

MATERIALY POKONFERENCYJNE



Polanica-Zdrój, 10–13 września 2023 roku

XXV Konferencja Naukowa

# Pojazdy Szynowe 2023



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej





# **XXV Konferencja Naukowa Pojazdy Szynowe 2023**

**Materiały pokonferencyjne**

*Polanica-Zdrój, 10–13 września 2023 roku*



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej  
Wrocław 2023

Artykuły zrecenzował Komitet Naukowy Konferencji

Redaktor naukowy

Tomasz NOWAKOWSKI

Opracowanie redakcyjne i techniczne

Stanisław GANCARZ

Projekt okładki

Janusz M. SZAFRAN

Zdjęcie na okładce

Łukasz WOLNIEWICZ

Wszelkie prawa zastrzeżone. Niniejsza książka, zarówno w całości, jak i we fragmentach nie może być reprodukowana w sposób elektroniczny, fotograficzny i inny bez zgody wydawcy i właścicieli praw autorskich.

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2023

OFICyna WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCLAWSKIEJ

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

<http://www.oficyna.pwr.edu.pl>;

e-mail: [oficwyd@pwr.edu.pl](mailto:oficwyd@pwr.edu.pl)

[zamawianie.ksiazek@pwr.edu.pl](mailto:zamawianie.ksiazek@pwr.edu.pl)

ISBN 978-83-7493-263-9

DOI: [https://doi.org/10.37190/Pojazdy\\_Szynowe\\_2023](https://doi.org/10.37190/Pojazdy_Szynowe_2023)

Druk i oprawa: beta-druk, [www.betadruk.pl](http://www.betadruk.pl)

*Pragniemy serdecznie podziękować  
dr. inż. Stanisławowi Kwaśniowskiemu za wieloletnie zaangażowanie  
w organizację Konferencji Naukowej Pojazdy Szynowe*



## KOMITET NAUKOWY

prof. dr hab. inż. Tomasz NOWAKOWSKI (Politechnika Wrocławska) – przewodniczący  
prezes Krzysztof BALAWEJDER (Prezes MPK we Wrocławiu)  
prof. dr hab. inż. Andrzej CHUDZIKIEWICZ (UTH w Radomiu)  
dr inż. Rafał CICHY (Sieć Badawcza Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny)  
prof. dr hab. inż. Włodzimierz CZYCHUŁA (Politechnika Krakowska)  
dr hab. inż. Janusz ĆWIEK (Politechnika Śląska)  
dr hab. inż. Bartosz FIRLIK (Politechnika Poznańska)  
dr hab. inż. Piotr FOLEGA (Politechnika Śląska)  
prof. dr hab. inż. Włodzimierz GĄSOWSKI (Politechnika Poznańska)  
dr hab. inż. Adrian GILL (Politechnika Poznańska)  
dr inż. Ignacy GÓRA (Prezes Urzędu Transportu Kolejowego)  
prof. dr hab. inż. Iwona GRABAREK (Politechnika Warszawska)  
dr inż. Przemysław ILCZUK (Politechnika Warszawska)  
prof. dr hab. inż. Marianna JACYNA (Politechnika Warszawska)  
dr inż. Anna JODEJKO-PIETRUCZUK (Politechnika Wrocławska)  
dr hab. inż. Ewa KARDAS-CINAL (Politechnika Warszawska)  
dr Mykola KARPENKO (Vilniaus Gedimino technikos universitetas)  
dr hab. Arkadiusz KAWA (Sieć Badawcza Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny)  
dr hab. inż. Artur KIERZKOWSKI (Politechnika Wrocławska)  
dr inż. Tomasz KISIEL (Politechnika Wrocławska)  
dr inż. Andrzej KOCHAN (Politechnika Warszawska)  
dr hab. inż. Jarosław KORZEB (Politechnika Warszawska)  
dr hab. inż. Andrzej KRZYSZKOWSKI, prof. UTH Radom (UTH w Radomiu)  
prof. dr hab. Tomasz KRZYŻYŃSKI (Politechnika Koszalińska)  
prof. dr hab. inż. Jerzy KWAŚNIKOWSKI (WSB we Wrocławiu)  
dr inż. Stanisław KWAŚNIOWSKI (Politechnika Wrocławska)  
prof. dr hab. inż. Bogusław ŁAZARZ (Politechnika Śląska)  
dr hab. inż. Andrzej MASSEL (Dyrektor Instytutu Kolejnictwa)  
prof. dr hab. inż. Jerzy MERKISZ (Politechnika Poznańska)  
prof. dr hab. Agnieszka MERKISZ-GURANOWSKA (Politechnika Poznańska)  
dr inż. Piotr MICHALAK (Sieć Badawcza Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny)  
dr inż. Maciej MICHNEJ (Politechnika Krakowska)  
dr hab. inż. Stanisław MŁYNARSKI (Politechnika Krakowska)  
dr hab. inż. Jakub MŁYŃCZAK (Politechnika Śląska)  
dyr. Adam MUSIAŁ (Dyrektor Polskiej Izby Producentów Urządzeń i Usług na Rzecz Kolei)

prof. dr hab. inż. Mirosław NADER (Politechnika Warszawska)  
prof. dr hab. inż. Andrzej NIEWCZAS (Instytut Transportu Samochodowego)  
dr hab. inż. Michał OPALA (Politechnika Warszawska)  
dr hab. inż. Małgorzata ORCZYK (Politechnika Poznańska)  
prof. dr hab. inż. Marek PAWEŁCZYK (Politechnika Śląska)  
prof. dr hab. inż. DARIUSZ Pyza (Politechnika Warszawska)  
dr inż. Franciszek RESTEL (Politechnika Wroclawska)  
dr hab. inż. Tomislav ROŽIĆ (Sveučilište u Zagrebu)  
dr hab. inż. Wojciech SAWCZUK (Politechnika Poznańska)  
prof. dr hab. inż. Mirosław SIERGIEJCZYK (Politechnika Warszawska)  
dr Paulius SKAČKAUSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas)  
dr hab. inż. Anna STELMACH (Politechnika Warszawska)  
dr hab. inż. Michał STOSIAK (Politechnika Wroclawska)  
prof. dr hab. inż. Adam SZELAĞ (Politechnika Warszawska)  
dr hab. inż. Maciej SZKODA (Politechnika Krakowska)  
dr hab. inż. Grzegorz SZYMAŃSKI (Politechnika Poznańska)  
prof. dr hab. inż. Andrzej ŚWIDERSKI (Instytut Transportu Samochodowego)  
dyr. Piotr TARNAWSKI (Sieć Badawcza Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny)  
prof. dr hab. inż. Franciszek TOMASZEWSKI (Politechnika Poznańska)  
dr hab. Agnieszka TUBIS (Politechnika Wroclawska)  
dr inż. Sylwin TOMASZEWSKI (Sieć Badawcza Łukasiewicz – Pozn. Instytut Technologiczny)  
prof. dr hab. inż. Tadeusz UHL (Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie)  
prof. dr hab. inż. Wojciech WAWRZYŃSKI (Politechnika Warszawska)  
dr hab. inż. Sylwia WERBIŃSKA-WOJCIECHOWSKA (Politechnika Wroclawska)  
dr inż. Łukasz WOLNIEWICZ (Politechnika Wroclawska)  
dr hab. inż. Grzegorz ZAJĄC (Politechnika Krakowska)  
dr inż. Mateusz ZAJĄC (Politechnika Wroclawska)  
prof. dr hab. inż. Krzysztof ZBOIŃSKI (Politechnika Warszawska)  
dr hab. inż. Jolanta ŻAK (Politechnika Warszawska)

## **KOMITET ORGANIZACYJNY**

dr hab. inż. Artur KIERZKOWSKI, prof. uczelni – przewodniczący  
dr inż. Franciszek RESTEL – zastępca przewodniczącego  
dr inż. Piotr CZAJA  
mgr inż. Szymon HAŁADYN  
dr inż. Anna JODEJKO-PIETRUCZUK  
dr inż. Tomasz KISIEL  
mgr inż. Ewa MARDEUSZ  
dr hab. Agnieszka TUBIS, prof. uczelni  
dr inż. Łukasz WOLNIEWICZ

## Spis treści

Innowacyjna metoda przewozu drewna i kontenerów ( <i>Andrzej Chojnacki, Aleksandra Chmielewska, Robert Konowrocki</i> ) .....	9
Wstępne wyniki badań ogranicznika momentu mechanicznego w napędzie zwrotnicowym z prototypowym sprzęgłem magnetycznym ( <i>Paweł Pistelok, Marcin Adamiak, Aleksander Pełka</i> ) .....	27
Problematyka testów kompatybilności systemu ETCS ( <i>Łukasz Zawadka, Dominik Adamski</i> ) .....	39
Implementacja aktów prawa w metodyce badań emisyjności akustycznej w transporcie szynowym ( <i>Roksana Licow, Natalia Karkosińska-Brzozowska, Anna Świerkoska, Bartosz Nowak, Wiktor Żółkoś, Przemysław Barszcz, Julia Szulta, Kamil Łukaszewicz, Izabela Muzyka, Aleks Gołąbek, Magdalena Józwik, Daria Kassin, Mateusz Majewski, Michał Polakowski, Mateusz Racki, Maciej Wolski</i> ) .....	49
Zastosowanie systemów diagnostyki jako narzędzia wspomagającego eksploatację tramwajów ( <i>Weronika Pęgielska, Maciej Szkoła</i> ) .....	73
Charakterystyka badań EMC realizowanych na Okręgu Doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie ( <i>Krzysztof Ortel, Andrzej Białoń, Juliusz Furman</i> ) .....	85
Badania zgodności taboru kolejowego i systemów wykrywania pociągu wykonywane przez Instytut Kolejnictwa na podstawie wymagań krajowych ( <i>Juliusz Furman, Andrzej Białoń, Krzysztof Ortel</i> ) .....	105
Diagnostyka infrastrukturalnej części systemu ETCS L1 na przykładzie koderu LEU ( <i>Andrzej Toruń, Dobromir Jasiński</i> ) .....	129
Wpływ uszkodzeń i stanu technicznego pojazdów szynowych na bezpieczeństwo transportu kolejowego w Polsce ( <i>Paweł Biel</i> ) .....	139
Weryfikacja numeryczna przejść redukujących koncentrację naprężeń w połączeniu wciskowym wg normy DIN 7190 ( <i>Dariusz Dopierała</i> ) .....	149
Wpływ konstrukcji na stabilność charakterystyki statycznej zderzaków kolejowych w różnych temperaturach otoczenia ( <i>Aleksander Boberski, Stanisław Młynarski</i> ) .....	159
Proces hamowania pociągów towarowych. Badania na symulatorze hamulca pneumatycznego pociągu należącym do Instytutu Kolejnictwa ( <i>Paweł Urbańczyk</i> ) .....	181
Niektóre skutki drgań pojazdów z uwzględnieniem układów hydraulicznych i otoczenia ( <i>Michał Stosiak, Mykola Karpenko, Justas Nugaras</i> ) .....	191



## Contents

An innovative method of transporting wood and containers ( <i>Andrzej Chojnacki, Aleksandra Chmielewska, Robert Konowrocki</i> ) .....	9
Preliminary test results of the mechanical torque limiter in point machine with a prototype magnetic clutch ( <i>Paweł Pistelok, Marcin Adamiak, Aleksander Pełka</i> ) .....	27
Issues of ETCS system compatibility testing ( <i>Łukasz Zawadka, Dominik Adamski</i> ) .....	39
Implementation of legal acts in the methodology of noise research in railway transport ( <i>Roksana Licow, Natalia Karkosińska-Brzozowska, Anna Świerkoska, Bartosz Nowak, Wiktor Żółkoś, Przemysław Barszcz, Julia Szulta, Kamil Łukaszewicz, Izabela Muzyka, Aleks Gołębek, Magdalena Józwiak, Daria Kassin, Mateusz Majewski, Michał Polakowski, Mateusz Racki, Maciej Wolski</i> ) .....	49
Application of diagnostic systems as a tool supporting the tram rolling stock utilization ( <i>Weronika Pęgielska, Maciej Szkoda</i> ) .....	73
Characteristics of EMC tests carried out at the Experimental District of the Railway Institute in Żmigród ( <i>Krzysztof Ortel, Andrzej Białoń, Juliusz Furman</i> ) .....	85
Compliance tests of rolling stock and train detection systems performed by the Railway Institute based on national requirements ( <i>Juliusz Furman, Andrzej Białoń, Krzysztof Ortel</i> ) .....	105
Diagnostics of the infrastructural part of the ETCS L1 system on the example of the LEU coder ( <i>Andrzej Toruń, Dobromir Jasiński</i> ) .....	129
The Impact of Damage and Technical Condition of Railway Vehicles on Railway Transport Safety in Poland ( <i>Paweł Biel</i> ) .....	139
Numerical verification of transitions reducing stress concentration in the interference fit according to DIN 7190 standard ( <i>Dariusz Dopierala</i> ) .....	149
The influence of the structure on the stability of the static characteristics of railway buffers at different ambient temperatures ( <i>Aleksander Boberski, Stanisław Młynarski</i> ) .....	159
The freight train's braking process. Tests on the IK's (Railway Institute's) Static Train Brake Simulator ( <i>Paweł Urbańczyk</i> ) .....	181
Some effects of vehicle vibration with consideration of hydraulic systems and surroundings ( <i>Michał Stosiak, Mykola Karpenko, Justas Nugaras</i> ) .....	191

# Innowacyjna metoda przewozu drewna i kontenerów<sup>1</sup>

## An innovative method of transporting wood and containers

ANDRZEJ CHOJNACKI<sup>1</sup>, ALEKSANDRA CHMIELEWSKA<sup>2</sup>, ROBERT KONOWROCKI<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Instytut Kolejnictwa

<sup>2</sup> Uniwersytet Warszawski, WP Radwan

<sup>3</sup> Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk

**Abstrakt:** Wiele platform transportowych zostało zaprojektowanych z myślą o potrzebach przemysłu drzewnego. Wśród nich wyróżnić należy wagony specjalne do przewozu drewna. Jednak ich konstrukcja sprawia, że nie mogą być w pełni wykorzystane. Umożliwiają one wprowadzić transport drewna do docelowego miejsca rozładunku, jednak w drodze powrotnej jadą wagony w stanie próżnym. Z ekonomicznego punktu widzenia taka sytuacja nie jest opłacalna, a wagony wykorzystywane są tylko połowicznie.

W artykule przedstawiona została innowacyjna metoda przewozu drewna i kontenerów z wykorzystaniem specjalnie do tego celu zaprojektowanego „kosza kłonicowego”. Dokonana została również analiza ekonomiczna, na podstawie której pomysłodawca podjął decyzję o zaangażowaniu się w zaprojektowanie, wykonanie prototypu i przebadanie nowej konstrukcji urządzenia umożliwiającego przewóz drewna i kontenerów. W pracy zaprezentowano rozwiązanie końcowe „kosza kłonicowego”, a także przedstawiono i omówiono wyniki badań, jakim został on poddany przed rozpoczęciem eksploatacji. Wdrożenie do eksploatacji „koszy kłonicowych” umożliwi użycie klasycznych wagonów platform do transportu drewna. W drodze powrotnej wagony mogą być wykorzystane do transportu kontenerów.

**Abstract:** Many transport platforms have been designed with the needs of the timber industry in mind. These include special wagons for transporting wood. However, their design means that they cannot be

---

<sup>1</sup> Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Inteligentny Rozwój. Projekt realizowany w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju Szybka Ścieżka.

The project is co-financed by the European Union from the European Regional Development Fund under the Smart Growth Operational Programme. The project is implemented as part of the Fast Track competition organized by the National Center for Research and Development.

fully used. Although they enable the transport of wood to the final unloading point, the wagons travel empty on the return journey. From an economic point of view, this situation is not profitable, and the wagons are only partially used.

The article presents an innovative method of transporting wood and containers using a "pole basket" specially designed for this purpose. An economic analysis was also carried out, based on which the originator decided to engage in the design, construction of a prototype and testing of a new design of a device enabling the transport of wood and containers. The work presents the final solution of the "stanchion basket", as well as the results of the tests it underwent before starting operation. The implementation of "stanchion baskets" will enable the use of classic platform wagons for transporting wood. On the return journey, the wagons can be used to transport containers.

## 1. Wprowadzenie

Transport kolejowy odgrywa kluczową rolę w efektywnym funkcjonowaniu rynku drzewnego, będąc istotnym ogniwem w łańcuchu dostaw tego surowca [1]. Optymalizacja ekonomii w transporcie kolejowym ma zasadnicze znaczenie dla zrównoważonego rozwoju sektora leśnego i ogólnego procesu gospodarczego. Skomplikowany proces logistyczny od pozyskania drewna w lesie do dostarczenia do odbiorców wymaga precyzyjnej koordynacji. Optymalizacja tej logistyki jest kluczowa dla minimalizacji kosztów i ograniczenia strat. Koszty związane z eksploatacją kolei, takie jak utrzymanie torów, energii elektrycznej i personelu, stanowią istotny udział w ekonomii transportu kolejowego. Efektywna redukcja tych kosztów jest niezbędna, aby zwiększyć konkurencyjność kolei w porównaniu do innych środków transportu.

Transport drewna, w zestawieniu Urzędu Transportu Kolejowego, jest zaliczony do szóstej grupy towarowej w transporcie kolejowym. W komunikacji krajowej osiąga zaledwie 0,1 mld ton-km, natomiast w przypadku przewozów międzynarodowych jest to wynik 0,5 mld ton-km. Choć ilość ta może wydawać się niewielka w kontekście wolumenu przewozów, warto zwrócić uwagę na wyjątkową uciążliwość związaną z transportem drewna (obejmującą m.in. wykorzystanie ciężkich ciągników siodłowych, dużych nacisków na oś oraz potencjalne zagrożenia dla pozostałych użytkowników dróg). Jest to kluczowy przykład wskazujący, że w perspektywie dłuższych dystansów niezależnie od ilości, transport drogowy nie stanowi optymalnego wyboru. Wobec tego istotne jest dążenie do zminimalizowania obciążeń związanych z transportem drewna oraz do zwiększenia jego efektywności z wykorzystaniem środków transportu kolejowego. Działania w tym kierunku nie tylko są wskazane, ale wręcz niezbędne do osiągnięcia zrównoważonego rozwoju sektora [2].

Rynek TSL (Transport, Spedycja i Logistyka), który obejmuje swoim obszarem wszystkie podmioty świadczące usługi z zakresu transportu, dystrybucji, spedycji i logistyki oraz przewozy kurierskie i z drugiej strony odbiorców tych usług [3], stanowi dzisiaj zróżnicowane pole działania, na którym odnotowuje się stały wzrost, wynoszący obecnie 8%, dzięki dynamicznemu rozwojowi handlu internetowego i postępującym technologiom informatycznym [4]. W tym kontekście wypracowanie nowatorskiego podejścia do procesów logistycznych, opartego na technologiach cyfrowych, stwarza perspektywę rozwoju dla firm na rynku TSL. Wzrastająca rola firm specjalizujących się w obszarach niszowych, takich jak moda czy produkty niebezpieczne, również zdaje się być obiecującą drogą rozwoju. W ramach tej złożonej struktury transport drewna stanowi wyzwanie, które wymaga specjalistycznych kompetencji. Spośród około 700 firm spedycyjnych tylko niewielka liczba podmiotów oferuje przewozy drewna.

