/805N tram as part of the strategy of renovating the trams. Objective Project of The Committee of Scientific Research (KBN) no. 10 T12 025 2000C/5298. PESA Bydgoszcz – The Faculty of Transport, Warsaw University of Technology. Warsaw 2001-2003*
6. Uhl T., Chudzikiewicz A., Lasiewicz B.: *Zastosowanie metody RSM w optymalizacji konstrukcji pojazdów szynowych. Międzynarodowa Konferencja Naukowa TRANSPORT XXI WIEKU. 19-21.09.2001. Warszawa. Mat. Konf. pp.128-136*
7. A. Chudzikiewicz, T. Uhl: *Problems of safety and durability of rail vehicle in a process of construction modernization. 6th International Conference on Railway Bogies and Running Gears. 13 – 16 September 2004. Budapest, Hungary*
8. A. Chudzikiewicz: *Badania Symulacyjne w Procesie Budowy Prototypu Pojazdu Szynowego. XIII Warsztaty Naukowe PTSK. Symulacja w Badaniach i Rozwoju. 31.08-2.09.2006. Kazimierz Dolny*
9. A. Chudzikiewicz: *Simulation of Rail Vehicle Dynamics in MATLAB Environment. Vehicle System Dynamics. 33 (2000), pp.107-119*
10. A. Chudzikiewicz, A. Stelmach: *Acceleration signals in the process of monitoring the rail vehicle and track. 20th International Congress on Sound and Vibration. Bangkok. 7- 11 July 2013. Proceedings of the ICSV20, International Journal of Acoustics and Vibration. ISBN: 978-616-551-682-2, 2013, pp1-8, CD*

BIBLIOGRAPHY / BIBLIOGRAFIA

1. <http://www.oecd.org/science/innovation/sciencetechnologyandindustry/2101733.pdf>.
2. *Ministerstwo Rozwoju Regionalnego. Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka 2007-2013. Warszawa 1 października 2007*
3. A. Chudzikiewicz: *Modernizacja tramwaju typu 805Na. Międzynarodowa Konferencja Nukowo-Techniczna "Zintegrowany System Miejskiego Transportu Szynowego. Organizatorzy: SITK, SEP, PWr. Wrocław 24 - 25.04.2003. Materiały Konf. pp.25-30*
4. *European Innovation Scoreboard 2017. Raport KE 2018 <http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/facts-figures/scoreboards>, dostęp 27.01.18*