

Maciej Andrzejewski,
Ryszard Szerbart
Łukasiewicz - IPS „TABOR”
Kinga Skobiej
Mateusz Nowak
Politechnika Poznańska

Analysis of driver assistance systems in rail vehicles

Analiza systemów wspomagania prowadzącego w pojazdach szynowych

Issues related to the automation of assistance systems for drivers and dispatchers are now increasingly more widely introduced including in rail transport. The article presents the activities and solutions of selected manufacturers, both in terms of a single rail vehicles as well as railway control system. These solutions are aimed at increasing safety, saving electricity and assisting in making decisions by dispatchers. Thereafter in the article, new systems supporting the driver in order to minimize energy consumption were also described, which are already used in railways in Germany, as well as the European system of intelligent communication in rail transport.

Zagadnienia dotyczące automatyzacji systemów wspomagania maszynistów oraz dyspozytorów są obecnie coraz szerzej wprowadzane również w transporcie szynowym. W artykule przedstawiono działania oraz rozwiązania wybranych producentów, zarówno w zakresie pojedynczego pojazdu szynowego, jak i systemowego sterowania koleją. Rozwiązania te mają na celu zwiększenie bezpieczeństwa, oszczędność energii elektrycznej oraz pomoc w podejmowaniu decyzji dyspozytorów. W dalszej części artykułu opisano również nowe systemy wspierające pracę maszynisty w celu minimalizacji zużycia energii, które już teraz są wykorzystywane w kolei w Niemczech, a także zaprezentowano europejski system inteligentnej komunikacji w transporcie kolejowym.

1. Introduction

Driver assistance systems are becoming more and more popular in both motor and rail vehicles. They are designed to support the driver, increase safety, and reduce the vehicle energy consumption. In recent years, due to the rapid pace of increasing rail traffic, as well as the increasing environmental awareness, these systems are becoming necessary equipment for rail vehicles and are being introduced on an increasingly larger scale. The article analyzes selected driver

1. Wprowadzenie

Systemy wspomagania kierowcy stają się coraz popularniejsze zarówno w pojazdach samochodowych, jak i w pojazdach szynowych. Mają one za zadanie wspomagać prowadzącego, zwiększać bezpieczeństwo, a także zmniejszać zużycie energii wykorzystywanej przez pojazd. W ostatnich latach, ze względu na szybkie tempo zwiększania ruchu kolejowego, a także coraz większą dbałość o środowisko, systemy te stają niezbędnym wyposażeniem pojazdów szynowych oraz

assistance systems designed and implemented by vehicle manufacturers, as well as solutions implemented by selected railway network managers.

The issue of driver assistance systems is the subject of many publications. The authors of [1] describe a system that was designed not only to support the driver, but also to increase electricity efficiency, contributing to the reduction of energy consumption by a tram, through the use of eco-driving principles.

In turn, in the article [2] the authors presented a continuation of the TCAS (*Traffic Collision Avoidance System*) introduced in the collision avoidance system for urban rail (tram) transport applications based on the most modern automotive laser detection technology. The authors analyzed the TCAS system in terms of the required functionality and ongoing activities, and proposed a solution for trams based on Ibeo laser scanners and digital maps, while Liu et al. in [3] describe a train collision early warning system which used satellite navigation.

In the article by Tokody et al. [4] the research carried out on intelligent rail transport management systems to increase safety is described, focusing on the development of intelligent railways – both autonomous and using driver assistance systems.

Kochan et al. in [5] presented tasks in the field of railway traffic management and control as well as train driving carried out by the dispatcher, train dispatcher and driver, respectively, which can be performed automatically, i.e. without human intervention.

In comparison, pedestrian protection systems have become one of the most important aspects of driver assistance systems among road vehicles. The article [11] presents an overview of the basic goals, development and future perspectives of driver assistance systems, from basic (braking or stabilizing systems) to the latest technology - radars and lidars. Very important aspect is the pedestrian protection system, which was discussed by Gerónimo et al. in the article [12], in which they presented a method of testing various pedestrian detection systems and comparing them to each other, along with a critical analysis and indication of the best available solution. In the article [13], Balcerk et al. reviewed the literature on the detection of road signs as driver assistance. They classified systems for the automatic increase and improvement of road safety: assisting the driver when starting at traffic lights, adapting drivers to using the "zipper method" of lane merging and assisting pedestrians by warning of vehicles approaching from behind. Driver assistance systems for road and rail vehicles have a similar effect - they are based on the principle of sensors and radars and have a common goal - to improve safety and quality of travel.

są wprowadzane na coraz szerszą skalę. W artykule dokonano analizy wybranych systemów wspomagania prowadzącego zaprojektowanych oraz implementowanych przez producentów pojazdów, a także rozwiązań wdrażanych przez wybranych zarządców sieci kolejowych.