Nowością na rynku TSL jest strategia wykorzystania pustych przewozów powrotnych. Dzięki takiej innowacji efektywność ekonomiczna przewozów może wzrosnąć, a negatywne skutki środowiskowe transportu zostaną zminimalizowane. W odróżnieniu od aktualnych praktyk, w których do przewozu drewna wykorzystywane są specjalistyczne wagony, a wagon wraca pusty, wnioskodawca proponuje wykorzystanie wagonu również w trasie powrotnej do transportu różnorodnych produktów przetwórstwa drewna oraz towarów pakietowanych, w tym w kontenerach.

Mając na uwadze dynamikę rozwoju i strategię przewozu towarów z wykorzystaniem rynku TLS oraz możliwości oferowane przez przewoźników kolejowych, zaprojektowano i wyprodukowano specjalistyczny kosz kłonicowy [5]. Charakteryzuje się on zdolnością dostosowania do przewozu kontenerów lub belek drewnianych, co umożliwi optymalne zagospodarowanie wagonów kolejowych. Regulowany rozstaw kłonic pozwala na transport elementów o zróżnicowanej długości, a elastyczność kosza umożliwia jego instalację na różnych typach wagonów.

Rozwinięta usługa przewozowa z wykorzystaniem innowacyjnego kosza kłonicowego wyróżnia się kompleksowością, elastycznością oraz możliwością zagospodarowania pustych przewozów powrotnych. Dzięki modułowej konstrukcji kosza usługa może obejmować transport drewna o różnych długościach oraz produktów pakietowanych, a także możliwość różnorodnych konfiguracji kontenerów. Wykorzystanie popularnych typów wagonów, mobilność i modułowość kosza przyczyniają się do konkurencyjności oferowanej usługi. W efekcie nowe podejście do przewozu drewna za pomocą kosza kłonicowego nie tylko przynosi korzyści ekonomiczne, ale także wpływa pozytywnie na aspekt ekologiczny, redukując emisję CO<sub>2</sub>.

Zaproponowane w Projekcie technologiczne rozwiązanie wielozadaniowego kosza kłonicowego w transporcie kolejowym stanowi podstawę do opracowania, wdrożenia oraz praktycznego wykorzystania nowego modelu logistycznego przewozu surowców drewnianych i gotowych wyrobów drewnianych. To podejście otwiera drogę do wprowadzenia innowacyjnej usługi logistycznej w obszarze transportu drewna przy użyciu kosza kłonicowego.

## **2. Rynek drzewny – potencjalne zapotrzebowanie na transport kolejowy**

Na polskim rynku drzewnym działa około 7,5 tysiąca firm, które przyczyniają się do 11% wartości dodanej w przetwórstwie przemysłowym, co przekłada się na około 30 miliardów złotych rocznie. W tym sektorze działają firmy meblarskie, producenci płyt z drewna, zakłady produkujące celulozę i papier, a także producenci tarcicy, palet, podłóg drewnianych, konstrukcji drewnianych oraz domów z drewna. Polska jest największym producentem podłóg drewnianych w UE, czwartym producentem mebli na świecie, drugim producentem płyt wiórowych oraz ósmym producentem tarcicy. Wartość sprzedaży mebli i produktów drewnianych w 2018 roku, według danych GUS, wyniosła aż 95 miliardów złotych. Znaczną część tej sprzedaży stanowi eksport, który szacowany jest na 11 miliardów złotych. To wpływa na potrzebę transportu aż 7 milionów metrów sześciennych drewna rocznie w ruchu międzynarodowym. Wzrastające zapotrzebowanie na drewno jest napędzane kwestiami ekologicznymi oraz tendencją do zastępowania plastiku surowcami naturalnymi.

## **3. Rynek TSL – poszukiwanie nowych modeli logistycznych**

Obecnie ponad połowa przychodów firm TSL pochodzi z zagranicy [6]. Polskie firmy TSL zajęły siódme miejsce w Europie pod względem wartości wydatków na logistykę wewnętrzną i zewnętrzną według rankingu opublikowanego w 2017 roku przez Instytut Fraunhofera. Wartość tych wydatków wyniosła 42,4 miliarda euro, z czego 7% (2,9 miliarda euro) przeznaczona jest na usługi związane z zarządzaniem łańcuchem dostaw.

W kontekście porównania firm z kapitałem polskim, zagranicznym i mieszanym średni przychód firm TSL z kapitałem zagranicznym lub mieszanym wynosi prawie

470 milionów złotych, podczas gdy w przypadku firm polskich to 247 milionów złotych. Różnice te wynikają nie tylko ze stopnia internacjonalizacji, ale także z przyjętych modeli biznesowych, w których wykorzystuje się nowoczesne technologie informacyjne do optymalizacji transportu i tworzenia sieci logistycznych.

Przyszłość rynku TSL sugeruje koncentrację i stopniowe zmniejszenie liczby podmiotów. Przetrwanie na rynku będzie zależało od innowacyjności oraz zdolności do kształtowania procesów logistycznych na szeroką skalę geograficzną. Rozwój transportu intermodalnego wskazuje na poszukiwanie nowych modeli. W 2017 roku masa ładunków w transporcie intermodalnym wzrosła o 1,9 miliona ton w porównaniu z rokiem 2016. Zostało przetransportowane łącznie 14,7 miliona ton ładunków intermodalnych, co stanowiło prawie 15% wzrostu w porównaniu z rokiem poprzednim. Rozwój transportu intermodalnego jest także odzwierciedlany w zwiększonej liczbie przewoźników, z 13 w 2016 roku do 18 w roku 2018.

## **4. Ekonomia transportu kolejowego w zakresie transportu drewna**

W kontekście ekonomicznym główną zaletą i nową jakością proponowanego rozwiązania na rynku krajowym jest możliwość zwiększenia efektywności operacji przewozowych. Polega to na pełnym wykorzystaniu pojemności środków transportu oraz minimalizacji pustych przebiegów. Redukcja pustych przebiegów stanowi kluczowy element, ponieważ przyczynia się do ograniczenia kosztów. Transport kontenerów tym samym wagonem umożliwia minimalizację tych pustych przebiegów i wprowadzenie innowacyjnej usługi logistycznej w odpowiedzi na rosnące zapotrzebowanie na przewozy intermodalne.

Ze względu na specyficzne potrzeby rynku transportu drewna usługa ta charakteryzować się będzie:

- większą dostępnością; ilość specjalistycznego taboru do przewozu drewna jest ograniczona, nowoczesna konstrukcja kosza umożliwi kompatybilność z różnymi typami platform kolejowych do przewozu kontenerów o różnych długościach, co z kolei umożliwi wykorzystanie istniejącego taboru. To niezależnia usługę logistyczną od jednego typu wagonów, chroniąc ją przed fluktuacją dostępności taboru specjalistycznego;
- szybkim uruchomieniem usługi; dzięki ułatwieniom w montażu i demontażu kłonic nowy model umożliwi stosunkowo szybkie wdrożenie usługi. W odróż-

nieniu od istniejących rozwiązań, gdzie kłonicie są montowane na stałe, nowe rozwiązanie pozwala na zainstalowanie kłonic bez konieczności demontażu całej platformy;

- wszechstronnością; nowa konstrukcja pozwala na przewóz różnorodnych ładunków bez dodatkowych czynności związanych z montażem lub demontażem taboru. W większości przypadków usługa ta będzie obejmować transport drewna okrągłego o różnych długościach – od 2 do kilkunastu metrów.
- niższym kosztem (i ceną); nowe rozwiązanie umożliwi obniżenie kosztów poprzez pełne wykorzystanie pojemności wagonów dzięki innowacyjnym mechanizmom mocowania ładunku oraz wykorzystanie transportów powrotnych. Obecnie takie transporty powrotne są przeważnie puste, co wpływa na koszty. Ostatecznie symulacyjny model będzie także wpływał na obniżenie kosztów, co pozwoli na optymalizację usługi pod względem kosztów, czasu, emisji CO<sub>2</sub> oraz wykorzystania zasobów. Ten model zostanie stworzony specjalnie w celu optymalizacji usług transportowych, z uwzględnieniem transportów powrotnych.

## **5. Zastosowanie modelu matematyczno-ekonometrycznego do optymalizacji przewozu drewna koszem kłonicowym z uwzględnieniem emisji CO<sub>2</sub>**

W dzisiejszym środowisku gospodarczym optymalizacja procesów transportu ma kluczowe znaczenie dla osiągnięcia efektywności oraz minimalizacji kosztów. W kontekście przewozów kolejowych, szczególnie na rynku drzewnym, ustalenie precyzyjnych założeń odgrywa kluczową rolę w projektowaniu i zarządzaniu siecią przewozową. Celem autorów niniejszego studium jest analiza i wyjaśnienie kluczowych założeń dotyczących przewozów kolejowych ze szczególnym uwzględnieniem kategorii przewozów drewna oraz innych ładunków.

Podjęcie odpowiednich decyzji we właściwym momencie odgrywa kluczową rolę w osiąganiu celów zarówno taktycznych, jak i strategicznych każdej organizacji. Właściwe zarządzanie zasobami ekonomicznymi i podejście oparte na racjonalności podpowiadają, że inwestycje finansowe powinny być proporcjonalne do działań realizowanych przez daną firmę. Stąd wynika potrzeba korzystania z narzędzi wspomagających proces decyzyjny, takich jak powszechnie stosowany arkusz kalkulacyjny. W porównaniu do



dedykowanych programów, jak na przykład otwartoźródłowy WinQSB (Windows Quantitative Support for Business), wykorzystanie arkusza kalkulacyjnego jest korzystne. Interfejs arkuszy kalkulacyjnych jest powszechnie znany użytkownikom, co ułatwia pracę. W przypadku dedykowanych programów użytkownik musi zaznajomić się z ich specyficznymi funkcjonalnościami. Niemniej jednak istnieje pewna wada, o której wspominał Dariusz Siudak, a mianowicie, że „stosowanie arkusza kalkulacyjnego może także prowadzić do błędów na etapie przygotowania i tworzenia modelu decyzyjnego w arkuszu” [7].

Założenia, jakie zostały przyjęte w arkuszu kalkulacyjnym do projektu ekonomicznego opartego na specjalistycznym koszu kłonicowym, zostały zaprezentowane poniżej.

Przewozy kolejowe są realizowane pomiędzy a priori zdefiniowanymi krajami, w których znajdują się stacje za- lub rozładunku. Wyróżnia się dwa główne rodzaje przewozów: przewozy główne (TAM), które zawsze są z ładunkiem oraz przewozy powrotne (POWRÓT), które mogą być z ładunkiem lub puste. Klienci mogą wybierać spośród dwóch kombinacji przewozów: TAM + POWRÓT na pusto lub TAM + POWRÓT z ładunkiem. Przewozy typu POWRÓT na trasie wyłącznie z ładunkiem nie są dopuszczalne. Uwzględniane są dwa rodzaje ładunków: drewno i inne ładunki (głównie skonteneryzowane) oraz przejazdy na pusto.

*Krajowe stacje załadunku dla tras TAM (z ładunkiem drewna): Czechy, Niemcy, Polska.* Krajowe stacje rozładunku dla tras TAM (z ładunkiem drewna) obejmują m.in. Austrię, Belgię, Bośnię i Hercegowinę, Bułgarię, Chorwację, Danię, Holandię, Kosowo, Luksemburg, Macedonię, Rumunię, Serbię, Słowację, Słowenię, Węgry, Włochy oraz Czechy, Niemcy i Polskę. Odległość przewozu jest mierzona jako suma dystansów granica–granica dla par wyżej wymienionych krajów oraz odległości do/od granicy od/do stacji załadunku i rozładunku. Czas przewozu uwzględnia długość tras pomnożoną przez prędkość handlową, liczbę granic na trasie, czas postoju na granicy i czas za- i wyładunku.

Przejazdy na pusto w ramach realizowanych tras są liczone jako suma odległości pomiędzy stacją rozładunku TAM a stacją załadunku POWRÓT oraz od stacji rozładunku POWRÓT do najbliższego „hub-u”/domyślnej stacji w Czechach (Břeclav), Niemczech (Frankfurt/Oder) lub Polsce (Rzepin). Przejazdy na pusto są ograniczone maksymalną długością.

Dla każdej trasy sprawdzane jest, czy przekracza maksymalną długość przejazdów na pusto. Jeśli przekracza, wyświetlany jest komunikat o nieefektywnej trasie. W przeciwnym razie obliczany jest szacunkowy koszt trasy na podstawie jednostkowego kosztu realizacji 1 tkm.

Precyzyjne założenia stanowią fundament optymalizacji przewozów kolejowych w kontekście transportu drewna oraz innych ładunków. Zrozumienie tych założeń jest kluczowe w projektowaniu efektywnych sieci przewozowych, minimalizacji kosztów i osiągnięciu zrównoważonego rozwoju w sektorze transportu kolejowego.

Dane zmienne zlecenia (dotyczące danego zlecenia/przewozu, wprowadzane przez klienta):

- wprowadzane z listy rozwijalnej
  - $k_{zt}$  – kraj załadunku TAM,  $k_{zt} \in \text{KZT}$  [-],
  - $k_{rt}$  – kraj rozładunku TAM,  $k_{rt} \in \text{KRT}$  [-],
  - $k_{zp}$  – kraj załadunku POWRÓT,  $k_{zp} \in \text{KZP}$  [-],
  - $k_{rp}$  – kraj rozładunku POWRÓT,  $k_{rp} \in \text{KRP}$  [-],
  - $P$  – czy powrót z ładunkiem, 0 – nie, 1 – tak [-],
  - $R_t$  – rodzaj ładunku, 0 – drewno, 1 – kontener, 2 – inny (nie ma znaczenia dla dalszych analiz, a jedynie znaczenie informacyjne dla WPR) [-];
- pola tekstowe
  - $s_{zt}$  – stacja załadunku TAM (współrzędne geograficzne odpowiednio szerokość  $\varphi_{szt}$  i długość  $\lambda_{szt}$  oraz miasto, nie ma znaczenia dla dalszych analiz, a jedynie znaczenie informacyjne dla WPR) [-],
  - $s_{rt}$  – stacja rozładunku TAM (współrzędne geograficzne  $\varphi_{rt}$  i  $\lambda_{rt}$  oraz miasto) [-],
  - $s_{zp}$  – stacja załadunku POWRÓT (współrzędne geograficzne  $\varphi_{szp}$  i  $\lambda_{szp}$  oraz miasto) [-],
  - $s_{rp}$  – stacja rozładunku POWRÓT (współrzędne geograficzne  $\varphi_{srp}$  i  $\lambda_{srp}$  oraz miasto) [-],
  - $M\mathcal{L}_t$  – masa całkowita brutto ładunku TAM [t],
  - $M\mathcal{L}_p$  – masa całkowita brutto ładunku POWRÓT [t],
  - $D_z$  – data rozpoczęcia załadunku (DDMMRRRR) [-] (nie ma znaczenia dla dalszych analiz, a jedynie znaczenie informacyjne dla WPR).

Dane stałe (podlegające aktualizacji w dłuższym okresie):

- $MS\%$  – procentowy udział masy własnej pustego, całego składu w masie ładunku  $M\mathcal{L} = 68,5$  [%];
- $O_{kk'}$  – macierz symetryczna odległości drogowych kraj–kraj (granica–granica),  $k \neq k'$  [km];
- $G_{kk'}$  – macierz symetryczna liczby granic kraj–kraj,  $k \neq k'$  [-];

**Uwaga:** W przypadku krajów sąsiadujących, np. Polska–Czechy, odległość  $O_{kk'} = 0$  km, liczba granic  $G_{kk'} = 1$ !

- $WG_{kk'}$  – macierz współrzędnych geograficznych punktów granicznych kraj–kraj odpowiednio szerokość  $\varphi_{kk'}$  i  $\varphi_{k'k}$  oraz długość  $\lambda_{kk'}$  i  $\lambda_{k'k}$ ,  $k \neq k'$  [-],
- $\varphi_h$  – szerokość geograficzna hab-u  $h$ ,  $h = 1$  Czechy,  $h = 2$  Niemcy,  $h = 3$  Polska [-],
- $\lambda_h$  – długość geograficzna hab-u  $h$ ,  $h = 1$  Czechy,  $h = 2$  Niemcy,  $h = 3$  Polska [-],
- $PnP_{\max}$  – maksymalna długość przejazdów na pusto na jednej trasie [km],
- $Cz_{sr.}$  – średni czas trwania załadunku składu [dzień],
- $Cr_{sr.}$  – średni czas trwania rozładunku składu [dzień],
- $Cg_{sr.}$  – średni czas postoju składu na granicy [dzień],
- $Vh_{sr.}$  – średnia prędkość handlowa składu [km/h],
- $WRT$  – współczynnik rozwinięcia tras z odległości euklidesowej/liniowej do drogowej, np. 100 [km/stopień geograficzny],
- $P^Z$  – koszty zmienne, jednostkowe przewoźnika [zł/tkm],
- $E'$  – emisja jednostkowa CO<sub>2</sub> [g/tkm],
- $Z$  – zakładany średni zysk/narzut na koszty [%].

**Uwaga:** wszystkie współrzędne podawane w układzie dziesiętnym!

Cena realizacji pojedynczej trasy  $CT_{kstp}$  [zł]:

$$\begin{aligned}
 CT_{kstp} = & \{ (D_{szt \ gk'k'} + O_{k \Rightarrow kzt \ k \Rightarrow krt} + D_{gk'k \ srt} ) \\
 & \cdot (M\dot{L}_t + M\dot{L}_t \cdot MS_{\%} + M\dot{L}_t \cdot MS_{\%} \cdot (1 - P) \\
 & + [(D_{srt \ gk'k} + O_{k \Rightarrow krt \ k \Rightarrow kzp} + D_{gk'k \ srt} ) \cdot (M\dot{L}_t + MS_{\%} ) \\
 & + (D_{szp \ gk'k'} + O_{k \Rightarrow kzp \ k \Rightarrow krp} + D_{gk'k \ srp} ) \cdot (M\dot{L}_p + M\dot{L}_t \cdot MS_{\%} ) \\
 & + \left( D_{srp \ gk'k} + \min_h O_{k \Rightarrow krp \ k \Rightarrow h} + D_{gk'k \ h} \right) \cdot (M\dot{L}_t \cdot MS_{\%} ) \} \cdot P \cdot P^Z \cdot (1 + Z). \quad (1)
 \end{aligned}$$

**Uwaga:** masa netto składu (tara) na całej trasie odnosi się do masy ładunku TAM (inaczej byłaby zmienna, wysłany skład TAM jedzie też na POWRÓT).