Zagadnienie dotyczące systemów wspomagania prowadzącego jest tematyką wielu publikacji. Autorzy artykułu [1] opisują system, który nie tylko ma za zadanie wspomagać osobę prowadzącą pojazd szynowy, ale również w sposób efektywny wykorzystywać energię elektryczną, przyczyniając się do zmniejszenia zużycia energii przez tramwaj, poprzez stosowanie zasad eco-drivingu.

Z kolei w artykule [2] autorzy przedstawili kontynuację wprowadzonego w systemu unikania kolizji ruchu TCAS (*Traffic Collision Avoidance System*) dla zastosowań miejskiego transportu szynowego (tramwajowego) opartego na najnowocześniejszej samochodowej technologii skanowania laserowego. Autorzy przeanalizowali system TCAS pod kątem wymaganych funkcjonalności i bieżących działań oraz zaproponowali rozwiązanie dla tramwajów oparte na skanerach laserowych Ibeo i mapach cyfrowych, zaś Liu i in. w pracy [3] opisali system wczesnego ostrzeżenia przed kolizją pociągu, wykorzystującego nawigację satelitarną.

W artykule Tokody i in. [4] opisano przeprowadzone badania na temat inteligentnych systemów zarządzania transportem szynowym w celu zwiększenia bezpieczeństwa, skupiając się na rozwoju inteligentnych kolei – autonomicznej oraz wykorzystującej systemy wspomagania maszynisty.

Kochan i in. w pracy [5] przedstawiają zadania z zakresu kierowania i sterowania ruchem kolejowym oraz prowadzenia pociągu realizowane odpowiednio przez dyspozytora, dyżurnego ruchu oraz maszynistę, które mogą być wykonywane automatycznie, czyli bez ingerencji człowieka.

Dla porównania, jednym z ważniejszych celów w systemach wspomagania kierowcy dla pojazdów drogowych stały się systemy ochrony pieszych. W artykule [11] przedstawiono przegląd podstawowych celów, rozwoju i perspektyw na przyszłość systemów wspomagania kierowcy, od podstawowych (systemów wspomagających hamowanie lub stabilizujących tor jazdy), po najnowszą technologię – radary oraz lidary. Bardzo ważnym aspektem jest system ochrony pieszych, czym zajęli się Gerónimo i in. w artykule [12], w którym przedstawili sposób porównania różnych systemów wykrywania pieszych oraz porównanie ich względem siebie, wraz z krytyczną analizą i wskazaniem najlepszego rozwiązania. W artykule [13] Balcerk i in. dokonali przeglądu literatury, dotyczącej wykrywania znaków drogowych w celu wspomagania kierowcy. Sklasyfikowali oni systemy służące do automatycznego usprawnienia i poprawy bezpieczeństwa

2. Review of solutions used by vehicle manufacturers

When analyzing the topic of modern driver assistance systems, one should mention the manufacturers that use the technology in question. Siemens made available materials [6] related to technologies used in modern trams (detection of a potential collision activates the braking system thanks to a camera and radar system), which are now used as a driver assistance system (Fig. 1). Since 2015, various types of devices have been introduced to increase the safety and comfort of driving. The driver assistance system, as presented by Siemens, consists of the following components: controller, camera, radar, and laser sensors. Their task is to warn the driver and activate the brakes upon detection of a potential collision, as well as detecting pedestrians and cyclists. All data collected by the tram fleet is subject to control, processing and analysis in order to improve the systems, reduce the cost of vehicle repairs, increase their reliability and improve safety. This information is used to modify the algorithms with the ultimate goal being to create a fully autonomous vehicle.

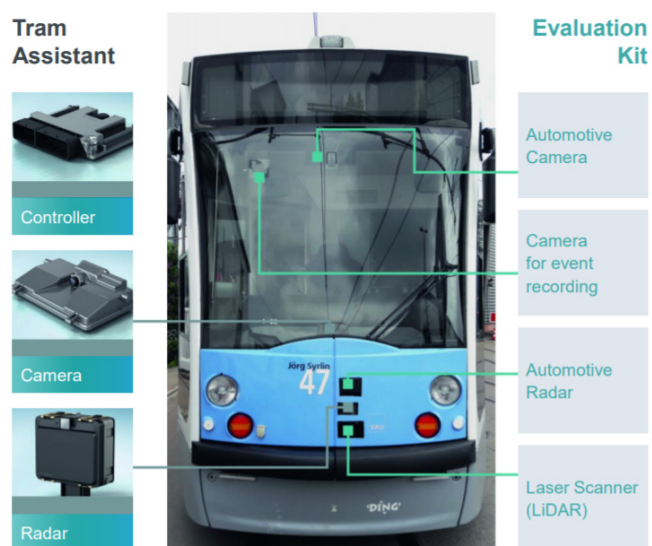


Fig. 1. An example of a modern Siemens driver assistance system [6]

Rys. 1. Przykład nowoczesnego systemu wspomagania kierowcy firmy Siemens [6]

Bombardier is creating the CITYFLO system, including automatic train protection, automatic train guidance and automatic train supervision to increase the safety and reliability of trains [7]. Bosch is developing a collision warning system for city railways and trams [8] to assist the driver by alerting him to obstacles on the tracks (Figure 2). The system consists of a multifunction camera, a radar sensor and a control unit. If the driver does not react despite the warning, the system initiates an emergency braking procedure on its own.

ruchu drogowego: wspomagania kierowcy podczas ruszania przed sygnalizacją świetlną, dostosowanie się kierowców do „metody zamka błyskawicznego” oraz wspomagania pieszych, ostrzegając o nadjeżdżających z tyłu pojazdach. Systemy wspomagania dla prowadzących pojazdy drogowe oraz szynowe mają podobne działanie – opierają się na zasadzie czujników oraz radarów i mają wspólny cel – poprawę bezpieczeństwa oraz jakości podróży.

2. Przegląd rozwiązań stosowanych przez producentów pojazdów

Analizując temat nowoczesnych systemów wspomagania prowadzącego należy wspomnieć o producentach, którzy wykorzystują omawianą technologię. Firma Siemens udostępniła materiały [6] związane z technologiami wykorzystywanymi w nowoczesnych tramwajach (wykrycie potencjalnej kolizji uruchamia system hamowania dzięki systemowi kamer oraz radarów), które teraz są wykorzystywane jako system wspomagania prowadzącego (rys. 1). Od 2015 roku wprowadzano różnego rodzaju urządzenia, które zwiększały bezpieczeństwo, a także komfort prowadzenia pojazdów. Na układ wspomagania maszynistę, zaprezentowany przez firmę Siemens, składają się następujące podzespoły: sterownik, kamera, radar, a także czujniki laserowe. Ich zadaniem jest ostrzeżenie i hamowanie po wykryciu potencjalnej kolizji, detekcję pieszych oraz rowerzystów. Wszystkie dane zebrane przez flotę tramwajową są poddawane kontroli, obróbce oraz analizie w celu ulepszenia systemów, zmniejszenia kosztów napraw pojazdów, zwiększenia ich niezawodności a także poprawienia bezpieczeństwa. Informacje te służą do modyfikacji algorytmów, a docelowo do stworzenia w pełni autonomicznego pojazdu.

Firma Bombardier tworzy system CITYFLO, obejmujący automatyczną ochronę pociągu, automatyczne prowadzenie pociągu oraz automatyczny nadzór pociągu w celu zwiększenia bezpieczeństwa oraz niezawodności pociągów [7]. Firma Bosch rozwija system ostrzegania przed kolizją w miejskich systemach kolei i tramwajach [8], który ma za zadanie wspierać maszynistę, ostrzegając go o przeszkodach na torach (rys. 2). System składa się z kamery wielofunkcyjnej, czujnika radarowego oraz jednostki sterującej. Jeśli motorniczy nie zareaguje mimo ostrzeżenia, system rozpoczyna procedurę hamowania awaryjnego.

OTIV to oprogramowanie służące do wspomagania motorniczego, bądź autonomicznej jazdy pojazdu szynowego [9]. Rozwiązania CITYFLO oferują pełen zakres technologii automatycznego sterowania pociągiem (ATC – *Automatic Train Control*) i trybów pracy dla wszystkich operacji miejskich. Wysoką wydajność operacyjną uzyskuje się w tym systemie, dzięki różnym poziomom zautomatyzowanej funkcjonalności:

OTIV is a software for assisting the driver or autonomous driving of a rail vehicle [9]. CITYFLO solutions offer a full range of ATC (*Automatic Train Control*) technologies and operating modes for all kinds of city operations. High operational efficiency can be achieved in this system thanks to the different levels of automated functionality:

- ATP (*Automatic Train Protection*), which controls basic safety-critical functions,
- ATO (*Automatic Train Operation*) supports real train driving functions,
- ATS (*Automatic Train Supervision*) including route choice, adherence to schedules and fault monitoring.

The CITYFLO solution is a system with On-Board Automatic Train Protection (ATP), autonomous driving capability and Automatic Train Operation (ATO), with the ATP and ATO status information displayed in the driver's cab. Track-to-train communication is provided via low-frequency track circuits.

Another interesting solution is ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*) made by Continental, which creates a driver assistance system including autonomous braking, collision warning and adaptive cruise control, which can be used not only in road transport, but also in rail transport [10].

3. Current system solutions

Driver assistance systems are programs that react to timetable deviations and provide recommendations that support the driver in the process of energy-efficient driving. However, when the train moves too slowly due to energy-saving driving, it may disturb the vehicles following it, which may lead to additional delays. Therefore, greater benefits from the use of driver assistance systems can potentially be achieved if they are associated with the infrastructure manager's availability systems (networked driver assistance systems). Taking into account the information available in the dispatching system about other trains, it is possible to reduce energy consumption and obtain greater punctuality of the entire traffic control and management system.