**Uwaga:** składnik w nawiasie kwadratowym [...] domyślnie wylicza się za każdym razem, ale ostatecznie jest mnożony przez  $P$ , czyli 0 lub 1, zależnie od tego, czy POWRÓT odbywa się z ładunkiem lub bez, jak bez wartość w ww. nawiasie nie ma znaczenia, zeruje się. Przeliczenie na jednostki miary euro do złotego, gdzie:

$D_{...}$  – dystans odcinków początkowych lub końcowych tras liczony na bazie współrzędnych geograficznych jako odległość euklidesowa (po linii prostej) mnożona przez współczynnik rozwinięcia tras  $WRT$  (= 100 [km/stopień])  
 – postać ogólna:

$$D_{...} = WRT \cdot \sqrt{(\lambda_{...} - \lambda_{...})^2 + (\varphi_{...} - \varphi_{...})^2}; \quad (2)$$

... = odpowiednia lokalizacja, np.:

$$D_{szt\ kkk'} = WRT \cdot \sqrt{(\lambda_{szt} - \lambda_{kk'})^2 + (\varphi_{szt} - \varphi_{kk'})^2}, \quad (3)$$

$g$  – granica, np.  $gkk'$  – punkt na granicy kraju  $k$  przy trasie do kraju  $k'$  (TAM),  $gk'k$  – punkt na granicy kraju  $k'$  przy trasie do kraju  $k$  (POWRÓT), przy ograniczeniach:

$$900 \leq M\bar{L} \leq 1400 \text{ [t]}.$$

Czas realizacji pojedynczej trasy  $TT_{idzr}$  pomiędzy stacją pierwszego załadunku a stacją ostatniego rozładunku, bez powrotu na pusto lub powrotu do hab-u [dzień]:

$$\begin{aligned} TT_{kstp} = & \left\{ \left( D_{szt\ gkk'} + O_{k \Rightarrow kzt\ k \Rightarrow krt} + D_{gk'k\ srt} \right) \right. \\ & + \left[ \left( D_{srt\ gk'k} + O_{k \Rightarrow krt\ k \Rightarrow kzp} + D_{gkk'\ srt} \right) \right. \\ & + \left. \left( D_{szp\ gkk'} + O_{k \Rightarrow kzp\ k \Rightarrow krp} + D_{gk'k\ srp} \right) \right. \\ & \left. \left. \left( D_{srp\ gk'k} + \min_h O_{k \Rightarrow krp\ k \Rightarrow h} + D_{gkk'\ h \Rightarrow \min_h O_{k \Rightarrow krp\ k \Rightarrow h}} \right) \right] \cdot P \right\} \cdot \frac{1}{24 \cdot Vh_{sr.}} \\ & + (Cz_{sr.} + Cr_{sr.}) \cdot (1 + P) \\ & + \left[ G_{k \Rightarrow kzt\ k \Rightarrow krt} + \left( G_{k \Rightarrow krt\ k \Rightarrow kzp} + G_{k \Rightarrow kzp\ k \Rightarrow krp} \right) \cdot P \right] \cdot Cg_{sr.} \end{aligned} \quad (4)$$

Wzór (4) można podzielić na składowe, ze względu na czas jazdy, czas przeładunków (za/wy), czas pobytu na granicach.

Emisja CO<sub>2</sub> w efekcie realizacji pojedynczej trasy  $ET_{idzr}$  [g/t netto]:

$$\begin{aligned} ET_{kstp} = & \left\{ \left( D_{szt\ gkk'} + O_{k \Rightarrow kzt\ k \Rightarrow krt} + D_{gk'k\ srt} \right) \right. \\ & \cdot \left( M\bar{L}_t + M\bar{L}_t \cdot MS_{\%} + M\bar{L}_t \cdot MS_{\%} \cdot (1 - P) \right) \\ & + \left[ \left( D_{srt\ gk'k} + O_{k \Rightarrow krt\ k \Rightarrow kzp} + D_{gkk'\ srt} \right) \cdot \left( M\bar{L}_t \cdot MS_{\%} \right) \right. \\ & + \left. \left( D_{szp\ gkk'} + O_{k \Rightarrow kzp\ k \Rightarrow krp} + D_{gk'k\ srp} \right) \cdot \left( M\bar{L}_p + M\bar{L}_t \cdot MS_{\%} \right) \right. \\ & \left. \left. \left( D_{srp\ gk'k} + O_{k \Rightarrow krp\ k \Rightarrow h} + D_{gkk'\ h} \right) \cdot \left( M\bar{L}_t \cdot MS_{\%} \right) \right] \cdot P \right\} \cdot \frac{E^j}{M\bar{L}_t + M\bar{L}_p}. \end{aligned} \quad (5)$$

Ostateczny model kosztowy wypracowany na potrzeby projektu można zapisać w postaci wzoru (6):

$$\begin{aligned}
 k_c = & (s_{ab} \cdot (m_{lab} + m_t) + s_{ab} \cdot m_t) \cdot k_{tkm}(m_{lab}, m_t, 1, 95s_{ab}) \\
 & + ((s_{bc} + s_{da}) \cdot m_t + s_{cd} \cdot (m_{icd} + m_t)) \\
 & \cdot k_{tkm}(m_{icd}, m_t, (s_{ab} + s_{bc} + s_{cd} + s_{da})),
 \end{aligned} \tag{6}$$

gdzie:

$s_{ab}$  – droga TAM z ładunkiem,

$s_{bc}$  – droga dojazdu po ładunek powrotny,

$s_{cd}$  – droga POWRÓT z ładunkiem,

$s_{da}$  – droga dojazdu do stacji odstawczej,

$m_{lab}$  – masa ładunku TAM,

$m_{icd}$  – masa ładunku POWRÓT,

$m_t$  – masa tara składu pociągu,

$k_{tkm\ brutto}$  – koszt tonokilometra brutto (tzn. dla masy brutto składu pociągu),

$k_{tkm\ netto}$  – koszt tonokilometra netto (tzn. tylko dla masy przewiezionego ładunku),

$k_c$  – koszt całkowity usługi przewozowej świadczonej przez przewoźnika kolejowego,

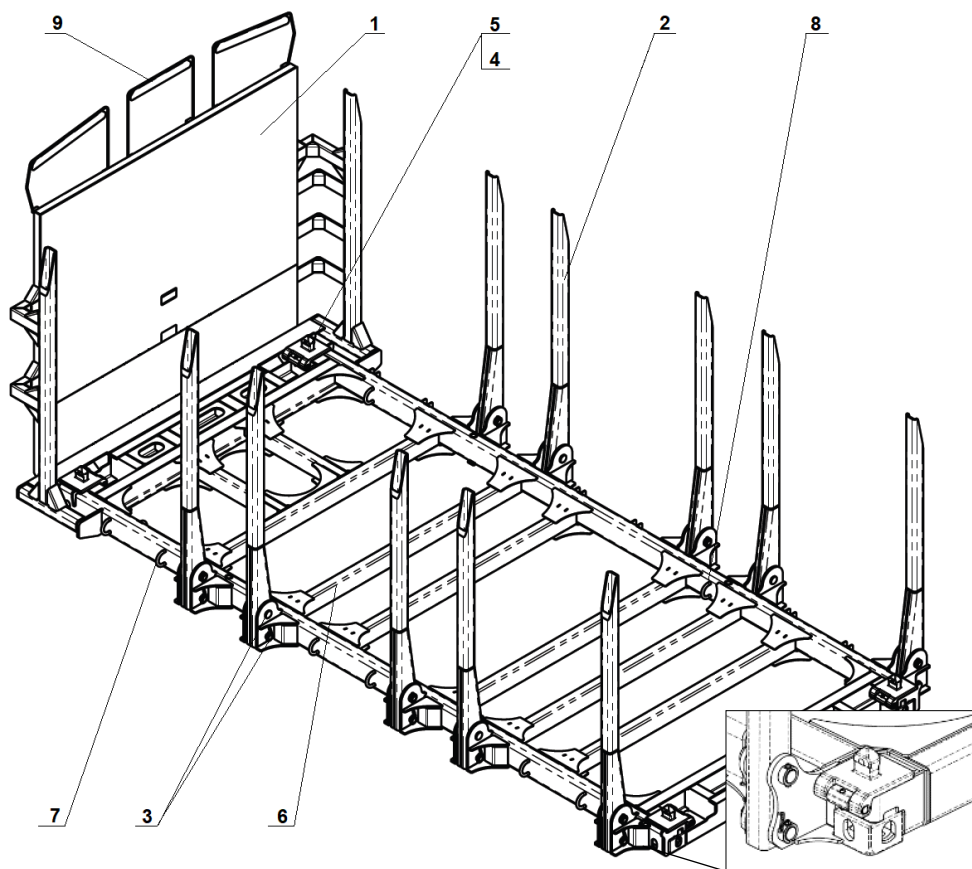
zysk w  $k_{tkm\ netto}$  – procentowy zysk kosztu przewiezienia 1 tony ładunku na odcinku 1 km w przypadku wykonania przewozu ładunku powrotnego względem kosztu przewozu ładunku tylko w 1 stronę.

W przypadku masy ładunku powrotnego o wartości 0 model zwraca wyłącznie szacunkową cenę wykonania przewozu z ładunkiem TAM i powrotem na próżno – wówczas parametry  $s_{bc}$ ,  $s_{cd}$ ,  $s_{da}$  są w obliczeniach pomijane. W przypadku niezerowej masy ładunku powrotnego model oblicza koszt dodatkowego tonokilometra w zależności od długości trasy i masy tego ładunku, a następnie cena przewozu dodatkowego jest doliczana do ceny podstawowej.

## 6. Konstrukcja kosza kłonicowego

Kosz kłonicowy przeznaczony jest m.in. do transportu drewna o zróżnicowanej długości, tj. o długości 2 m, 2,5 m, 3 m, 4 m, 5 m, 6 m, 11 m i 12 m. Aby zapewnić możliwość transportu krótkich kłód drewna, kosz kłonicowy wyposażono w ścianę czołową (poz. 1 na rys. 1). Boczną stabilizację przewożonego ładunku zapewniają kłonicie (poz. 2 na rys. 1), które do konstrukcji nośnej kosza są montowane przy użyciu sworzni (poz. 3 na rys. 1). Zastosowane rozwiązanie ułatwia szybką wymianę kłonic w przypadku ich uszkodzenia bez konieczności wyłączania wagonu z eksploatacji. Dodatkowo po złożeniu wszystkich kłonic kosze można postawić jeden na drugim, co pozwala na zmi-

nimalizowanie powierzchni, na której składowane są niewykorzystywane kosze. Wzdłużne rozmieszczenie kłonic zapewnia możliwość transportu drewna z zachowaniem styku każdego ze stosów z co najmniej jedną kłodą na każdy metr długości. W trakcie transportu ładunek zabezpieczany jest dodatkowo pasami. Do mocowania pasów służą uszy (poz. 7 na rys. 1) przymocowane po obu stronach podłużnicy. Podłoga kosza wykonana jest z poprzecznic (poz. 6 na rys. 1), na których może spoczywać przewożony ładunek. Dzięki takiemu rozwiązaniu kosz może być montowany również na wagonach bez podłogi.



Rys. 1. Kosz kłonicowy

Kosze kłonicowe przystosowane są do transportu na wagonach platformach do przewozu kontenerów. W każdym narożu kosza umieszczone jest klasyczne gniazdo kontenerowe (poz. 4 na rys. 1). Rozstaw gniazd, zarówno wzdłużny, jak i poprzeczny,

jest taki sam jak w kontenerze 20-stopowym. W związku z tym kosze kłonicowe mogą być ustawione na wagonach platformach przystosowanych do przewozu kontenerów: 40-stopowych (na wagonie ustawiane są 2 kosze kłonicowe ze ścianami czołowymi), 60-stopowych (na wagonie ustawiane są 2 kosze kłonicowe ze ścianami czołowymi, a pomiędzy nimi kosz kłonicowy bez ściany czołowej) oraz 80-stopowych (na wagonie ustawiane są  $2 \times 2$  kosze kłonicowe ze ścianami czołowymi). Zastosowanie klasycznych gniazd kontenerowych umożliwia mocowanie koszy na wagonach platformach przy użyciu czopów kontenerowych. Dodatkowo nad gniazdem kontenerowym umieszczono składany trzpień kontenerowy (poz. 5 na rys. 1). W trakcie transportu drewna lub innej dłuźcy chowany jest on do specjalnej kieszeni. W przypadku gdy przewoźnik ma zapotrzebowanie na przewóz kontenerów, a na wagonach umieszczone są próżne kosze kłonicowe, to może rozłożyć trzpień kontenerowy i ustawić na nich kontenery. Rozstaw trzpień kontenerowych jest taki sam jak w kontenerach 20-stopowych. Rozstaw kłonic powala wstawić w środek kosz kontener. Kosz kłonicowy wyposażony jest również w uszy (poz. 8 na rys. 1) wykorzystywane przy jego załadunku i rozładunku z użyciem urządzeń dźwigowych. Czas załadunku kosza na wagon jest krótszy od czasu załadunku kontenera przy użyciu niespecjalistycznych urządzeń dźwigowych. Czas zdejmowania kosza z wagonu jest również krótszy niż rozładunek kontenera.

Dodatkowymi elementami, niewpływającymi bezpośrednio na funkcjonowanie kosza, ale znacznie usprawniającymi jego załadunek są wskaźniki skrajni (poz. 9 na rys. 1). Rozłożone wskaźniki podczas załadunku wagonu dłuźcą (drewnem) umożliwiają ekipie załadunkowej na bieżąco monitorowanie wielkości naddatku nad kłonicami. Podczas transportu wskaźniki mogą być złożone.

Konstrukcja mobilnej platformy do przewozu drewna i kontenerów w transporcie kolejowym, w skrócie nazywana koszem kłonicowym, jest chroniona patentem nr 242608 [8].

## 7. Badania kosza kłonicowego

Przystępując do badań należało odpowiedzieć na pytanie, jakie normy i kryteria należy zastosować przy badaniu konstrukcji kosza kłonicowego. Kosz kłonicowy nie jest elementem wagonu. W trakcie eksploatacji z punktu widzenia przewoźnika traktowany jest jako ładunek wagonu. Konstrukcja kosza kłonicowego nie odpowiada również konstrukcji kontenera, dlatego też nie podlega badaniom, jakim są poddawane konte-

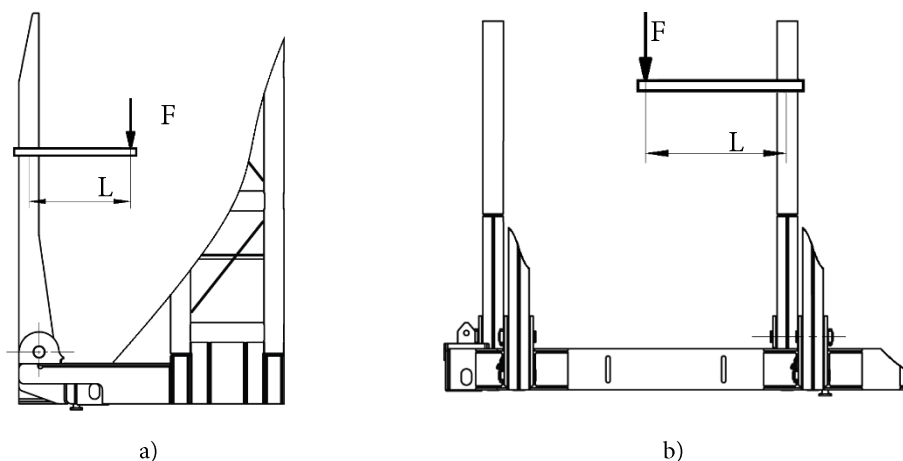


nery morskie. Ze względu na to, że kosz kontenerowy będzie eksploatowany w warunkach kolejowych, zdecydowano się implementować do badań niektóre wymagania i normy wykorzystywane podczas badań wagonów towarowych.

Wytrzymałość konstrukcji kosza kłonicowego w pierwszej kolejności została potwierdzona za pomocą obliczeń numerycznych – metodą elementów skończonych (MES). Modele obliczeniowe, analizę i prezentację wyników wykonano w programie Altair HyperMesh 2017. W obliczeniach MES uwzględniono 11 przypadków obciążeń nadzwyczajnych oraz 10 przypadków obciążeń zmęczeniowych kosza kłonicowego. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń uzyskano mapę odkształceń i naprężeń w konstrukcji kosza. Do oceny wytrzymałości zmęczeniowej przyjęto kryteria podane w normie PN-EN 12663-2 [9].

Kolejnym etapem badań były badania wytrzymałościowe przeprowadzone na rzeczywistym koszu kłonicowym. W badaniach tych przyjęto założenie, że poszczególne elementy konstrukcji urządzenia powinny spełniać takie same wymagania jak odpowiednie elementy wagonów towarowych. Dlatego też przy badaniach kosza kłonicowego implementowano wymagania i kryteria oceny podane w normie PN-EN 12663-2 [9].

Kłonicę w koszu zostały zaprojektowane jako słupki o dużej wytrzymałości. W takim przypadku norma [9] w punkcie 7.10.2 zaleca, aby badane słupki (kłonicę) wytrzymały moment 42 kNm przyłożony w kierunku poprzecznym oraz 15 kNm przyłożony w kierunku wzdłużnym.



Rys. 2. Schemat przyłożenia siły podczas badania wytrzymałości kłonic:  
a) w kierunku poprzecznym, b) w kierunku wzdłużnym

W punkcie 7.10.1 normy [9] podano następujące kryterium oceny kłonic: „*Podczas badań dopuszczalne naprężenia nie powinny zostać przekroczone na słupku lub na jego mocowaniu. Ponadto, w wyniku badań, nie powinny pozostać naprężenia szczątkowe lub znaczące trwałe odkształcenia*”. Przed przystąpieniem do badań dokonano analizy obliczeń wytrzymałościowych MES, na podstawie której wyznaczono miejsca naklejenia tensometrów foliowych. Tensometry naklejono na wytypowanej kłonicy w miejscu zmiany jej przekroju poprzecznego, w osi sworzni na elemencie mocującym kłonicę do podłużnicy oraz w miejscu wzmocnienia mocowania kłonicy do podłużnicy. Do kłonicy zamontowano poprzeczną belkę, do której za pomocą siłownika hydraulicznego przyłożono narastającą siłę  $F$ . Odległość przyłożenia siły od osi kłonicy wynosiła  $L = 1$  m. W przypadku badania kłonicy w kierunku poprzecznym moment obciążający słup został przyłożony zgodnie z rys. 2a, natomiast w przypadku badania kłonicy w kierunku wzdłużnym moment siły został przyłożony jak pokazano na rys. 2b. Dobór odległości przyłożenia siły od osi słupa ( $L = 1$  m) umożliwił łatwą kontrolę przykładanego momentu. Rejestrowana wartość siły była jednocześnie momentem działającym na kłonicę. Podczas badań za pomocą tensometrów mierzono również odkształcenia [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ], które następnie przeliczano na naprężenia [MPa]. W żadnym punkcie pomiarowym nie zarejestrowano naprężeń przekraczających dopuszczalne wartości dla stali użytej do produkcji kłonic. Na kłonicach nie zauważono trwałych odkształceń, a zarejestrowane naprężenia szczątkowe były znikome.

Ściana czołowa kosza kłonicowego jest wykonana z konstrukcji stalowej poszytej blachą, aby podczas zderzeń wagonów nie wysunęły się z kosza transportowane kłody drewna. Całe obciążenie w kierunku wzdłużnym ściany czołowej kosza, pochodzące od ładunku, przenoszone jest do konstrukcji kosza poprzez pionowe słupy ściany czołowej. Zatem słupy te można potraktować jako kłonicę czołową, dla których norma PN-EN 12663-2 [9] w punkcie 7.10.3 podaje wymaganie dotyczące obciążenia kłonic czołowych. Zgodnie z powyższym punktem normy [9] „*kłonicę zamontowaną na wagonie powinna przejąć, skierowane na zewnątrz od wewnątrz, obciążenie poziome o wartości 80 kN przyłożone 350 mm powyżej górnej powierzchni podłogi*”. Jako powierzchnię podłogi przyjęto płaszczyznę poziomą przechodzącą przez połączenie ściany czołowej z podłużnicami kosza. Do oceny wytrzymałości kłonic czołowych przyjmuje się również kryterium podane w punkcie 7.10.1 normy PN-EN 12663-2 [9]. Miejsca naklejenia tensometrów po zewnętrznej stronie ściany czołowej wytypowano na podstawie obliczeń MES. Zasadniczy pomiar polegał na obciążeniu za pomocą siłownika hydraulicznego kłonicy (słupa) siłą narastającą do wartości nominalnej  $F = 80$  kN. Równoległe z pomiarem siły mierzono także odkształcenia [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ] w punktach tensometrycz-

nych, które następnie przeliczono na wartości naprężeń [MPa]. Po osiągnięciu wymaganej wartości siły zdjęto obciążenie z kłonicy czołowej. W żadnym punkcie pomiarowym nie zarejestrowano naprężeń przekraczających dopuszczalne wartości dla stali użytej do produkcji kłonic czołowych. Zarówno na badanym słupie, jak i w okolicy mocowania słupa do konstrukcji nośnej kosza nie zauważono trwałych odkształceń, a zarejestrowane naprężenia szczątkowe były znikome.