Deutsche Bahn AG's German Railways anticipate further digitization and automation of their operational processes. The main effects of this action include the renewal of dispatch systems, the further development of networked driver assistance systems and the implementation of autonomous driving. In one of the stages of the program development, algorithms for recognizing conflict situations and solving them are to be used, which will allow dispatchers to receive decision support. Based on the decisions of dispatchers, more precise driving recommendations will be issued than those available currently (Fig. 3).

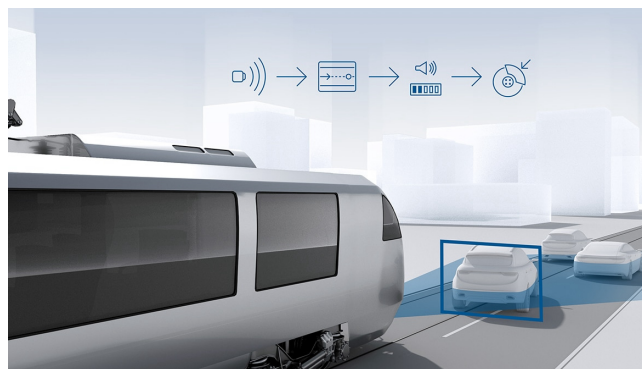


Fig. 2. Example of how the driver assistance system works: when the driver does not react to the acoustic signal, an emergency braking procedure is started [8]

Rys. 2. Przykład działania systemu wspierania kierowcy: gdy motorniczy nie reaguje na sygnał dźwiękowy, rozpocznie się procedura awaryjnego hamowania [8]

- automatycznej ochrony pociągu (ATP – *Automatic Train Protection*), która służy do kontroli podstawowych funkcji krytycznych dla bezpieczeństwa,
- automatycznego prowadzenia pociągu (ATO – *Automatic Train Operation*) obsługuje rzeczywiste funkcje prowadzenia pociągu,
- automatycznemu nadzorowi pociągu (ATS – *Automatic Train Supervision*) obejmującemu wyznaczanie trasy, przestrzeganie harmonogramów i monitorowanie usterek.

Rozwiązanie CITYFLO to system z pokładową automatyczną ochroną pociągu (ATP) i możliwością autonomicznej jazdy oraz umożliwiający automatyczną obsługę pociągu (ATO) z informacjami o ATP i statusie ATO wyświetlanymi w kabinie maszynisty. Komunikacja tor-pociąg jest realizowana za pośrednictwem obwodów torowych o niskiej częstotliwości.

Ciekawym rozwiązaniem jest również ADAS firmy Continental (*Advanced Driver Assistance Systems*), który tworzy system wspomagania prowadzącego obejmujący autonomiczne hamowanie, ostrzeżenie przed kolizją i adaptacyjny tempomat, który może być wykorzystany nie tylko w transporcie drogowym, ale również w transporcie szynowym [10].

3. Obecne rozwiązania systemowe

Systemy asystenta jazdy są systemami, które reagują na odchylenia od rozkładu jazdy i określają zalecenia, które wspierają maszynistę w trakcie jazdy energooszczędnej. Gdy jednak pociąg z uwagi na energooszczędną jazdę porusza się zbyt wolno może on przeszkadzać pojazdowi jadącemu za nim, co może prowadzić do dodatkowych opóźnień. Dlatego większe korzyści ze stosowania systemów asystenta jazdy osiąga się wtedy, gdy będą one związane z systemami dyspozycyjnymi zarządcy infrastruktury (sieciowe systemy asystenta jazdy). Uwzględniając informacje dostępne w systemie dyspozycyjnym o innych pociągach można zmniejszyć zużycie energii oraz uzyskać większą punktualność całego systemu.



Fig. 3. Dispatcher process automation [15]

Rys. 3. Automatyzacja procesu dyspozycyjnego [15]

Currently, the annual cost of energy used by rail transport in the European Union countries amounts to approximately EUR 6 billion. Thanks to the use of the simplest driver assistance systems (level 1, Fig. 4), savings reaching 5-10% of the above amount can be obtained, while the introduction of traffic management systems (level 2) allows to reduce energy consumption by anywhere between 8-12%. The introduction of advanced traffic control solutions, such as conflict management, harmonization of traffic flow, integration of energy efficiency with the system-wide train timetables (level 3), could allow for energy consumption savings of well over 10% [16]. A diagram of the various degrees of optimization during the development of the driver assistance system was shown in Figure 4.