Następnym etapem badań wytrzymałościowych były badania „dynamiczne”, które zostały przeprowadzone na Badawczej Górcie Rozbiegowej (BGR). Podczas badań kosze kłonicowe umieszczono na wagonie platformie serii Rgmms (wagon 40'). Kosze do wagonu zamocowano za pomocą czopów kontenerowych. W pierwszej kolejności przeprowadzono badania wagonu z koszami w stanie próżnym. Badanie polegało na nabieganiu wagonu węglarki serii Eas (wagon taran) o masie 79,9 t na wagon badany, tj. wagon platformę z koszami kłonicowymi. W przypadku tych wagonów, które nie są rozrządzane na górkach, norma PN-EN 12663-2 [9] w punkcie 8.2.2 zaleca przeprowadzenie badań z różnymi prędkościami nieprzekraczającymi wartości 7 km/h. Dla wagonów w stanie próżnym przeprowadza się krótką serię nabiegań. Badanie ma na celu sprawdzenie mocowania urządzeń do konstrukcji badanego obiektu. Podczas badań mierzone były siły pod zderzakami (czujniki umieszczone na wagonie taranie), prędkość wagonu nabieganego tuż przed zderzeniem oraz za pomocą tensometrów foliowych odkształcenia w wytypowanych na podstawie obliczeń MES punktach pomiarowych. Odkształcenia w punktach tensometrycznych przeliczono następnie na naprężenia. Po zakończeniu zderzeń wagonu platformy z próżnymi koszami kłonicowymi nie stwierdzono żadnych widocznych deformacji konstrukcji. Zarejestrowane naprężenia nie przekraczały wartości granicznych dla materiału użytego przy budowie kosza kłonicowego.

Następnie kosze kłonicowe obciążono kłódami drewna o długości 2,0 m, które w celu zapobiegnięcia unoszeniu w trakcie nabiegań zabezpieczono pasami. Podczas załadunku zarejestrowano odkształcenia (naprężenia) w punktach tensometrycznych. Do koszy włożono drewno o masie 38,8 t.

Badania wytrzymałościowe wagonu (kosza) w stanie ładownym przebiegały analogicznie jak dla wagonu obciążonego próżnymi koszami. Różnica polegała jedynie na liczbie nabiegań. W przypadku wagonu ładownego norma [9] w punkcie 8.2.4 przewiduje przeprowadzenie 40 nabiegań zasadniczych. Badanie to ma na celu sprawdzenie wytrzymałości obiektu badanego. Nabiegania wagonu (w tym przypadku kosza) w stanie ładownym odzwierciedlają obciążenie obiektu badań w czasie 16 lat eksploatacji na kolei. Dla badań wagonu w stanie ładownym norma PN-EN 12663-2 [9] w punkcie 8.3 podaje następujące kryteria oceny:

- łączne naprężenia szcztątkowe wynikające z wstępnych badań i 40 serii zderzeń powinny być mniejsze niż 2‰ i powinny być ustabilizowane przed 30 serią,
- odchylenie wymiarów nie powinno osłabiać systemu bezpieczeństwa wagonu.

Przeprowadzono 40 prób zasadniczych z prędkościami  $v = 7,0$  km/h. Po zakończeniu przeprowadzonej serii zderzeń wagonu w stanie ładownym nie stwierdzono żadnych widocznych deformacji konstrukcji koszy kłonicowych. Zarejestrowane naprężenia nie przekraczały wartości granicznych dla materiału użytego przy budowie kosza kłonicowego. Naprężenia szcztątkowe ustabilizowały się przed 30 uderzeniem. Suma naprężeń szcztątkowych dla poszczególnych punktów pomiarowych nie przekroczyła 2‰.

W ostatnim badaniu kosz kłonicowy obciążono próżnym kontenerem 20'. Mocowanie kontenera do konstrukcji kosza zostało zrealizowane za pomocą czopów kontenerowych. Nabiegania przeprowadzono tak jak dla wagonu obciążonego próżnymi koszami kłonicowymi. Po zakończeniu zderzeń wagonu platformy obciążonej koszami kłonicowymi i próżnym kontenerem nie stwierdzono żadnych widocznych deformacji konstrukcji.

## 8. Podsumowanie

Ekonomia transportu kolejowego w obszarze rynku drzewnego stanowi istotny filar funkcjonowania sektora leśnego. Charakteryzujący się sezonowością popytu oraz konkurencją z innymi środkami transportu ten sektor stoi przed wyzwaniami, które mogą być przewyciężone poprzez innowacje technologiczne, optymalizację logistyczną oraz współpracę między podmiotami. Perspektywy tego sektora mogą być obiecujące pod warunkiem podejmowania odpowiednich kroków w kierunku poprawy ekonomii transportu kolejowego w obszarze przewozów drewna.

Realizacja projektu opierała się na budowie kosza kłonicowego o odpowiednich parametrach techniczno-funkcjonalnych oraz na wdrożeniu innowacyjnej usługi transportowej drewna na terenie Polski i Europy. Kosz kłonicowy, wykazujący cechy modułowości, wielozadaniowości, hybrydowości i mobilności, pozwala na sprawną eksploatację oraz przewozy zarówno drewna dłużykowego, jak i kontenerów czy produktów pakietyzowanych. Odpowiednio zaprojektowany kosz umożliwia przewozy powrotne, minimalizując przebiegi puste i wpływając na wskaźniki emisji, co prowadzi do osiągnięcia przewagi konkurencyjnej.

Zaprezentowana usługa transportowa jest innowacyjna i cechuje się licznymi zaletami, takimi jak: wykorzystanie pustych transportów powrotnych, większa dostępność na rynku, skrócony czas realizacji, wszechstronność, niższe koszty oraz możliwość obsługi

klienta za pomocą narzędzi informatycznych. Opracowanie tej usługi na poziomie charakteryzującym się innowacyjnością pozwoliło na stworzenie propozycji odpowiadającej obecnym wymaganiom rynku przewozów drewna.

Zastosowanie Modelu Decyzyjnego dotyczącego efektywności ekonomicznej i ekologicznej z wykorzystaniem kosza kłonicowego pozwoliło na opracowanie modelu matematycznego. Model ten, umożliwiający analizę różnych wariantów usługi, pozwolił na ocenę efektywności ekonomicznej i ekologicznej. Dzięki niemu możliwe jest obniżenie kosztów, zmniejszenie czasu realizacji oraz zwiększenie dostępności na rynku. Przedsięwzięcie to nie tylko zapewnia korzyści firmie, lecz także przyczynia się do poprawy wskaźników zrównoważonego rozwoju.

Podsumowując, ekonomia transportu kolejowego na rynku drzewnym wyznacza kierunki rozwoju sektora leśnego. Innowacje, optymalizacja oraz współpraca stanowią klucz do osiągnięcia zrównoważonej i efektywnej eksploatacji, mającej wpływ zarówno na aspekty ekonomiczne, jak i ekologiczne. Przedsięwzięcia, takie jak projekt kosza kłonicowego i innowacyjne usługi, odzwierciedlają istotę zmian, które wprowadzają do branży transportowej i leśnej.

Na podstawie zarówno badań numerycznych, jak i badań przeprowadzonych na rzeczywistym obiekcie – koszu kłonicowym potwierdzono wytrzymałość konstrukcji poszczególnych elementów (np. kłonic) oraz całego kosza kłonicowego. Tym samym kosze kłonicowe mogą być bezpiecznie eksploatowane na wagonach platformach.

## Literatura

- [1] ROGACZEWSKI R., ZIEMKIEWICZ S., ZIMNY A., *Transport i logistyka w przedsiębiorstwie, mieście i regionie. Wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Naukowe Sophia, Katowice 2017, s. 52.
- [2] Urząd Transportu Kolejowego, *Grupy towarowe w transporcie kolejowym*, Warszawa 2018.
- [3] FECHNER I., *Zarządzanie łańcuchem dostaw*, Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań 2007, s. 17.
- [4] FECHNER I., Szyszka G. (red.), *Logistyka w Polsce. Raport 2017*, Biblioteka Logistyka, Poznań 2018, s. 22.
- [5] *Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój. Projekt realizowany w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju Szybka Ścieżka*.
- [6] BRDULAK H., *Ranking firm TSL 2017*, Gazeta Prawna, czerwiec 2017.
- [7] SIUDAK D., *Badania operacyjne z wykorzystaniem WinQSB*, C.H. Beck, Warszawa 2014, s. 11.
- [8] Dokument Patentowy. Patent nr 242608 na wynalazek pt. „Mobilna platforma do przewozu drewna i kontenerów w transporcie kolejowym”. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa, dnia 2023-03-20.
- [9] PN-EN 12663-2:2010. *Kolejnictwo. Wymagania wytrzymałościowe dla nadwozi pojazdów szynowych. Część 2: Wagony towarowe*.

# Wstępne wyniki badań ogranicznika momentu mechanicznego w napędzie zwrotnicowym z prototypowym sprzęgłem magnetycznym

## Preliminary test results of the mechanical torque limiter in point machine with a prototype magnetic clutch

PAWEŁ PISTELOK<sup>1</sup>, MARCIN ADAMIAK<sup>1</sup>, ALEKSANDER PEŁKA<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice

<sup>2</sup> ALSTOM POLSKA S.A. – Oddział w Katowicach, ul. Modelarska 12, 40-142 Katowice

**Abstrakt:** Transport szynowy ma wiele zalet, chociażby pod kątem ilości transportowanego towaru czy liczby pasażerów przewyższa możliwości transportu drogowego, tak mocno rozpowszechnionego w XXI wieku. We wszystkich rodzajach transportu szynowego, jak np. kolej, tramwaje czy metro, najważniejszym aspektem jest zapewnienie bezpieczeństwa podczas transportu. Droga kolejowa składa się z wielu elementów, takich jak rozjazdy kolejowe, urządzenia przytorowe czy sygnalizacyjne. Bezpieczne prowadzenie ruchu kolejowego jest uzależnione nie tylko od utrzymania bezpiecznego rozjazdu kolejowego, ale również od poprawnego funkcjonowania napędu zwrotnicowego. W artykule przedstawiono zagadnienie elektrycznych napędów zwrotnicowych w aspekcie wykorzystania w ich konstrukcji nowoczesnych ograniczników momentu mechanicznego, opartych na magnesach trwałych. Rozwój konstrukcji tych urządzeń jest warunkowany wymaganiami kolejowymi oraz koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa, niezawodności, stabilności ruchu kolejowego wraz z utrzymaniem wysokiej jakości infrastruktury transportu kolejowego. W pracy przeanalizowano wymagania stawiane napędem zwrotnicowym, aby zapewnić właściwą eksploatację i wymagane parametry rystyki przenoszenia momentu mechanicznego przez układ: silnik elektryczny–przekładnie mechaniczne–suwaki napędu zwrotnicowego. Przeanalizowano możliwe do zastosowania konstrukcje operacyjne w zakresie charakterystyk ograniczników momentu mechanicznego, ze wskazaniem najbardziej odpowiedniego rozwiązania do napędu zwrotnicowego, z uwzględnieniem kryterium kosztowego i dostępności materiałów potrzebnych do produkcji tego typu urządzeń.

**Abstract:** Rail transport has many advantages, which, in terms of the amount of goods or people transported, exceeds the possibilities of road transport, which is so popular in the 21st century. In all types of rail transport, such as railways, trams or metro, the most important aspect is ensuring safety during transport. A railway road consists of many elements, such as railway turnouts, trackside and signalling devices. Safe railway traffic depends not only on the maintenance of the railway turnout, but also on the proper functioning of the switch drive. The article presents the area of electric switch drives in terms of the use of modern mechanical torque limiters based on permanent magnets in their construction. The development of the design of these devices is imposed by railway requirements and the need to ensure the safety, reliability and durability of railway traffic along with maintaining high quality railway transport infrastructure. The publication analysed the requirements for point machines in terms of ensuring proper operation, ensuring the required operational parameters in terms of the characteristics of mechanical torque transmission by the system: electric motor–mechanical gears–the drive bars of point machine. Possible designs of mechanical torque limiters were analysed, indicating the most appropriate solution for the point machine, considering the cost criterion and the availability of raw materials needed for the production of this type of devices.

## 1. Wprowadzenie

Napędy zwrotnicowe od momentu wynalezienia kolei ciągle są rozwijane. Począwszy od stricte mechanicznych napędów ręcznych na samym początku, poprzez dźwignie zwrotnicowe (ciągnowe, linkowe), po napędy zwrotnicowe sterowane elektrycznie. Wszystkie te urządzenia mają jeden cel – przestawić rozjazd kolejowy, aby ustawić go w wymaganym kierunku przejazdu pociągu [1], [3]. O ile ręczny napęd zwrotnicowy wymaga obecności człowieka przy rozjeździe i jego aktywności, poprzez przerzucenie przeciwwagi do przeciwnej pozycji, o tyle scentralizowane urządzenia mechaniczne wymagają obrotu dźwigni nastawczej o  $180^\circ$  z pozycji wyjściowej. Atutem tego rozwiązania było, jak sama nazwa wskazuje, centralne miejsce, z którego dyspozytor mógł przestawić rozjazd do wymaganej pozycji [5]. Utrzymanie tego systemu wymagało wielu aktywności ze strony personelu technicznego w zakresie smarowania newralgicznych węzłów mechanicznych (krążki zwrotu odchylnego, przepust podziemny pędni, koła zwrotne pędni, słupki pędniowe, wsporniki pędni), niezbędne do poprawnego operowania rozjazdem z dyżurki [6]. W dobie rozwoju sieci elektrycznych oraz maszyn elektrycznych na przestrzeni lat napędy zwrotnicowe zostały zelektryfikowane przez wyposażenie je w silnik elektryczny, który wytwarzał ruch obrotowy, zamieniając tym samym energię elektryczną w mechaniczną. W obecnych konstrukcjach napędów ta zasada została zachowana [1–4]. Poprzez odpowiedni system przekładni zębatych, ruch obrotowy silnika elektrycznego jest zamieniany na ruch liniowy suwaków nastawczych napędu, połączonych z iglicami rozjazdu prętami nastawczymi. Takie roz-



wiązanie umożliwiło uzyskanie kompaktowej budowy elektrycznego napędu zwrotnicowego, którego konstrukcja jest zamknięta w zwartej obudowie. Przykład takiego urządzenia, zabudowanego w rozjeździe kolejowym, pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Elektryczny napęd zwrotnicowy EBI Switch 700, zabudowany w rozjeździe

Począwszy od pierwszych i szeroko rozpoznawanych napędów typu JEA29 poprzez napędy znane jako EEA-4, bazujące na konstrukcji tych pierwszych (JEA29) po współczesne napędy zwrotnicowe sterowane elektrycznie (EBI Switch 700, EBI Switch 500, ECOSTAR 4), projektowanie i produkcja kolejnych wersji napędów zwrotnicowych wymuszone jest wzrostem bezpieczeństwa jazdy pociągów oraz zwiększaniem prędkości ich przemieszczania się i pewności działania. Przy pierwszych liniach kolejowych nie stawiano wygórowanych wymagań jakościowych i niezawodnościowych dotyczących elementów wchodzących w skład drogi kolejowej. Wraz ze wzrostem ilości przewozów, wzrostem prędkości pojazdów szynowych i coraz mocniej zurbanizowaną infrastrukturą wymagania dla napędów zwrotnicowych zostały zwiększone.

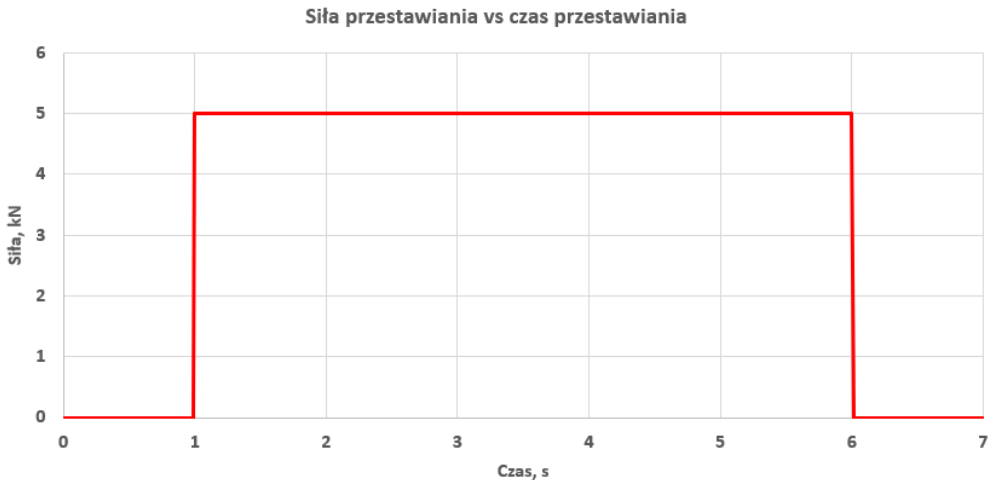
## 2. Wymagania stawiane napędom zwrotnicowym

Głównym źródłem wymagań, jakie urządzenia przytorowe muszą spełniać, zwłaszcza napędy zwrotnicowe, jest zbiór wytycznych i norm definiowanych w danym kraju czy na danym kontynencie. W niniejszym artykule rozważania ograniczono do rynku polskiego, na którym obowiązuje tzw. Lista Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego (LPUTK). Zbiór ten zawiera wykaz właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwi spełnienie zasadniczych wy-

magań dotyczących systemu kolei [9]. Prawie we wszystkich przypadkach adaptacji napędów zwrotnicowych na rynku światowym wspólnym mianownikiem są wymagania techniczne. Wymagania te, oprócz dopasowania mechanicznego napędu do wyspecyfikowanego rozjazdu i zapewnienia kompatybilności elektrycznej przy współpracy z systemem sterowania oraz szeregu wymagań formalno-technicznych (np. zachowanie gabarytów zewnętrznych, skrajnia itp.) określonych przykładowo w instrukcji Ie-114 [7], sprowadzają się do spełnienia kilku głównych parametrów. Najistotniejszym z technicznego punktu widzenia i przeznaczenia napędu zwrotnicowego parametrem jest siła nastawcza. Generalnie siła ta może być wytwarzana na dwa sposoby – hydrauliczny i elektromechaniczny. W układzie hydraulicznym suwak nastawczy napędu jest przesuwany pod wpływem ciśnienia medium (najczęściej olej hydrauliczny). W elektromechanicznym rozwiązaniu suwak napędu jest przesuwany pod wpływem momentu mechanicznego, generowanego przez silnik elektryczny. W obecnych czasach rosną światowe wymagania w zakresie biodegradowalności zastosowanych płynów oraz materiałów w urządzeniach przytorowych. Producent urządzeń przytorowych musi wykazać zastosowanie materiałów i surowców zgodnych z certyfikatami REACH i RoHSII [15, 16], które ograniczają, a w niektórych przypadkach całkowicie eliminują stosowanie substancji niebezpiecznych. Takie podejście może doprowadzić do ograniczenia stosowania układów hydraulicznych na kolei. W układzie elektromechanicznym zaś takiego niebezpieczeństwa nie ma. Generowanie siły nastawczej w tym układzie może być nieco trudniejsze do realizacji w porównaniu do układów hydraulicznych, w których większość problemów rozwiązuje obwód hydrauliczny z kontrolowanym ciśnieniem [8]. Podczas przestawiania rozjazdu na suwaki nastawcze napędu zwrotnicowego działają siły oporów przeciwnie skierowane do generowanej przez napęd siły nastawczej. Siły oporów przestawiania wynikają głównie z tarcia elementów rozjazdu (iglice) podczas przestawiania. Opory te zależą od stanu technicznego rozjazdu i mogą praktycznie kształtować się w zakresie od 1,5 kN do nawet 4 kN, na przykład rozjazd niesmarowany, z przekroczonymi dopuszczalnymi tolerancjami detali, przestawiany rzadko – raz na 2 tygodnie. Osobnym wymaganiem jest zapewnienie przez napęd zdefiniowanej siły nastawczej, która w chwili ukończenia przestawiania zapewni docisk iglicy do opornicy z wymaganą siłą nastawczą, np. 5 kN. Pożądana i wymagana charakterystyka siły przestawiania napędu zwrotnicowego pod obciążeniem została przedstawiona na rys. 2.