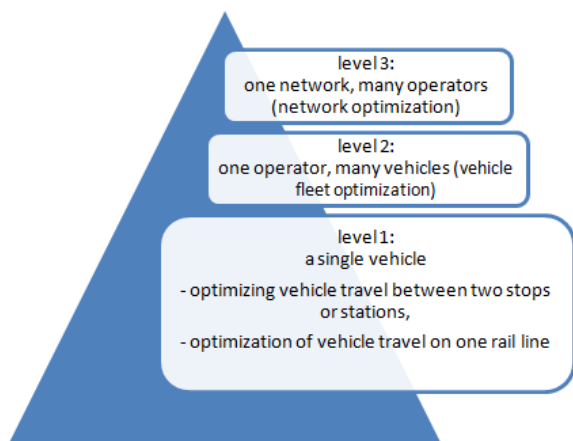


Fig. 4. Levels of considering travel optimization by the driver assistance system [17]

Rys. 4. Poziomy rozpatrywania optymalizacji jazdy przez system asystencki [17]

In addition to increasing safety and supporting dispatchers, when designing such systems, great attention is also paid to the ecological and energy saving aspects of vehicle use. Two new functionalities were proposed in the system, contributing to lower energy consumption of rail vehicles: "driving behind" and "scheduled driving".

The "driving behind" function is based on the recognition of conflict situations. In addition to situations

Koleje niemieckie Deutsche Bahn AG przewidują dalszą cyfryzację i automatyzację procesów eksploatacyjnych. Główne efekty takiego działania to między innymi odnowienie systemów dyspozycyjnych, dalszy rozwój sieciowych systemów asystenta jazdy oraz realizacja jazdy autonomicznej. W jednym z etapów rozbudowy programu będą zastosowane algorytmy rozpoznania sytuacji konfliktowych i ich rozwiązywania, które pozwolą dyspozytorom otrzymać wsparcie decyzyjne. Na podstawie decyzji dyspozytorów będą wydawane dokładniejsze zalecenia jazdy w stosunku do obecnie obowiązujących (rys. 3).

Obecnie roczny koszty energii zużywanej przez transport kolejowy w państwach Unii Europejskiej wynosi około 6 mld euro. Dzięki zastosowaniu najprostszych systemów wspomaganie maszynisty (poziom 1, rys. 4), oszczędności mogą wynosić 5–10% powyższej kwoty, natomiast wprowadzenie systemów zarządzania ruchem (poziom 2) pozwala na zmniejszenie zużycia energii o 8–12%. Wprowadzenie zaawansowanych rozwiązań sterowania ruchem, jak np. zarządzanie konfliktami, harmonizacja przepływu ruchu, integracja efektywności energetycznej z ogólnosystemowymi rozkładami jazdy pociągów (poziom 3), pozwala na oszczędności zużycia energii znacznie ponad 10% [16]. Schemat różnych stopni optymalizacji w trakcie rozwoju systemu asystenta jazdy przedstawiono na rys. 4.

Poza zwiększeniem bezpieczeństwa i wspieraniem dyspozytorów, przy projektowaniu systemów dużą uwagę zwraca się na aspekty ekologiczne oraz oszczędność energii elektrycznej. W systemie zaproponowano dwie nowe funkcjonalności, przyczyniające się do mniejszej energochłonności pojazdów szynowych: „jazda za” oraz „jazda planowa”.

Funkcja „jazda za” bazuje na rozpoznaniu sytuacji konfliktowych. Obok sytuacji wynikających z ruchu pociągu rozpoznawane są również konflikty w miejscach rozjazdów w obszarach dworców i liniach jednotorowych. Następujące założenie i warunki brzegowe muszą być spełnione, aby wykorzystać to rozwiązanie: są znane aktualne meldunki o konfliktach pociągów na danej linii; kolejność obu pociągów jest możliwa do potwierdzenia na podstawie znajomości lokalizacji pociągów lub na podstawie meldunków drogowych; nie ma żadnych przystanków między aktualnym położeniem pociągów i miejscem konfliktu (wyjątek: planowe zatrzymanie pociągu poprzedzającego). Jeśli te warunki są dotrzymane wtedy jest możliwe aż do następnej możliwości dyspozytorskiej ustalenie czasowego dopasowania dla pociągu jadącego za poprzedzającym.

Funkcja „jazda planowa” nie jest zależna od rozpoznania konfliktów. Parametrami rozpoznawczymi są aktualne informacje o przyspieszeniu (wcześniejszym przyjeździe) pociągu oraz potencjalnie wcześniejsze

resulting from train traffic, conflicts are also to be recognized at junctions in the areas of stations and single-track lines. In order to use this solution, the following assumptions and boundary conditions must be met: current reports of train conflicts on a given line must be known; the order of both trains can be confirmed on the basis of knowledge of the train location or on the basis of road reports; there must be no stops between the current positions of the trains and the site of the conflict (exception: the train ahead is scheduled to stop). If these conditions are met, then it is possible to establish a time adjustment for the train following the train ahead, up to the next dispatch option.

The "scheduled driving" function is not dependent on conflict recognition. The identification parameters are the current information about the acceleration (earlier arrival) of the train and potentially earlier than scheduled arrival at the next station. Energy savings are possible by avoiding accelerated arrivals. If the forecast is that the train will arrive too quickly, stop the vehicle at the station or reduce its speed. An additional benefit of the central preparation of this information is the consideration of track closures and conflicts with other trains.

Other European countries also operate networked driver assistance systems (e.g. Sweden, Switzerland), while in others such systems are currently under development (Netherlands, France). Efforts are being made to develop a unified link between the operating centers and trains carried out at various operators of the European Rail Traffic Management System (ERTMS) and the European Shift2rail project, which are based on the European Train Control System (ETCS) and the Global System for Mobile Communications-Railways (GSM-R). The resulting descriptions of the connection points are included in the study "AoE Subset 126". This study can also be used for networked driver assistance systems, but only on lines equipped with ETCS equipment. Meanwhile, main and side lines equipped with the national safety system are being built in Germany. For this reason, the International Union of Railways (UIC - *Union Internationale des Chemins de fer*) has launched a project that will be a link defined for lines without the European train control system - SFERA (*Smart Communications for Efficient Rail Activities*) (Fig. 5).

Connectors are not foreseen for national safety systems and for individual vehicles or creators of driver assistance systems as they tend to lead to high costs for all parties concerned. The objectives of the SFERA project are largely linked to the automated driving systems and the driver assistance network, where speed profiles are calculated based on the constantly updated and adapted driving schedule, the currently available infrastructure and the actual train properties.

przybycie do następnej stacji. Dzięki uniknięciu przyspieszonych przyjazdów jest możliwa oszczędność energii. Jeśli prognozy przewidują zbyt szybki przyjazd pociągu, należy zatrzymać pojazd na stacji lub zmniejszyć jego prędkość. Dodatkową korzyścią centralnego przygotowania tych informacji jest uwzględnienie zamknięć torów i konfliktów z innymi pociągami.

Również w innych europejskich krajach są eksploatowane systemy sieciowe asystentów jazdy (np. Szwecja, Szwajcaria), a w niektórych systemy takie są na etapie opracowywania (Holandia, Francja). Obecne dążenia do opracowania ujednoczonego łącznika między centralą eksploatacji i pociągami prowadzone u różnych użytkowników Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym (ERTMS – *European Rail Traffic Management System*) oraz europejskim projektem Shift2rail oparte są na Europejskim Systemie Sterowania Pociągami (ETCS – *European Train Control System*) oraz Globalnym Systemie Kolejowej Radiokomunikacji Ruchomej (GSM-R – *Global System for Mobile Communications-Railways*). Powstające przy tym opisy punktów łącznikowych ujęte są w opracowaniu „AoE Subset 126”. To opracowanie można również wykorzystać dla sieciowych systemów asystenta jazdy, ale tylko na liniach wyposażonych w urządzenia ETCS. W międzyczasie w Niemczech powstają linie główne i boczne, które są wyposażone w krajowy system bezpieczeństwa. Z tego powodu Międzynarodowy Związek Kolei (UIC – *Union Internationale des Chemins de fer*) uruchomił projekt, który będzie łącznikiem zdefiniowanym dla linii bez europejskiego systemu sterowania pociągami – SFERA (*Smart Communications for Efficient Rail Activities*) (rys. 5).

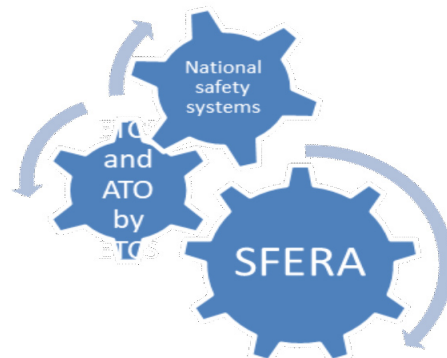


Fig. 5. The SFERA system prepares parameters and systems for the development of automated train transport [15]

Rys. 5. System SFERA przygotowuje parametry i systemy do opracowania automatycznej jazdy pociągu [15]

Nie przewiduje się łączników dla narodowych systemów bezpieczeństwa oraz pojedynczych pojazdów lub twórców programów systemów asystenta jazdy, ponieważ prowadzą one do dużych kosztów dla wszystkich zainteresowanych. Założenia projektu SFERA są w dużym stopniu powiązane z systemami automatycznej jazdy oraz sieciowego asystenta jazdy

The current system solutions in the European railway sector are at the level of approximately 1–3% [16]. The SFERA project is a target solution to help the sector achieve the key goals of reducing energy consumption and carbon dioxide emissions as a part of the UIC-CER Sustainable Mobility Strategy. Such solutions are designed to reduce operating costs, achieve UIC members' commitment goals to energy efficiency and carbon dioxide emissions, maintain a competitive advantage over other modes of transport and help the European Union meet its legal commitment to reduce carbon dioxide emissions. To achieve these goals, the railway sector must be constantly developed by implementing the latest technical solutions and developing standards for the management of interfaces related to energy consumption, including smart grids, innovative power infrastructure, smart energy purchases, energy consumption monitoring systems, optimization of schedules, energy regeneration and eco-driving.