Ta charakterystyka generowania siły nastawczej przez napęd zwrotnicowy jest charakterystyką wzorcową, która w tak idealnym kształcie raczej nie występuje. Linia prosta w przedziale czasu od 1 do 6 sekundy obrazuje stałą wartość siły generowa-

nej przez napęd. W rzeczywistości jednak wartość ta zmienia się w niewielkim zakresie ( $\pm 0.5$  kN) w zależności od konstrukcji napędu, rozjazdu i rzeczywistych oporów, jakie napęd musi pokonać w trakcie przestawiania rozjazdu. Rzeczywiste przebiegi sił nastawczych dla kilku napędów przedstawiono w dalszej części artykułu.



Rys. 2. Siła generowana przy zablokowanym napędzie (suwaku nastawczym) – jest stała i jej wartość nie zmienia się w czasie – idealna charakterystyka siły przestawiania  $F_p$  w funkcji czasu przestawiania napędu zwrotnicowego

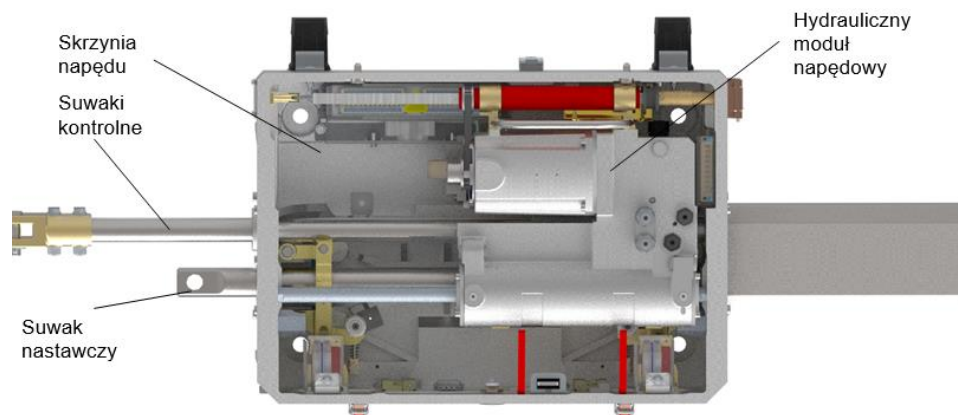
### 3. Budowa typowego napędu zwrotnicowego sterowanego elektrycznie

Napęd zwrotnicowy, jak pokazano na rys. 1, musi być zabudowany w rozjeździe za pomocą odpowiedniego umocowania wraz z prętem(ami) nastawczym(i) i prętami kontrolnymi, kontrolującymi położenie iglic [7]. W obszarze napędów zwrotnicowych, przyjmując kryterium techniczne, można wyznaczyć generalnie dwie grupy tych urządzeń, podzielone ze względu na sposób wytwarzania siły nastawczej za pomocą modułu elektromechanicznego oraz hydraulicznego. Na potrzeby rozważań w niniejszej pracy przyjęto właśnie taki podział. W rozwiązaniu elektrohydraulicznym siła nastawcza  $F_N$ , której wartość wynika prawie zawsze z wymagań danego rozjazdu, może być regulowana. Siła trzymania  $F_T$  osiągana jest na drodze mechanicznej, bez udziału układu hydraulicznego i jest ustawiana niezależnie od siły nastawczej z zachowaniem

bezwzględnej zależności, że siła trzymania jest zdecydowanie większa od siły nastawczej wg poniższej zależności:

$$F_T \gg F_N. \quad (1)$$

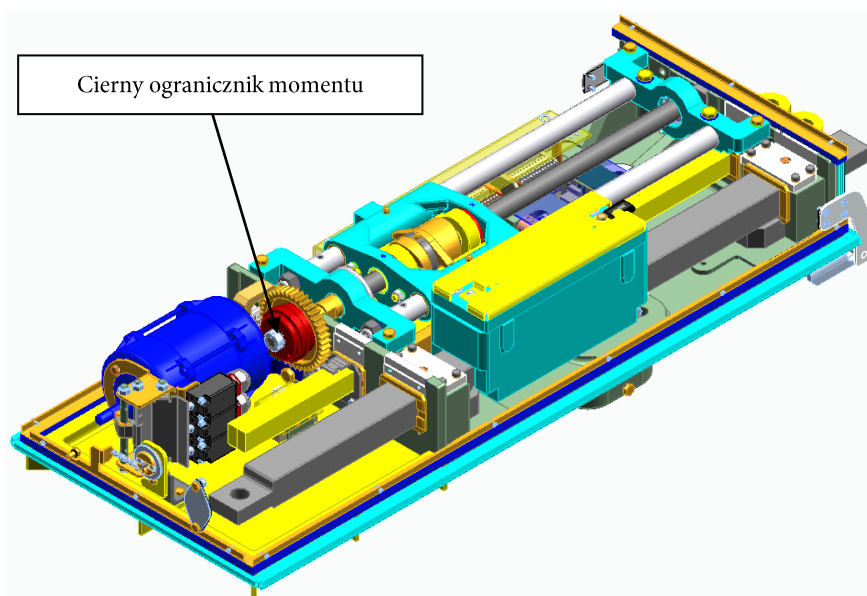
Dla napędów rozpruwalnych siła trzymania  $F_T$  jest równoznaczna z siłą rozprucia. Wartości parametrów siły nastawczej i rozprucia są sprawdzane na etapie produkcji w fabryce dla każdego napędu zwrotnicowego. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy opis poszczególnych podzespołów napędu EBI Switch 700 [8].



Rys. 3. Napęd EBI Switch 700 w wykonaniu hydraulicznym – widok ogólny [8]

Napędy zwrotnicowe występują również w wersji rozpruwalnej i nierozpruwalnej. Zjawisko rozprucia rozjazdu (tym samym napędem) polega na kontrolowanym przedstawieniu iglic rozjazdu i tym samym suwaka nastawczego napędu. W chwili działania siły na pręty nastawcze podczas prucia rozjazdu następuje aktywacja sprzęgła siły trzymania napędu, a suwak nastawczy zostaje uwolniony mechanicznie i zaczyna przesuwac się swobodnie pod wpływem działającej siły rozprucia. Takie zjawisko nie powoduje uszkodzenia napędu, ale sygnalizuje w systemie sterującym utratę kontroli rozjazdu. W napędach rozpruwalnych jedynym dopuszczalnym sposobem aktywacji sprzęgła siły trzymania jest siła generowana na iglicach przez koła przejeżdżającego taboru. Niedopuszczalnym zjawiskiem jest niekontrolowana aktywacja sprzęgła siły trzymania, do którego może dojść np. przy niesprawnych lub niepoprawnie działających podzespołach napędu zwrotnicowego. Jednym z takich zjawisk może być pik momentowy ogranicznika momentu, wykorzystanego w napędzie elektromechanicznym w chwili przejścia z pracy synchronicznej sprzęgła do pracy asynchronicznej.

nej. Zabudowę takiego sprzęgła w napędzie zwrotnicowym EBI Switch 500 pokazano na rys. 4.

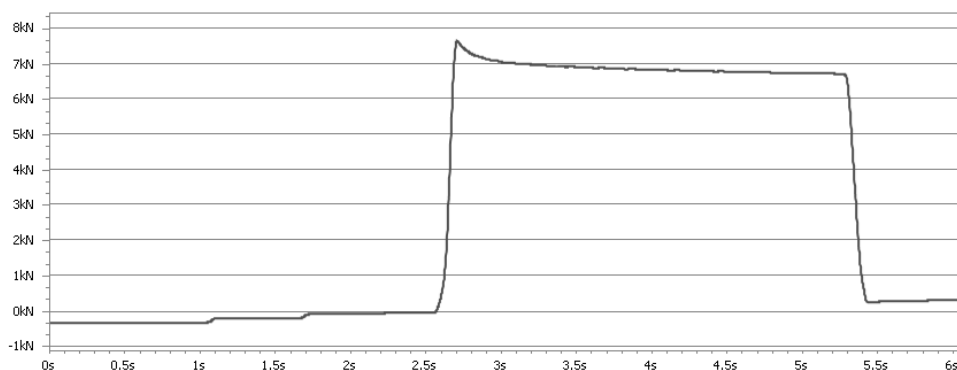


Rys. 4. Przykładowa zabudowa ciernego ogranicznika momentu w napędzie EBI Switch 500 [17]

System elektromechaniczny to rozwiązanie, w którym w większości przypadków [1], [4] wykorzystuje się silnik elektryczny, układ przekładni zębatych oraz śruby kulowe, zamieniające ruch obrotowy na liniowy. W takim układzie przeniesienia siły nastawczej na iglice rozjazdu istotną rolę odgrywa sprzęgło, które odpowiada za przeniesienie momentu mechanicznego o wartości zapewniającej utrzymanie wymaganego czasu przestawienia rozjazdu z określonymi oporami przestawiania; ten rodzaj pracy sprzęgła określa się mianem pracy synchronicznej. W takim układzie obie części sprzęgła (wewnętrzna i zewnętrzna) wirują z jednakową prędkością obrotową. Stan, w którym jedna z części sprzęgła zwalnia i w konsekwencji zatrzymuje się, określa się mianem pracy asynchronicznej – wtedy też na suwak nastawczy napędu przekazywana (ograniczana, redukowana) jest maksymalna wartość momentu mechanicznego (siły nastawczej), jaka została zdefiniowana dla danego napędu. Należy zaznaczyć, że napęd może wygenerować większą siłę nastawczą, ale musi ona zostać ograniczona, zgodnie z wymaganiem konstrukcyjnym, adaptacyjnym.

## 4. Sprzęgła i ograniczniki momentu mechanicznego w napędach zwrotnicowych

O ile w napędach zwrotnicowych hydraulicznych ogranicznikiem przekazywanej (generowanej) siły nastawczej na iglice rozjazdu jest z reguły układ zaworów hydraulicznych lub zamki hydrauliczne, które skutecznie odcinają ciśnienie w układzie na wymaganym poziomie, o tyle w rozwiązaniach elektromechanicznych stosuje się specjalne sprzęgła mechaniczne. Przykładowe sprzęgło mechaniczne, cierne, oferowane przez wiodącego producenta na rynku światowym, jest małego rozmiaru, o cylindrycznej budowie, która umożliwi wykorzystanie go w większości konstrukcji napędów zwrotnicowych [12]. Sprzęgła cierne są urządzeniami, które ograniczają przekazywany moment mechaniczny poprzez okładziny cierne, zapewniając tym samym wymaganą siłę nastawczą napędu. Niestety sprzęgła te wymagają okresowego serwisu, regulacji, utrzymania i oględzin. Przykładową charakterystykę siły nastawczej napędu zwrotnicowego, wyposażonego w sprzęgło mechaniczne cierne, zaprezentowano na rys. 5.



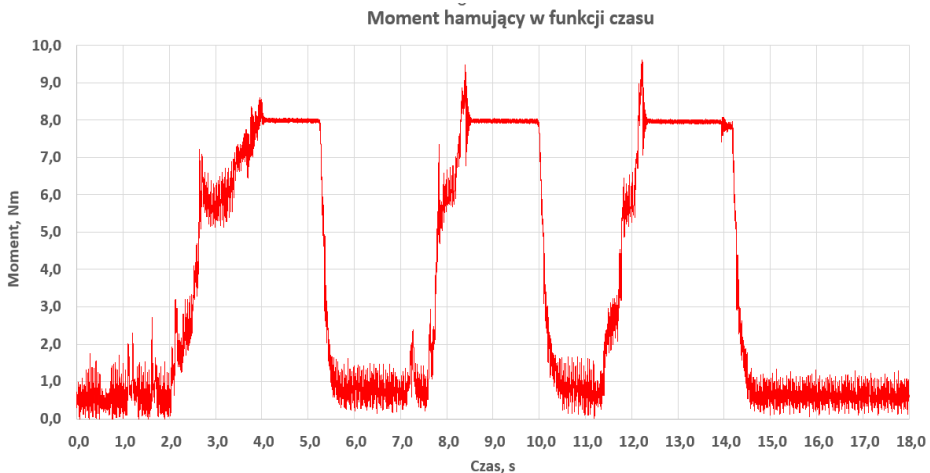
Rys. 5. Charakterystyka rzeczywistej siły nastawczej w funkcji czasu napędu zwrotnicowego, wyposażonego w mechaniczne sprzęgło cierne

W obszarze napędów zwrotnicowych można zdefiniować grupę napędów, które nie mają w swojej konstrukcji sprzęgła w formie mechanicznej, a funkcję ogranicznika momentu pełni sprzęgło energoelektroniczne. Napędy wyposażone w specjalny przekształtnik energoelektroniczny, opracowany do sterowania silnikiem elektrycznym napędu, nie wymagają stosowania ograniczników ciernych. Ograniczenie momentu mechanicznego, przekazywanego na suwak nastawczy napędu, realizowane jest elektrycznie przez kontrolowanie w sposób ciągły momentu mechanicznego, generowanego przez

silnik elektryczny. Przykładem takiego rozwiązania może być napęd EBI Switch 2000, produkowany przez firmę ALSTOM.

## 5. Sprzęgła magnetyczne w napędach zwrotnicowych

W ramach analizy przydatności wykorzystania sprzęgieł magnetycznych w napędach zwrotnicowych wykonano testy sprzęgieł powszechnie dostępnych na rynku. Sprzęgła magnetyczne są urządzeniami powszechnie znanymi w przemyśle, a na rynku dostępne są również tzw. hamulce histerezy. Urządzenia te są wykorzystywane w szerokim spektrum zastosowań, lecz gdy uwzględni się wymagania stawiane ogranicznikom momentu pracującym w napędach zwrotnicowych, ich cena wzrasta kilkukrotnie jako wykonanie specjalne. Mimo dodatkowych prac optymalizujących konstrukcję rozwiązań gotowych, tzw. z półki, ich parametry eksploatacyjne odbiegają od wymaganych. Na rysunku 6 przedstawiono charakterystykę przenoszenia momentu mechanicznego sprzęgła komercyjnego – przykład 1. Wartość momentu w przedziale czasu między 8,5 s a 10 s na osi poziomej jest pracą asynchroniczną sprzęgła, ale, jak można zauważyć, praca ta jest poprzedzona pikiem momentowym, który jest zjawiskiem niepożądanym.

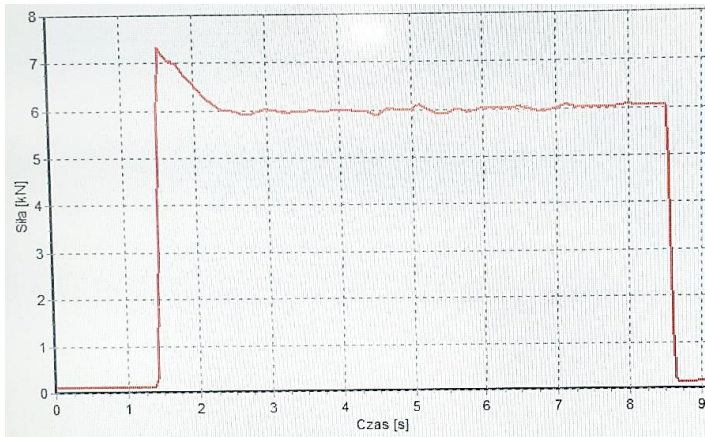


Rys. 6. Przebieg momentu hamującego w funkcji czasu – przykład 1

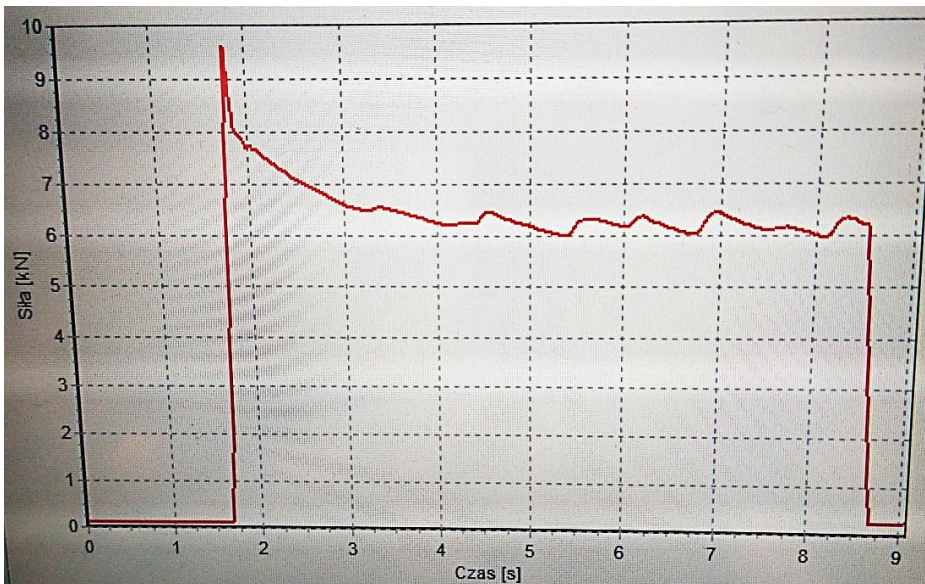
Na rysunku 7 przedstawiono charakterystykę siły nastawczej komercyjnego sprzęgła – przykład 2. Wartość siły w przedziale czasu między 2,5 s a 8,5 s na osi poziomej jest pracą asynchroniczną sprzęgła, ale, jak można zauważyć, praca ta również jest po-



przedzona niekontrolowanym, nagłym wzrostem siły nastawczej, który jest zjawiskiem niepożądanym. Takie piki powodują nadmierne zużycie elementów przekładni, łożysk, śruby kulowej w napędzie zwrotnicowym oraz niszczące udary siły w rozjeździe kolejowym. W przypadku napędów rozpruwalnych mogą one doprowadzić do niekontrolowanego uwolnienia suwaka nastawczego napędu, na którym zostanie wygenerowana siła większa od siły trzymania napędu.



Rys. 7. Przebieg siły nastawczej w funkcji czasu – przykład 2



Rys. 8. Przebieg siły nastawczej w funkcji czasu – prototyp sprzęgła magnetycznego



W wyniku realizacji prac badawczych w ramach realizowanego doktoratu wdrożeniowego opracowano prototyp urządzenia, w którym przetestowano potencjalne materiały magnetyczne, generujące moment hamujący o wymaganej wartości. Podstawowym kryterium wyboru materiału było kryterium kosztowe, dostępność rynkowa oraz możliwość wykonania elementów magnetycznych pozwalająca na uformowanie kształtu pierścienia. Wykonany prototyp sprzęgła magnetycznego poddano testom w napędzie zwrotnicowym, a charakterystyka siły nastawczej w funkcji czasu została zaprezentowana na rys. 8.

Jak widać na powyższym rysunku, charakterystyka siły nastawczej w pracy asynchronicznej sprzęgła również poprzedzona jest pikiem siły, który jest zjawiskiem niepożądanym. Zbieżne wyniki wskazują, że jest to problem globalny, występujący w tego typu konstrukcjach. Przedmiotem badań będzie optymalizacja obwodu magnetycznego sprzęgła oraz materiału magnetycznego, odpowiedzialnego za generowanie momentu hamującego w sprzęgle magnetycznym w kierunku minimalizacji lub eliminacji niepożądanego piku siły w przebiegu siły nastawczej napędu.

## 6. Podsumowanie

W wyniku zrealizowania testów z wykorzystaniem kilku powszechnie dostępnych materiałów magnetycznych odnotowano, że materiałem o najwyższym potencjale wdrożeniowym są stopy AlNiCo, zaliczane do tzw. materiałów półtwardych magnetycznie [13, 14], o specjalnie ukształtowanej charakterystyce przemagnesowania tego materiału. W prototypowym sprzęgle magnetycznym, zaprojektowanym z uwzględnieniem dopuszczalnych wymiarów zewnętrznych oraz kryterium kosztowym, zostanie sprawdzonych kilka materiałów o różnej długości, grubości, rozmieszczeniu magnesów trwałych odpowiedzialnych za wzbudzenie pola magnetycznego w magnetowodzie. Optymalizacja obwodu magnetycznego umożliwi opracowanie optymalnego rozwiązania sprzęgła w korelacji z charakterystyką przemagnesowania materiału histerezowego, tak aby zminimalizować lub wyeliminować zjawisko piku momentowego w charakterystyce siły nastawczej w napędzie zwrotnicowym.

## Literatura

- [1] KORNASZEWSKI M., MACIOŁEK T., *Analiza porównawcza elektrycznych napędów zwrotnicowych EEA-5 i S700 KM*, Technika Transportu Kolejowego, 2013.

- 
- [2] PEŁKA A., *Diagnozowanie urządzeń sterowania ruchem kolejowym na przykładzie napędu zwrotnicowego*, rozprawa doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2009.
- [3] KORNASZEWSKI M., DYDUCH J., *Elektryczne napędy zwrotnicowe nowej generacji*, AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 2018, 12.
- [4] DYDUCH J., PNIEWSKI R., *Concept of measuring force adjustment of crossover drives*, Transportation Overview – Przegląd Komunikacyjny, 2016, 12.
- [5] <https://www.transportszynowy.pl/Kolej/kolsrknastscentralizowane>
- [6] Instrukcja o zasadach budowy i utrzymania mechanicznych urządzeń sterowania ruchem kolejowym Ie-11. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., 16 marca 2016.
- [7] Wymagania dla napędów zwrotnicowych stosowanych na sieci linii kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Ie-114, 5 marca 2019.
- [8] Dokumentacja Techniczno-Ruchowa napędu zwrotnicowego EBI Switch 700, DTR-2006/EBISwitch700, ALSTOM ZWUS Sp. z o.o.
- [9] Lista Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego, publikowana w biuletynie informacji publicznej na stronie [www: https://bip.utk.gov.pl/bip/interoperacyjnos/lista-prezesa-utk](https://bip.utk.gov.pl/bip/interoperacyjnos/lista-prezesa-utk)
- [10] Lista Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań systemu kolei, Urząd Transportu Kolejowego, Warszawa, 23 grudnia 2023.
- [11] Beskidzka Strona Kolejowa, <https://www.bsk.isdr.pl>
- [12] Katalog producenta MAYR, <https://www.mayr.com>
- [13] SOIŃSKI M., *Materiały magnetyczne w technice*, wyd. I, COSiW SEP, Warszawa 2001, ISBN 83-915103-5-2.
- [14] WAC-WŁODARCZYK A., *Materiały magnetyczne, modelowanie i zastosowania*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2012.
- [15] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2011/65/UE z dnia 8 czerwca 2011 r., [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/rohs-directive\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/rohs-directive_en)
- [16] Rozporządzenie nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r., [https://environment.ec.europa.eu/topics/chemicals/reach-regulation\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/chemicals/reach-regulation_en)
- [17] Dokumentacja Techniczno-Ruchowa napędu zwrotnicowego EBI Switch 500, DTR-99/EEA-5, ALSTOM ZWUS Sp. z o.o.

# Problematyka testów kompatybilności systemu ETCS

## Issues of ETCS system compatibility testing

ŁUKASZ ZAWADKA, DOMINIK ADAMSKI

Instytut Kolejnictwa

**Abstrakt:** Zapewnienie interoperacyjności systemu kolei w Unii Europejskiej wymaga osiągnięcia pełnej kompatybilności technicznej infrastruktury i pojazdów, czyli części przytorowej podsystemu „Sterowanie” z częścią pokładową. Dlatego też w Rozporządzeniu wykonawczym Komisji (UE) 2019/776 wprowadzono dodatkowe parametry podstawowe, charakteryzujące podsystemy „Sterowanie”. W punkcie 4.2.17 zdefiniowano kompatybilność systemu ETCS (European Train Control System) oraz systemu radiowego. Kompatybilność systemu ETCS-ESC (ETCS System Compatibility) oznacza zgodność techniczną między systemem ETCS zainstalowanym na pojeździe trakcyjnym (pokładowy ETCS) a systemem ETCS zainstalowanym na infrastrukturze kolejowej (przytorowy ETCS) w danym obszarze użytkowania (np. odcinek linii kolejowej). Wykazanie tej zgodności determinuje konieczność przeprowadzania tzw. testów ESC, których wyniki w swojej istocie w sposób wymierny mają przyczynić się do odpowiedniego doprecyzowania obowiązujących specyfikacji zawartych w TSI, a także ograniczenia możliwości powielania dokonanych już sprawdzeń na etapie certyfikacji danego podsystemu i zminimalizowania kosztów kampanii testowych, co w rezultacie zapewni stabilne i niezakłócone działanie całego systemu ERTMS (European Rail Traffic Management System). Celem autorów artykułu jest scharakteryzowanie kluczowych aspektów prawnych, zagadnień technicznych związanych z testami ESC oraz kwestii wykonywania tych testów na sieci kolejowej w Polsce.

**Abstract:** Providing the interoperability of the railway system in the European Union requires achieving full technical compatibility of infrastructure and vehicles, i.e., the trackside part of the control-command subsystem with the on-board part. Therefore, Commission Implementing Regulation (EU) 2019/776 introduced additional basic parameters characterizing the control-command and signaling subsystems. Section 4.2.17 defines the compatibility of the ETCS (European Train Control System) and the radio system. ETCS-ESC system compatibility (ETCS System Compatibility) means technical compatibility between the ETCS system installed on a traction vehicle (on-board ETCS) and the ETCS system installed on the railway infrastructure (trackside ETCS) in a given area of use (e.g.,

a section of a railway line). Demonstrating this compliance determines the need to carry out the so-called ESC tests, the results of which are intended to contribute measurably to the appropriate clarification of all specifications contained in the TSI, as well as to limit the possibility of duplicating already performed checks at the certification stage of a given subsystem and to minimize the costs of test campaigns, which will ultimately ensure stable and uninterrupted operation of the entire ERTMS (European Rail Traffic Management System). This article describes the key legal aspects and technical issues related to ESC tests and presents the practical issues of implementing these tests on the railway network in Poland.

## 1. Wprowadzenie

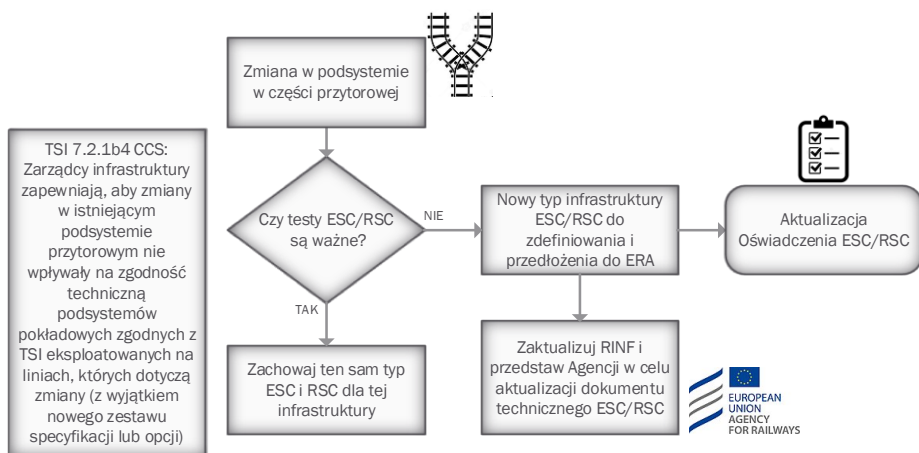
Pozytywna ocena weryfikacji WE infrastruktury kolejowej oraz weryfikacja instalacji na pojazdach trakcyjnych nie daje pewności, że rozpatrywane podsystemy będą ze sobą współpracować pod względem technicznym. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest fakt, iż mimo wprowadzenia standaryzacji i unifikacji wymagań względem podsystemu „Sterowanie” wiele zagadnień oraz rozwiązań technicznych pozostaje wciąż w gestii interpretacji producentów danych urządzeń i podzespołów. Doświadczenia pokazały, że badania przeprowadzane w laboratoriach w symulowanych warunkach oraz testy uruchomieniowe podsystemów pokładowych i przytorowych nie dają wystarczającej pewności w aspekcie poprawnej integracji urządzeń pokładowych podsystemu „Sterowanie” z urządzeniami przytorowymi i innymi podsystemami [1], [3]. Zaistniała sytuacja uwidoczniła potrzebę weryfikacji poprawnej integracji obu podsystemów w warunkach eksploatacyjnych, co w konsekwencji przyczyniło się do stworzenia scenariuszy testów operacyjnych przez poszczególne kraje UE przy udziale ERA (Agencji Kolejowej UE). Wykonanie testów poligonowych w zakresie zgodnym ze scenariuszami operacyjnymi umożliwiło ocenę zgodności dla rozpatrywanych podsystemów w zakresie wymagań TSI na potrzeby prac homologacyjnych. Testy w Polsce przeprowadza się na wybranych odcinkach sieci PKP PLK oraz na Okręgu Doświadczalnym Instytut Kolejnictwa, gdzie znajduje się instalacja przytorowa ETCS poziomu 1 zgodna z Subset-026 w wersji 2.3.0d oraz 3.4.0. Przeprowadzenie testów poprawnej integracji nie daje jednak jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, czy rozpatrywany typ pojazdu będzie w pełni i bez zakłóceń współpracował z przytorową infrastrukturą ETCS na obszarze, w którym będzie docelowo eksploatowany. W związku z tym konieczne było stworzenie wymagań technicznych, po spełnieniu których zagadnienie kompatybilności taboru wyposażonego w system ETCS z przytorowymi instalacjami ETCS zostanie jednoznacznie rozwiązane.

## 2. Geneza testów kompatybilności i procedura przeprowadzania testów ESC w Polsce

Przyjęcie IV pakietu kolejowego spowodowało wprowadzenie zmian w TSI dla poszczególnych podsystemów strukturalnych oraz funkcjonalnych [10], [15], [16]. Podsystem „Sterowanie” również został objęty modyfikacjami i w rozporządzeniu wykonawczym komisji (UE) 2019/776 [15] pojawiły się między innymi nowe parametry podstawowe, czyli kluczowe warunki do spełnienia, aby osiągnąć pełną interoperacyjność. W punkcie 4.2.17 tego dokumentu zdefiniowano nowe pojęcie kompatybilności systemu ETCS-ESC oraz systemu radiowego – RSC (ang. Radio System Compatibility). Przez kompatybilność systemu ESC [12] należy rozumieć weryfikację kompatybilności technicznej między pokładowym ETCS a przytorowymi częściami ETCS podsystemów „Sterowanie” w obrębie danego obszaru użytkowania. Natomiast przez pojęcie typu ESC definiuje się wartość przypisywaną w celu zarejestrowania kompatybilności technicznej między pokładowymi urządzeniami ETCS a danym odcinkiem w obrębie określonego obszaru użytkowania [13], [14]. Wszystkim odcinkom sieci unijnej, które wymagają przeprowadzenia serii takich kontroli w celu wykazania kompatybilności systemu ETCS, należy przypisać określony typ ESC. Na tej podstawie ERA zobowiązała zarządców infrastruktury kolejowej do przypisania określonych typów ESC oraz RSC dla przynależnych im linii kolejowych wyposażonych w system ETCS [11], [12]. Ideą tego przedsięwzięcia jest doprowadzenie do sytuacji, w której stwierdzenie kompatybilności taboru z daną linią będzie tożsame ze stwierdzeniem takiej kompatybilności z wszystkimi liniami należącymi do danego typu ESC. Można sobie wyobrazić, że w perspektywie najbliższych lat testy kompatybilności przeprowadzone na terenie jednego kraju, na danym typie ESC, będą automatycznie potwierdzały zgodność techniczną pojazdu pod kątem wymagań ETCS na terenie innych państw, zakładając, że będą one dysponowały liniami o tym samym typie ESC. Należy podkreślić, iż z założenia testy ESC nie mają identyfikować problemów we współpracy części pokładowej i przytorowej ETCS, a powinny weryfikować, czy dla określonej konfiguracji urządzeń pokładowych i przytorowych zachodzi ryzyko konkretnych zagrożeń dla ich wzajemnej zgodności technicznej. Dlatego też każdy typ ESC charakteryzuje się przypisanymi do niego testami, opracowanymi specjalnie na jego potrzeby przez danego zarządcę infrastruktury (w Polsce PKP PLK S.A.).

Polski zarządca infrastruktury zdefiniował typy ESC wraz z przynależnymi zestawami testów i w konsekwencji 2 grudnia 2020 r. zaktualizowano dokument techniczny

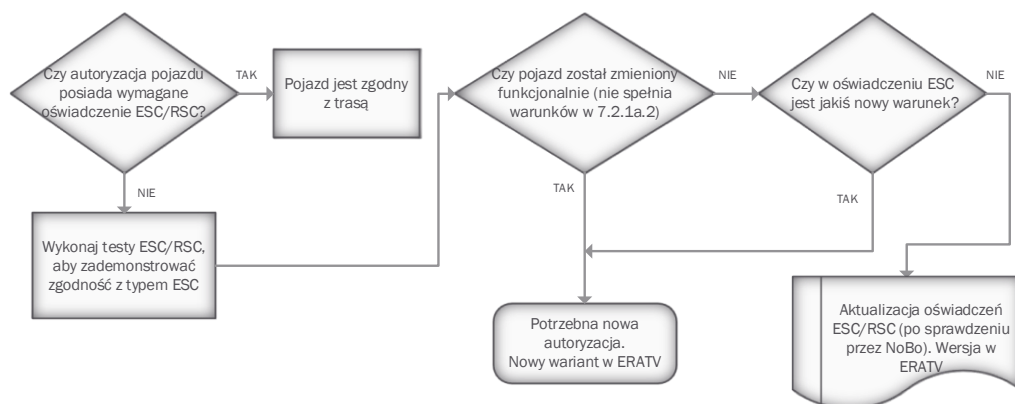
ERA dotyczący testów ESC/RSC o wykaz sprawdzeń niezbędnych do przeprowadzenia na sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Aktualnie dla Polski określono sześć zestawów testów [4]–[9], [13], a zgodnie z założeniami przyjętymi w TSI w celu wykazania zgodności technicznej z siecią wyposażoną w systemy klasy ETCS na obszarze użytkowania należy dostarczyć co najmniej jedno oświadczenie ESC, aby uzyskać autoryzację pojazdu z systemami klasy A [12]. Należy mieć również na uwadze, że wszelkie zmiany wprowadzane w instalacjach przytorowych ETCS, zidentyfikowanych wcześniej jako typ ESC, muszą być szczegółowo analizowane pod kątem zachowania istniejącego już typu lub powstania nowego (patrz rys. 1).



Rys. 1. Analiza zmiany w części przytorowej pod kątem ESC/RSC [2]

Opracowanie zestawów testów dla poszczególnych typów ESC dało początek nowemu podejściu do weryfikacji kompatybilności pojazdów kolejowych względem linii kolejowych, po których docelowo będą się one poruszać. Następnym etapem było stworzenie procedur przeprowadzania i organizacji testów ESC wraz z określeniem ról poszczególnych stron zaangażowanych w to przedsięwzięcie oraz wymaganych kompetencji. Na podstawie stosownych dokumentów polski zarządca infrastruktury opracował procedurę Ie-128 pt. „Procedura przeprowadzania kontroli kompatybilności systemu ETCS (ESC)” oraz procedurę Ie-129 pt. „Procedura przeprowadzania testów kompatybilności systemu radiowego GSM-R (RSC)” [13], [14]. Celem autorów niniejszych dokumentów było opisanie procesów występujących przy przeprowadzaniu kontroli kompatybilności systemu ETCS oraz GSM-R na wniosek podmiotu ubiegającego się o potwierdzenie kompatybilności systemu ETCS lub GSM-R. Należy mieć na

uwadze, że w przeciwieństwie do testów poprawnej integracji, które wykonuje się w trakcie procesu homologacji, kontrola kompatybilności systemu ETCS jest przeprowadzana dla certyfikowanych urządzeń pokładowych lub dla pojazdów, na których zainstalowano urządzenia pokładowe posiadające certyfikat weryfikacji WE. W związku z tym podstawowym kryterium kwalifikującym dany tabor do testów kompatybilności z typem ESC jest posiadanie przez niego właściwych certyfikatów weryfikacji WE, a same testy przeprowadzane są najczęściej bezpośrednio przed wprowadzaniem go do obrotu. Od 1 lipca 2021 r. testy ESC/RSC mają zastosowanie dla wszystkich nowych oraz odnawianych i modernizowanych projektów w zakresie podsystemu „Sterowanie–urządzenia pokładowe” i na tej podstawie konieczna jest do przeprowadzenia analiza pod kątem kompatybilności ESC/RSC dla każdego przypadku w sposób indywidualny (patrz rys. 2).



Rys. 2. Sposób postępowania w przypadku dodawania nowego oświadczenia ESC/RSC dla pojazdów już dopuszczonych [2]

W ramach wyżej wymienionych procedur zdefiniowano rolę tzw. koordynatora testów, który wybierany jest przez podmiot wnioskujący o tzw. demonstrację kompatybilności z urządzeniami ETCS. Jego zadaniem jest organizacja oraz przeprowadzenie testów kompatybilności ESC lub RSC, a następnie opracowanie stosownego raportu z badań, który będzie podstawą do wydania przez jednostkę notyfikowaną oceny zgodności podsystemu „Sterowanie–urządzenia pokładowe” w odniesieniu do parametru podstawowego „kompatybilność ETCS i systemu radiowego” (pkt. 4.2.17 TSI).

Instytut Kolejnictwa, posiadając wymagane notyfikacje, akredytacje oraz wieloletnie doświadczenie w sektorze badań kolejowych, może pełnić rolę zarówno koordynatora testów, jak i notyfikowanej jednostki oceniającej w procesach weryfikacji kompa-

tybilności ESC i RSC. Ponadto 31 stycznia 2022 r. zostało podpisane porozumienie pomiędzy Instytutem Kolejnictwa a PKP PLK S.A. dotyczące wzajemnej współpracy w ramach realizacji testów ESC i RSC.