4. Conclusions

The widespread drive to reduce the operating costs of carriers and infrastructure managers forces them to take steps to look for solutions that can reduce energy consumption. To a large extent, this applies to the entire range of rail vehicles in operation at different technical levels. One of the possible solutions in this aspect is the introduction of driver assistance systems into operational practice, i.e. systems in which the driver of the vehicle receives precise information advising him or her on how to drive through a specific route within the scheduled timetable. Driver assistance systems react to timetable deviations and provide recommendations that support the driver during the journey. Many rail transport companies have already introduced or plan to introduce driver assistance systems. Dedicated optimization of a single train should lead to optimization in the entire railway network. This should be facilitated by the further rapid development of digitization, algorithms, programs and IT technologies. These solutions are aimed at increasing the safety, saving energy, saving electricity as well as assisting dispatchers in making informed decisions.

The railways digitization development in the field of driver assistance systems enables a very wide scope of driver support for rail vehicle guidance, which, in addition to supporting drivers, may take into account some additional aspects. Decision support for dispatchers, reducing energy consumption thanks to the use of systems supporting the driver, as well as direct increase in safety are just some of the main advantages of implementing such systems solutions in railways. Unfortunately, the implementation of such systems is extremely costly and complicated. For this to be possible on a large scale - for example throughout Europe - steps should be taken to unify all systems already present in individual member countries. All these activities combined can lead to the creation of fully autonomous rail vehicles.

na bazie ciągle aktualizowanego i dostosowywanego planu jazdy, aktualnie dostępnej infrastruktury i rzeczywistych właściwości pociągu obliczane są profile prędkości.

Obecne rozwiązania systemowe w europejskim sektorze kolejowym są na poziomie około 1–3% [16]. Projekt SFERA jest docelowym rozwiązaniem, aby wspomóc sektor w osiągnięciu kluczowych celów w zakresie zmniejszenia zużycia energii i zmniejszenia emisji dwutlenku węgla w Strategii Zrównoważonej Mobilności UIC-CER. Takie rozwiązania mają na celu zmniejszenie kosztów operacyjnych, osiągnięcie zobowiązania członków UIC w zakresie efektywności energetycznej i emisji dwutlenku węgla, zachowanie przewagi konkurencyjnej w porównaniu z innymi środkami transportu i wspomaganie Unii Europejskiej w wypełnieniu prawnego zobowiązania do redukcji emisji dwutlenku węgla. Aby osiągnąć te cele sektor kolejowy musi być stale rozwijany poprzez wdrażanie najnowszych rozwiązań technicznych oraz opracowując standardy zarządzania interfejsami związanymi ze zużyciem energii, w tym inteligentnymi sieciami, innowacyjną infrastrukturą zasilania, inteligentnymi zakupami energii, systemami monitorowania zużycia energii, optymalizacją harmonogramów, regeneracją energii i ekologicznej jazdy.

4. Podsumowanie

Powszechne dążenie do obniżenia kosztów działalności przewoźników i zarządców infrastruktury zmusza ich do podjęcia działań w poszukiwaniu rozwiązań pozwalających na obniżenie zużycia energii. W dużym stopniu dotyczy to całej gamy pojazdów szynowych będących w eksploatacji o różnym poziomie technicznym. Jednym z możliwych sposobów oddziaływania jest wprowadzenie do praktyki eksploatacyjnej systemów asystenta jazdy, czyli systemów w których maszynista pojazdu otrzymuje precyzyjne informacje o sposobie jazdy na określonej trasie w ramach planowego rozkładu jazdy. Systemy asystenta jazdy reagują na odchylenia od rozkładu jazdy i określają zalecenia, które wspierają maszynistę w trakcie jazdy. Liczne przedsiębiorstwa przewozowe kolejowe już wprowadziły lub chcą wprowadzić systemy asystenta jazdy. Wydzielona optymalizacja pojedynczego pociągu powinna doprowadzić do optymalizacji w całej sieci kolejowej. Sprzyjać temu powinien dalszy szybki rozwój cyfryzacji, algorytmów, programów i technik informatycznych. Rozwiązania te mają na celu zwiększenie bezpieczeństwa, oszczędność energii, elektrycznej oraz pomoc w podejmowaniu decyzji przez dyspozytorów.

Rozwój cyfryzacji kolei w zakresie systemów asystenckich, umożliwia bardzo duży zakres wsparcia dotyczącego prowadzenia pojazdów szynowych, które oprócz wspierania prowadzącego mogą uwzględnić pewne dodatkowe aspekty. Pomoc decyzyjna dla dyspozytorów, oszczędność zużycia energii dzięki zasto-

List of abbreviations / Oznaczenia

ADAS	<i>Advanced Driver Assistance Systems</i> – zaawansowany system asystenta jazdy
ATC	<i>Automatic Train Control</i> – automatyczne sterowanie pociągami
ATO	<i>Automatic Train Operation</i> – automatyczne prowadzenie pociągu
ATP	<i>Automatic Train Protection</i> – automatyczna ochrona pociągu
ATS	<i>Automatic Train Supervision</i> – automatyczny nadzór pociągu
ERTMS	<i>European Rail Traffic Management System</i> – Europejski System Zarządzania Ruchem Kolejowym
ETCS	<i>European Train Control System</i> – Europejski System Sterowania Pociągami
GSM-R	<i>Global System for Mobile Communications-Railways</i> – globalny system kolejowej radiokomunikacji ruchomej

sowaniu systemów wspierających maszynistę, a także bezpośrednio polepszenie bezpieczeństwa, to tylko niektóre z zalet wdrażania systemów rozwiązań w kolei. Niestety, wdrażanie tego typu rozwiązań jest niezwykle kosztowne i skomplikowane. Aby było to możliwe na szeroką skalę – na przykład w Europie – należy powziąć kroki w celu zunifikowania wszystkich systemów w poszczególnych krajach. Wszystkie te działania mogą prowadzić do stworzenia w pełni autonomicznych pojazdów szynowych.

SFERA	<i>Smart Communications for Efficient Rail Activities</i> – system inteligentnej komunikacji kolejowej
TCAS	<i>Traffic Collision Avoidance System</i> – system unikania kolizji ruchu

Bibliography / Bibliografia

- [1] Delfa S., Enjalber S., Polet P., Vanderhaegen F., *Eco-driving command for tram-driver system*. IFAC-PapersOnLine, 49 (19), 444–449, 2016 (doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.616).
- [2] Lages U., Katz R., Schulz R., Krähling M., *Collision avoidance system for trams using laserscanners*. 20th World Congress on Intelligent Transport Systems 2013, Tokyo 2013.
- [3] Liu J., Baigen C., Wang J., *An analysis of BeiDou Navigation Satellite System (BDS) based positioning for train collision early warning*. 2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2013 (doi.org/10.1109/IVS.2013.6629607).
- [4] Tokody D., Holicza P., Schuster G., *The smart mobility aspects of intelligent railway*. 2016 IEEE 11th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), Timisoara 2016 (doi.org/10.1109/SACI.2016.7507394).
- [5] Kochan A., Koper E., Wontorski P., *Automatyczne prowadzenie pociągu – analiza wymagań*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, z. 121, Warszawa 2018.
- [6] *On the way to an autonomous tram, presentation by Siemens*, <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:9d7d12df-a30c-43bd-a06d-bff6dfe96543/presentation-uitp-autonome-tram-e.pdf> (dostęp: 27.08.2020).
- [7] *System CITYFLO*, <https://rail.bombardier.com/en/solutions-and-technologies/signalling-and-infrastructure/mass-transit-signalling.html> (dostęp: 27.08.2020).
- [8] *Bosch*, <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/highlights/automated-mobility/driver-assistance-systems-for-commercial-vehicle/> (dostęp: 27.08.2020).
- [9] *OTIV*, <https://www.otiv.ai/> (dostęp: 27.08.2020).
- [10] *ADAS Continental*, <https://continental-railway.com/en-gl/Body/ADAS-Radar-Sensors> (dostęp: 27.08.2020).
- [11] Bengler K., Dietmayer K., Berthold F., Maurer M., Stiller C., Winner H., *Three decades of driver assistance systems: review and future perspectives*. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 6 (4), 2014.
- [12] Gerónimo D., López A., Sappa A., Graf T., *Survey of pedestrian detection for advanced driver assistance systems*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 32 (7), 2010.
- [13] Mogelmose A., Trivedi M., Moeslund T., *Vision-based traffic sign detection and analysis for intelligent driver assistance systems: perspectives and survey*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 13 (4), 2012.
- [14] Balcerek J., Konieczka A., Piniarski K., Maćkowiak K., Marciniak T., Dąbrowski A., *Automatyczne systemy wizyjne usprawniające ruch drogowy i zwiększające bezpieczeństwo*. Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania, 56 (4), 7-13, 2015.
- [15] Viedner T., *Vernetzte Fahrerassistenzsysteme – aktuelle Entwicklungen bei der DB Netz AG*, IRSA, 3, 20–23, 2020.
- [16] *UIC – SFERA*, <https://uic.org/projects/sfera-smart-communications-for-efficient-rail-activities> (dostęp: 27.08.2020).