Jak już stwierdzono wcześniej, wyniki z przeprowadzonych testów ESC/RSC podlegają kontroli jednostki notyfikowanej, a w następnej kolejności wnioskodawca na podstawie pozytywnych wyników testów ESC/RSC oraz wspomnianych weryfikacji wydaje oświadczenie o kompatybilności ESC/RSC. Dokument ten stanowi jednocześnie część deklaracji weryfikacji WE podsystemu. Uzyskanie zezwolenia dla typu pojazdu bez przeprowadzonych badań jest nadal możliwe, jednak skutkuje to dodatkowymi ograniczeniami, które zostaną wprowadzone do bazy ERATV (ang. European Register of Authorised Types of Vehicles). W związku z tym nieprzeprowadzenie testów ESC (przypadek ESC-EU-0 z ograniczeniem niekodowanym dla pojazdu) wiąże się z brakiem możliwości potwierdzenia zgodności z trasą, na której zainstalowana jest część przytorowa systemu ETCS. W takim przypadku nie będzie możliwa realizacja przewozów pojazdem wyposażonym w ETCS bez przeprowadzonych testów kompatybilności ESC dla tej trasy mimo potencjalnej możliwości jazdy z wykorzystaniem urządzeń klasy B. Termin wymagalności przeprowadzenia testów ESC w Polsce obecnie określono na dzień 10 grudnia 2023 r. i jest to już trzecia zmiana tego terminu uzgodniona z Ministerstwem Infrastruktury.

### **3. Zagadnienie badawcze w praktyce i wyniki badań**

W celu przeprowadzenia kampanii testowej ESC w pierwszej kolejności należy dokonać wyboru poligonu testowego dla określonego typu ESC i uzgodnić z zarządcą infrastruktury możliwość realizacji jazd testowych na wskazanym obszarze. Następnym zadaniem jest ustalenie z wnioskodawcą możliwości dostarczenia pojazdu i zapewnienia maszynistów mających odpowiednie uprawnienia (np. autoryzacja na dany typ taboru, znajomość szlaku etc.) do prowadzenia testowanego pojazdu na wybranym odcinku linii kolejowej. Po tych uzgodnieniach tworzony jest regulamin prowadzenia jazd testowych, na podstawie którego wnioskuje się o konkretne terminy wprowadzenia zamknięć torowych, umożliwiających przeprowadzenie testów na konkretnym typie pojazdu.

Zasadniczym aspektem podczas realizacji testów jest obserwacja zachowania się badanego pojazdu i reakcji zainstalowanych w nim urządzeń na sygnały oraz informacje przekazywane z infrastruktury przytorowej (np. balisy, Radiowe Centrum Sterowa-



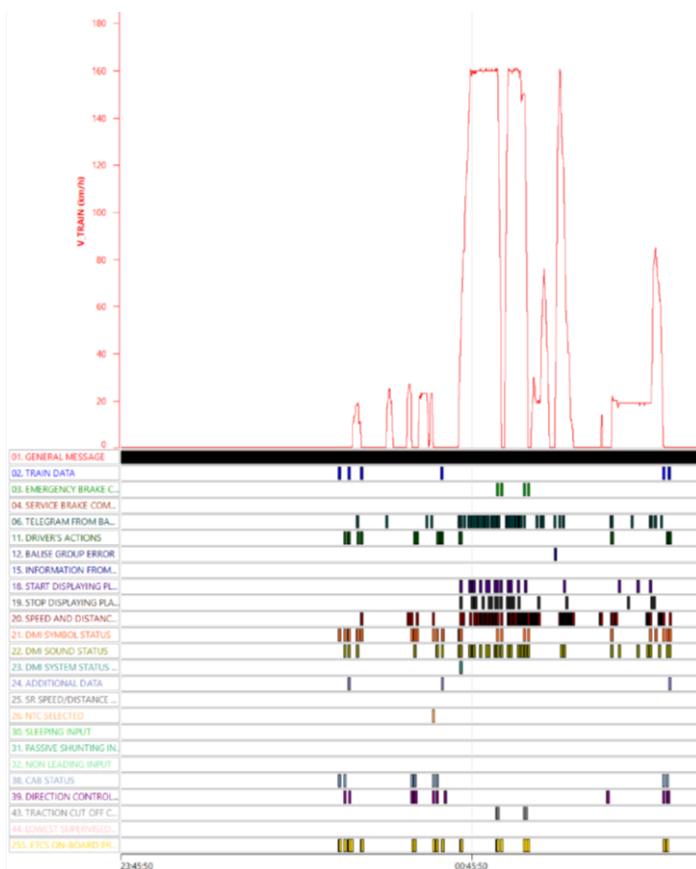
nia-RBC). W czasie poszczególnych prób za pomocą kamer rejestrowany jest obraz z pojazdu monitora DMI oraz prowadzone są obserwacje panelu operatorskiego dyżurnego ruchu.



Rys. 3. Przykład zobrazowania monitora DMI w trakcie prowadzonych testów (fot. Autorzy)

Do analizy i oceny otrzymanych wyników wykorzystuje się zarejestrowane nagrania z DMI, dane z rejestratora pokładowego JRU dostarczone przez producenta pojazdu, zapisy z dziennika zdarzeń RBC (tzw. logi z RBC) oraz protokoły z testów. Dane te umożliwiają interpretację i ocenę wykonanych przypadków testowych dla wybranego scenariusza ESC. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe zobrazowanie na monitorze DMI w trakcie prowadzonych badań, które stanowi podstawę do oceny wyników testów ESC. Dodatkowo na rysunku 4 zaprezentowano przykładowy zapis z rejestratora pokładowego JRU. Test zrealizowano dla lokomotywy uniwersalnej na odcinku linii kolejowej nr 64 i nr 570 według scenariusza ESC-PL-01-L1 [4].

Po szczegółowej analizie wszystkich danych i parametrów uzyskanych w trakcie realizacji poszczególnych etapów każdego testu formułuje się wynik dla całego scenariusza testowego. W przypadku wyników wątpliwych bądź negatywnych konieczne są dodatkowe działania mające na celu wyjaśnienie przyczyn zaistniałych niezgodności i ich wyeliminowanie. Zwykle wiąże się to z koniecznością ponownego przeprowadzenia testów po działaniach naprawczych, a w szczególnych przypadkach, gdzie nie jest możliwa pełna mitygacja wystąpienia niezgodności technicznej, określa się ograniczenia eksploatacyjne dla danego typu pojazdu.



Rys. 4. Przykład zapisów z rejestratora prawnego JRU stanowiących podstawę do oceny wyników

Na podstawie tak zebranych danych zestawia się w formie tabelarycznej wyniki z przeprowadzonych testów dla konkretnego scenariusza i opisuje się w konkretnym raporcie badań określonego typu pojazdu. W tabeli 1 zaprezentowano część wyników z przeprowadzonych testów dla typu ESC-PL-01-L1.

Tabela 1. Wyniki badań kompatybilności ESC uniwersalnej lokomotywy elektrycznej dla zakresu testów ESC-PL-01-L1

Lp.	Nr testu zgodnie z ESC-PL-01-L1	Opis testu	Wynik	Uwagi
1	3.1	wczytanie zmiennych narodowych	pozytywny	brak
2	3.2	wjazd do obszaru ETCS L1	pozytywny	brak
3	3.3	wyjazd z obszaru wyposażonego w ETCS L1	pozytywny	brak

## 4. Wnioski

Przeprowadzone kampanie testowe realizowane przez Instytut Kolejnictwa jako koordynatora testów ESC wykazały zasadność realizacji tych testów na sieci PKP PLK S.A. Na testowanych pojazdach wykryto jednostkowe przypadki nieprawidłowej współpracy infrastruktura–pojazd, w wyniku czego stwierdzono brak pełnej zgodności technicznej dla określonych przypadków testowych i w porozumieniu z polskim Zarządcą infrastruktury wprowadzono ograniczenie eksploatacyjne. Doświadczenia praktyczne wykazały także potrzebę doprecyzowania zapisów w procedurach przeprowadzenia testów kompatybilności, a szczególnie w odniesieniu do uregulowania kwestii związanych z wyjaśnianiem przypadków stwierdzenia potencjalnej niezgodności i ponoszenia kosztów z tym związanych, jak również korekt w zakresie opisu kroków przebiegu przypadków testowych w scenariuszach testowych. Autorzy niniejszego artykułu, mając na uwadze swoje doświadczenia teoretyczne oraz praktyczne na polu tego typu badań, uważają, że wymiernym efektem realizacji testów kompatybilności systemu ETCS (ESC) na europejskiej sieci kolejowej dla dużej populacji taboru będzie przede wszystkim: doprecyzowanie obowiązkowych specyfikacji zawartych w TSI (tzw. subsesty i techniczne specyfikacje), ograniczenie przypadków dublowania się wykonanych sprawdzeń np. z etapu weryfikacji WE czy też oceny zgodności dla składników interoperacyjności lub ich grup, zminimalizowanie kosztów kampanii testowych. W dłuższej perspektywie przełoży się to na osiągnięcie pełnej zgodności technicznej infrastruktury i pojazdów w określonych obszarach użytkowania, co będzie się przekładało na niezakłóconą płynność ruchu kolejowego w systemie ETCS.

## Literatura

- [1] ILCZUK P., ZACZEK A., KYCKO M., *Analysis of the possibility of implementing interoperability tests on polish railways*, Archives of Transport, 2021, Vol. 60, Iss. 4.
- [2] KYCKO M., ADAMSKI D., ZAWADKA Ł., *Testy kompatybilności ETCS (ESC) i GSM-R (RSC) w warunkach polskich*, Przegląd Komunikacyjny, 2022, 8–9, 15–20.
- [3] SUMIŁA M., *Disturbance of trains movement under the ERTMS control system*, Journal of Civil Engineering and Transport, 2023, Vol. 5, No. 2.
- [4] Definicja i zakres testów ESC dla systemu ERTMS/ETCS poziom 1 ESC-PL-01-L1, wersja 1.1, PKP PLK S.A., 2021.
- [5] Definicja i zakres testów ESC dla systemu ERTMS/ETCS poziom 1 Limited Supervision ESC-PL-02-L1LS, wersja 1.1, PKP PLK S.A., 2021.
- [6] Definicja i zakres testów ESC dla systemu ERTMS/ETCS poziom 2, Linia kolejowa E30, odcinek Legnica–Opole ESC-PL-04-L2, wersja 1.1, PKP PLK S.A., 2021.

- 
- [7] Definicja i zakres testów ESC dla systemu ERTMS/ETCS poziom 2, Linia kolejowa E30, odcinek Legnica–Węgliniec ESC-PL-03-L2, wersja 1.1, PKP PLK S.A., 2021.
  - [8] Definicja i zakres testów ESC dla systemu ERTMS/ETCS poziom 2, Linia kolejowa E65, odcinek Warszawa Praga Tranzytowa–Prabuty (Szlak Prabuty–Susz) ESC-PL-05-L2, wersja 1.0, PKP PLK S.A., 2021.
  - [9] Definicja i zakres testów ESC dla systemu ERTMS/ETCS poziom 2, Linia kolejowa E65, odcinek Prabuty–Gdynia Chylonia ESC-PL-06-L2, wersja 1.0, PKP PLK S.A., 2021.
  - [10] Directive (EU) 2016/797 Directive (EU) 2016/797 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on the interoperability of the rail system within the European Union.
  - [11] ESC/RSC technical document TD/011REC1028, version 16.0, European Union Agency for Railways, 2022.
  - [12] Guide for the application of the CCS TSI. In accordance with Article 19(3) of Regulation (EU) 2016/796 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016, European Union Agency for Railways, 2021.
  - [13] Ie-128 Procedura przeprowadzenia kontroli kompatybilności systemu ETCS (ESC). Załącznik do uchwały Nr 765/2022 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 11.10. 2022 r.
  - [14] Ie-129 Procedura przeprowadzenia testów kompatybilności systemu radiowego GSM-R (RSC). Załącznik do uchwały Nr 766/2022 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 11.10. 2022 r.
  - [15] Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/776 z dnia 16 maja 2019 r. zmieniające rozporządzenia Komisji (UE) nr 321/2013, (UE) nr 1299/2014, (UE) nr 1301/2014, (UE) nr 1302/2014 i (UE) nr 1303/2014, rozporządzenie Komisji (UE) 2016/919 oraz decyzję wykonawczą Komisji 2011/665/UE w odniesieniu do dostosowania do dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/797 oraz realizacji celów szczegółowych określonych w decyzji delegowanej Komisji (UE) 2017/1474.
  - [16] Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2020/387 z dnia 9 marca 2020 r. zmieniające rozporządzenia (UE) nr 321/2013, (UE) nr 1302/2014 i (UE) 2016/919 w odniesieniu do rozszerzenia obszaru użytkowania i etapów przejściowych.

# Implementacja aktów prawa w metodyce badań emisyjności akustycznej w transporcie szynowym

## Implementation of legal acts in the methodology of noise research in railway transport

ROKSANA LICOW<sup>1</sup>, NATALIA KARKOSIŃSKA-BRZozowska<sup>1</sup>, ANNA ŚWIERKOSKA<sup>3</sup>,  
BARTOSZ NOWAK<sup>2</sup>, WIKTOR ŻÓŁKOŚ<sup>2</sup>, PRZEMYSŁAW BARSZCZ<sup>2</sup>, JULIA SZULTA<sup>2</sup>,  
KAMIL ŁUKASZEWICZ<sup>2</sup>, IZABELA MUZYKA<sup>2</sup>, ALEKS GOŁĄBEK<sup>2</sup>, MAGDALENA JÓŻWIK<sup>2</sup>,  
DARIA KASSIN<sup>2</sup>, MATEUSZ MAJEWSKI<sup>2</sup>, MICHAŁ POLAKOWSKI<sup>2</sup>, MATEUSZ RACKI<sup>2</sup>,  
MACIEJ WOLSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

<sup>2</sup> Politechnika Gdańska, Koło Naukowe Inżynierii Drogowej i Kolejowej „KODiK”

<sup>3</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz, Poznański Instytut Technologiczny, Centrum Pojazdów Szynowych

**Abstrakt:** Przedmiotem artykułu jest przedstawienie zakresu działań wraz ze wstępnymi wnioskami, które dotyczą realizowanego projektu Plutonium Supporting Student Research Teams pn. „Badania emisyjności akustycznej w transporcie szynowym” realizowanego przez Koło Naukowe Inżynierii Drogowej i Kolejowej Politechniki Gdańskiej. Celem projektu jest ocena emisyjności akustycznej typu nawierzchni z typem pojazdu szynowego oraz ocena komfortu podróżnych w transporcie kolejowym i tramwajowym pod względem hałasu. Realizacja badań została zaplanowana dwutorowo:

- pomiary na zewnątrz pojazdu w kontekście zależności poziomu dźwięku w odniesieniu do określonych typów nawierzchni,
- pomiary wewnątrz pojazdów w kontekście wpływu hałasu na komfort podróżnych.

Zespół projektowy został podzielony na dwie grupy badawcze, z których jedna zajmowała się hałasem emitowanym przez pociągi, druga zaś hałasem emitowanym przez tramwaje. W artykule zawarto analizę literatury, w tym norm oraz aktów prawnych dotyczących hałasu emitowanego wewnątrz i na zewnątrz pojazdów szynowych. Analizę przeprowadzono dla pojazdów kolejowych oraz tramwajów. Na podstawie wniosków opracowano szereg metod prowadzenia badań akustycznych celem implementacji ich w realizacji eksperymentów na rzeczywistych obiektach podczas ich eksploatacji. Opracowana metodyka badań

może być podstawą do zmian prawnych w sposobach i metodach oceny hałasu na zewnątrz i przede wszystkim wewnątrz pojazdów szynowych, np. z uwzględnieniem różnych typów wagonów.

**Abstract:** The subject matter of the article is to present the scope of activities along with preliminary conclusions related to the Plutonium Supporting Student Research Teams project entitled “Acoustic Emission Studies in Rail Transport”, carried out by the Student Scientific Association of Road and Railway Engineering at Gdansk University of Technology. The aim of the project is to assess the acoustic emissions of different types of track surfaces and rail vehicles, as well as to evaluate passenger comfort in train and tram transport in the context of noise. The research is planned to be carried out in a dual-track procedure:

- sound pressure level measurements for evaluation of noise emitted vehicles on specific/variety of railway track surface types,
- measurements inside the vehicles regarding the impact of noise on passenger comfort.

The project team has been divided into two research groups, with one group focusing on the noise emitted by trains, and the other on the noise emitted by trams. The article includes an analysis of literature, including standard and legal acts on the topic of noise emissions both inside and outside rail vehicles. The analysis was conducted for both railway and tram vehicles. Based on the conclusions a series of methods for conducting acoustic research were developed, with the aim of implementing them in experiments on real objects during their operation. The developed research methodology can serve as the basis for legal changes in the methods and techniques for assessing noise, both outside and, most importantly, inside rail vehicles, considering various types of coach.

## 1. Wstęp

Początki kolei sięgają XIX wieku, a pierwsze pociągi były napędzane maszynami parowymi. Choć stanowiły one przełom w transporcie, towarzyszył im ogromny hałas i wibracje, które były problematyczne zarówno dla pasażerów, jak i dla mieszkańców pobliskich obszarów. Wraz z rozwojem technologii kolejowej pojawiły się nowe źródła hałasu, takie jak tabor trakcyjny z napędem elektrycznym czy silnikami spalinowymi. W miarę upływu czasu dążenie do efektywności energetycznej i ograniczenia emisji hałasu stało się priorytetem w projektowaniu i modernizacji pojazdów szynowych.

Emisyjność akustyczna pojazdów szynowych stanowi istotny aspekt współczesnego transportu kolejowego i tramwajowego. Wiedza o stopniu rzeczywistego narażenia na hałas generowany przez te środki transportu oraz o warunkach sprzyjających zwiększonej emisji hałasu przez pojazdy szynowe ma znaczenie zarówno dla zapewnienia komfortu podróżujących, jak i dla ochrony środowiska oraz zdrowia publicznego.

Przedmiotem artykułu jest przedstawienie zakresu realizowanego projektu Plutonium Supporting Student Research Teams pn. „Badania emisyjności akustycznej w transporcie szynowym”. Plutonium Supporting Student Research Teams to program, który

w znacznym stopniu stawia na podniesienie jakości kształcenia oferowanego przez uczelnie wyższe w zakresie działalności kół naukowych w ramach działalności badawczej.

Okres realizacji projektu pn. „Badania emisyjności akustycznej w transporcie szynowym” zaplanowano na 2 lata – od 1.04.2023 do 31.03.2025 r. Projekt realizowany jest przez Koło Naukowe Inżynierii Drogowej i Kolejowej „KoDiK” działające od piętnastu lat na Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej.

Projekt realizowany jest w zakresie badań podstawowych w obszarze pomiarów hałasu i jego wpływu na komfort podróżnych. W ramach projektu zostały sformułowane cele, do których należą:

- ocena hałasu generowanego podczas przejazdu pojazdu szynowego przez punkt w odniesieniu do typu nawierzchni oraz geometrii toru, dotyczy to zarówno tramwajów, jak i pociągów,
- ocena wpływu hałasu na komfort osób oczekujących na pojazd szynowy na peronie oraz przystanku tramwajowym,
- ocena komfortu podróżnych w kontekście hałasu wewnątrz pojazdów szynowych – tramwajów i pociągów.

Realizacja badań została zaplanowana dwutorowo – pomiary poziomów dźwięku wykonywane na zewnątrz pojazdu w odniesieniu do określonych typów nawierzchni oraz pomiary hałasu wewnątrz pojazdów w kontekście wpływu hałasu na komfort podróżnych.

## **2. Analiza literatury oraz aktów prawnych**

### **2.1. Analiza aktów prawnych i norm w zakresie hałasu środowiskowego**

W opracowaniu całość metodyki oparto na obowiązujących aktach prawnych i rozporządzeniach, jednocześnie realizując analizę literatury spośród opracowanych artykułów o zasięgu krajowym i światowym w zakresie badań o podobnej tematyce dotyczącej hałasu środowiskowego.

Przedstawione w tabeli 1 normy są bazą opracowanej autorskiej metodyki badań. Akty zostały podzielone na normy związane z hałasem na zewnątrz, hałasem wewnątrz pojazdów szynowych oraz normy związane z hałasem infradźwiękowym, które również zostaną przeanalizowane w ramach podjętego tematu [50–53].

Tabela 1. Zbiór norm zaimplementowanych do projektu Plutonium (opracowanie własne)

<b>Hałas na zewnątrz</b>	PN-EN ISO 3095:2013-12 <i>Pomiar hałasu emitowanego przez pojazdy szynowe</i>
	PN-ISO 9613-1_2000P PN-ISO 9613-2-2002P <i>Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej – metoda obliczania</i>
	PN-EN 15610:2019-08 <i>Pomiar nierówności powierzchni tocznej szyny i koła w odniesieniu do emisji hałasu</i>
	PN-EN 15461+A1_2011E <i>Charakterystyka własności dynamicznych odcinków toru dla ruchu poprzez pomiary hałasu</i>
Hałas wewnątrz pojazdów	PN-EN ISO 3381_2022-02E <i>Pomiar hałasu wewnątrz pojazdów szynowych</i>
Normy związane z infradźwiękami	PN-ISO 7196_2002P <i>Charakterystyka częstotliwościowa filtru do pomiarów infradźwięków</i>
	PN-Z 01338_2010P <i>Pomiar i ocena hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy</i>

Ważnym aspektem analizy literatury, poza normami, są również rozporządzenia i inne akty prawa wykonawczego. W metodyce przyjęto łącznie dziewięć aktów prawa wykonawczego [12, 14, 35, 36, 59–62], a analizowane przepisy podzielono na pięć obszarów uwzględniających aspekty dotyczące pomiarów i odczytywania wyników. Wytypowano następujące grupy założeń w ramach prowadzonej analizy literatury:

1. *Ogólne założenia* obejmują syntezę literatury w zakresie wymagań i standardów obowiązujących podczas prowadzenia pomiarów poziomów dźwięku w środowisku kolejowym [12, 14, 61].
2. *Lokalizacje punktów* – obszar metodyki odnosi się do usytuowania punktów w taki sposób, by uwzględnić występowanie przesłon, płotów oraz innej infrastruktury towarzyszącej, która w istotny sposób wpływałaby na wynik pomiaru [61].
3. *Metodyka wykonywania badań* odnosi się do warunków i sposobu przeprowadzania badań w zakresie tramwajów i trolejbusów jak również pojazdów kolejowych [59,60].
4. *Wskaźniki oceny hałasu* na potrzeby realizacji badań, a następnie poprawnej interpretacji uzyskanych wyników, formułują zależności oraz szczegółowo opisane parametry odnoszące się do wartości chwilowej pojedynczego zdarzenia akustycznego czy do pomiarów w dłuższym przedziale czasu [12, 14, 60–62].



5. *Zestawy pomiarowe* – niniejszy obszar opisuje elementy aparatury do pomiaru poziomów dźwięku w środowisku, które są prawnie regulowane w zakresie wiarygodności uzyskanych wyników z pomiarów terenowych [60, 61].
6. *Warunki meteorologiczne* – w zakresie obszaru określano jednoznaczne warunki meteorologiczne, w których czynione będą zamierzenia pomiarowe. W szczególności określono je do pomiarów na zewnątrz, określono także zakres temperatury od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $50^{\circ}\text{C}$ , w której pomiary mogą być realizowane, oraz wilgotność 25%–98%, prędkość wiatru 0–5 m/s, jak również brak opadów atmosferycznych [60, 61].
7. *Ewidencja danych pomiarowych* posłużyła opracowaniu karty pomiarowej, w której każdy pomiar zostanie szczegółowo opisany z uwzględnieniem najważniejszych parametrów, takich jak identyfikacja pojazdu, schemat lokalizacji punktów pomiarowych i inne [61].
8. *Dopuszczalne poziomy dźwięku* – obszar został wytypowany w celu porównania poziomów dźwięku zarejestrowanych podczas prowadzenia kampanii pomiarowych do poziomów dopuszczalnych celem określenia uciążliwości hałasu w odniesieniu do komfortu podróżnych [12, 61].

## 2.2. Analiza literatury w zakresie hałasu w transporcie tramwajowym

Analiza literatury w zakresie hałasu w transporcie tramwajowym została przeprowadzona z uwzględnieniem pomiarów realizowanych zarówno na zewnątrz podczas przejazdu tramwaju, jak i wewnątrz pojazdów tramwajowych.

Pierwsza grupa poddana analizie dotyczyła hałasu mierzonego na zewnątrz podczas przejazdu pojazdu tramwajowego, który został opisany w szerokim zakresie z uwzględnieniem typu pojazdu, konstrukcji nawierzchni, geometrii toru tramwajowego oraz wpływu hałasu na komfort osób mieszkających w pobliżu linii tramwajowych.

Obszernym zbiorem są badania hałasu uwzględniające typ jednostki biorącej udział w badaniu [24]. W artykule [3] opisano badania akustyczne taboru tramwajowego typu 13N, 105N, 120NA używanego w zajezdni R3 Mokotów. W trakcie wykonywania pomiarów na nawierzchni klasycznej z podsypką tłuczniową znajdowała się cienka warstwa śniegu tłumiąca dźwięk ok. 3 dB. Zauważono, iż nowoczesne tramwaje są cichsze m.in. ze względu na osłony kół oraz lżejszą konstrukcję, a także nowsze rozwiązania techniczne. W artykule [28] opisano pomiary poziomu hałasu tramwajów w Zagrzebiu

(Chorwacja) dla różnych systemów mocowania torów, typów tramwajów, w porze dziennej i nocnej. Wykazano, że zastosowanie podwójnej warstwy elastycznej w przekładce szynowej obniża hałas o 3 dB(A) więcej niż w przypadku zastosowania pojedynczej przekładki podszykowej. Dodatkowo wykazano, że pojazdy poruszające się z prędkością mniejszą niż 20 km/h wykazują się hałasem mniejszym o 3-4 dB niż pojazdy poruszające się z prędkościami powyżej 20 km/h. W artykułach [37, 74] autorzy przedstawili wyniki pomiarów hałasu, które wykonano dla tramwajów w mieście Oslo (Norwegia). Zbadany został hałas toczny generowany na styku koło-szyna, hałas od kontaktu pantografu z siecią trakcyjną oraz wpływ prędkości na hałas. Opracowanie [34] zawiera badania hałasu i drgań generowanych podczas przejazdu tramwaju typu Solaris Tramino s105p w Poznaniu. W niniejszej pracy przedstawiono metody oceny aktywności wibroakustycznej tramwaju na podstawie wyników z badań hałasu rejestrowanego podczas przejazdu tramwaju w wybranym punkcie przy zajezdni tramwajowej.

W zakresie uwzględniania typu nawierzchni kolejowej autorzy w pracy [33] przedstawiają pomiary przeprowadzone na prostym odcinku torowiska na podkładach betonowych bez elementów tłumiących hałas. Wykonano pomiary dla trzech różnych modeli tramwajów działających w Poznaniu (Siemens Combino, Solaris Tramino S100, Solaris Tramino S105p). Dodatkowo w opracowaniu [25] uwzględniono chropowatość szyny podczas prowadzenia badań hałasu z przejazdu Solaris Tramino s105p w Poznaniu. Analizę uwzględniającą możliwość umieszczenia izolacji wibroakustycznej między poszczególnymi elementami konstrukcji oraz wymiany typów konstrukcji nawierzchni tramwajowej w kontekście niwelowania drgań na podstawie rzeczywistych pomiarów zawarto w pracy [79, 80].

Kolejnymi opracowaniami uwzględniającymi identyfikację hałasu w zależności od typu nawierzchni są badania [26], realizowane na dwóch rodzajach nawierzchni bezpodsytkowej. Pierwsza wykonana została w systemie szyny kotwionej z punktowym podparciem toków szynowych, druga w systemie „Rheda City” z zabudową z warstwy humusu z porostem roślinnym. W artykule [65] opisano pomiary hałasu tocznego dla czterech różnych rodzajów zabudowy torowiska – zabudowy klasycznej z podsypką, płytowej z osadzonymi blokami podkładowymi, bezpodsytkowej na zielonym torowisku i płytowej z amortyzatorami szynowymi. Badania prowadzono z uwzględnieniem chropowatości i innych uszkodzeń zarówno toru, jak i kół tramwaju.

Autorzy artykułu [58] wykonali pomiary hałasu w Ostrawie (Czechy) podczas przejazdu po nawierzchni składającej się ze specjalnie zmieszanego betonu, zawierającego

fragmenty wykonane z gumy uzyskiwanej z recyklingu. Dokonano podziału zaproponowanej nawierzchni na 4 warianty, zawierające fale poprzeczne o grubości 40 mm, wypukłości o grubości 40 mm, powierzchnię płaską o grubości 20 mm oraz powierzchnię płaską o grubości 40 mm, ale ze ściętymi brzegami. Przebadano każdy z wymienionych wariantów, a wyniki badań wykazały, że w wariantcie zawierającym powierzchnię falistą poprzeczną stwierdzono redukcję generowanego hałasu o 2–3 dB w porównaniu do pozostałych rozwiązań.

W pracy [41] przedstawiono wyniki analizy parametrów wejściowych i ich wpływu na wyjściowe poziomy hałasu na zewnątrz pojazdów. Dokonano obliczeń hałasu tramwaju na Słowacji zgodnie z metodologią “Shall 03”, uwzględniając trzy różne rodzaje nawierzchni. Największy problem zidentyfikowano w obliczeniach prędkości – błędy popełnione w zakresie tego parametru mają znaczący wpływ na wyjściowe poziomy hałasu.

W Nantes we Francji przeprowadzono pomiary poziomu hałasu tramwajów z podziałem na wpływ prędkości, rodzaj nawierzchni, rodzaj pojazdu oraz poszczególnych części pojazdu [39]. Wytypowano dwa różne stanowiska pomiarowe – z nawierzchnią trawiastą, bez elementów tłumiących drgania oraz z nawierzchnią utwardzoną kostką brukową w miejscu, gdzie zamontowane były urządzenia tłumiące drgania. W artykule przedstawiono porównanie różnych konfiguracji francuskich sieci tramwajowych pod względem emitowanego hałasu przejeżdżających tramwajów. Wybrano dwa miejsca pomiaru z nawierzchnią trawiastą oraz z nawierzchnią utwardzoną z podkładami drewnianymi.

Prace [6, 31, 32] zawierają wyniki badań z pomiarów prowadzonych w Gdańsku. W badanych lokalizacjach występowały dwa rodzaje nawierzchni – klasyczna oraz z płyty betonowej. Badane typy pojazdów w ramach prowadzonych prac to Düwag N8CNF oraz Pesa 128 NG.

Wytypowano również opracowania, w których uwzględniono zarówno geometrię linii tramwajowej [40, 63], jak i brak lub obecność systemu smarowania obrzeży kół. Niniejsze badania [11] zostały przeprowadzone na pętli tramwajowej w Bratysławie (Słowacja), a wyniki wykazały redukcję poziomu hałasu o 30–32 dB(A) w przypadku szyny smarowanej.

W zakresie badań hałasu w odniesieniu do transportu tramwajowego wyróżniamy również grupę badań we wnętrzu pojazdów tramwajowych. W niniejszej grupie w artykule [4] przedstawiono analizę badań tramwajów typu 105 Na oraz NGT6, eksploatowanych przez MKP S.A. w Krakowie w zakresie drgań oddziaływających na pasażerów oraz motorniczego. W zakresie pracy przedstawiono również zmierzone poziomy

dźwięku w kabinie motorniczego i w przedziale pasażerskim w odniesieniu do typu nawierzchni.

W pracy [15] opisano analizę poziomu hałasu we wnętrzu tramwajów zmierzonego na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii, na odcinku ograniczonym przystankami Chorzów Stadion Śląski–Chorzów Nowa. Wybrano trzy odcinki trasy charakteryzujące się różnym typem nawierzchni oraz trzy modele pojazdów (105 Na, Modertrans Moderus Alfa (HF 11 AC), Pesa Twist (2021N). Dodatkowo dla pojazdu Moderus Alfa eksploatowanego przez MPK Poznań poddano analizie wyniki pomiarów w zakresie hałasu podczas przejazdu w różnych fazach ruchu [73]. W opracowaniu [38] przedstawiono wyniki badań ankietowych dotyczących komfortu akustycznego, przeprowadzonych wśród pasażerów tramwaju Solaris Tramino.

Pomiary hałasu wewnątrz tramwaju w czasie normalnej eksploatacji, w godzinach szczytu przeprowadzono w pojazdach Düwag N8CNF oraz Pesa Swing 120NaG w Gdańsku [2].

W mieście Constantina w Algierii przeprowadzono pomiary hałasu w przestrzeni pasażerskiej pustego tramwaju Alstom CITADIS 402 zgodnie z normą NF S 31-028 [20].

W artykule [72] w sposób szczegółowy omówione są wybrane przepisy związane z wykonywaniem badań i oceną hałasu pojazdów szynowych, a także te przepisy, które odnoszą się do dopuszczenia pojazdów szynowych do eksploatacji. Przedstawiono także wyniki badań przeprowadzonych wewnątrz wagonów tramwajowych typu 105N/Na oraz Tatra RT6-N1. Celem badań przedstawionych w artykule [54] było natomiast sprawdzenie poziomu jakości komunikacji wewnątrz tramwaju. Badania prowadzono z wykorzystaniem realistycznego sygnału maskującego – szumu występującego podczas rzeczywistej jazdy tramwaju.

### **2.3. Analiza literatury w zakresie hałasu w transporcie kolejowym**

Bazowe opracowania [5, 22, 57, 68–70] zawierają szczegółowe informacje dotyczące cech fizycznych fali akustycznej oraz stosowanych parametrów akustycznych, a także typy hałasu, które można wyróżnić w transporcie kolejowym podczas przejazdu z uwzględnieniem konstrukcji inżynierskich. W pracach [55, 56, 71] dodatkowo przedstawiono mechanizm powstawania hałasu toczenia oraz wpływ prędkości i nierówności toru na poziom generowanego dźwięku. W pracy [71] opisano również metodę TDR oraz odniesiono się szczegółowo do teorii Hertza.

W zakresie hałasu toczenia w transporcie kolejowym opracowania dotyczą odniesienia do rodzaju nawierzchni i zastosowanych komponentów, hałasu na przejazdach kolejowo-drogowych [43] z uwzględnieniem typu zabudowy i rodzaju płyt, odniesienia hałasu do typu taboru czy hałasu wewnątrz pojazdów kolejowych.

Autorzy artykułów [8, 9] przedstawili badania parametrów nawierzchni kolejowej z podkładami stalowymi typu Y na odcinku testowym w warunkach eksploatacyjnych. Odcinek testowy ustalono w Krakowie Swoszowicach, gdzie przeprowadzono pomiary hałasu, parametrów geometrycznych toru oraz pomiary geotechniczne podtorza. W wyniku prowadzonych badań omówiono stan nawierzchni po rocznej eksploatacji oraz przedstawiono możliwości stosowania tego typu nawierzchni, wykazując spełnienie wszystkich wymagań nowoczesnej nawierzchni. W aspekcie pomiaru hałasu wyniki wskazały obniżenie hałasu od 6 do 14 dB przy zastosowaniu toru bezстыkowego na podkładach stalowych typu Y w porównaniu do toru klasycznego na podkładach drewnianych.

Opracowania w odniesieniu do rodzaju taboru [9, 44] dotyczą badań porównawczych hałasu tocznego oraz aerodynamicznego, w trakcie przejazdu pojazdu typu EMU250 z prędkościami ok. 180 km/h na odcinku Psary – Góra Włodowska. W pracy [1] opisano pomiary hałasu generowanego podczas przejazdu pociągu pasażerskiego (spalinowego DR1AM) z uwzględnieniem typu zabudowy nawierzchni w odniesieniu do rodzaju podkładów. Wyniki badań miały wskazać, która zabudowa pod względem rodzaju stosowanego podkładu jest najlepsza przy uwzględnieniu zanieczyszczenia hałasem. Niniejsze pomiary wykonano w Wilnie (Litwa) na odcinkach Senieji Trakai–Rudiskes oraz Rudiskes–Matuizos. W pracy [44] przedstawiono metodykę pomiarów hałasu pochodzącego od pojazdów kolejowych zwiększonych prędkości na liniach nr 4 – odcinek Grodzisk Mazowiecki–Szeligi dla prędkości 300 km/h oraz nr 9 – odcinek Legionowo–Nowy Dwór Mazowiecki dla prędkości 120 i 160 km/h.

Autorzy niektórych prac w sposób zarówno empiryczny, jak i symulacyjny przedstawiają problem hałasu powstającego na styku koło–szyna [13, 23] z uwzględnieniem metody Track Decay Rate (TDR) [48]. W zakresie niniejszej metody, w celu wyznaczenia charakterystyki TDR, zostały przeprowadzone badania na odcinku linii kolejowej nr 50 w Warszawie oraz na linii kolejowej nr 501 [27], bazując na normie [48]. W publikacji [18] przedstawiono metodę uwzględniającą określenie chropowatości, widm funkcji przenoszenia i szybkości zaniku drgań w torze. Dodatkowo przeprowadzono badania na dwóch różnych torach z podkładami drewnianymi w miejscowości Caen (Francja). Do badań zastosowano trzy typy wagonów – towarowy G50, pasażerski Corail (o średnicy kół 930 mm) oraz kontenerowy Novatrans (referencyjny o średnicy kół 730 mm).

Wykonano również [21] analizę strukturalną koła oraz przeprowadzono test na zakrzywionym odcinku (o promieniu 150 m i przechyłce 50 mm), w miejscu styku koła z szyną. Na podstawie badań znaleziono warunki rzeczywiste, w których koło wytwarza nieprzyjemne „piski”. Zbadano także wpływ hałasu generowanego wewnątrz i na zewnątrz zakrzywionego odcinka toru, odnosząc wyniki do prędkości przejazdu elektrycznego zespołu trakcyjnego (EMU) w zakresie 5–30 km/h.

W obszarze pomiarów hałasu infradźwiękowego w transporcie kolejowym w pracy [64] przedstawiono wyniki pomiarów infradźwięków zarejestrowanych podczas normalnej eksploatacji we wnętrzu dwóch pociągów Intercity relacji Rzym–Florence. Dodatkowo w pracy [17] dokonano analizy wyników pomiarów infradźwięków podczas wjazdu i wyjazdu pociągu z tunelu.

Przepisy prawa nakładają ograniczenia w zakresie emisji hałasu do środowiska, stąd w pracach [19, 76, 77] zawarto zbiór informacji związanych z postępowaniem w sprawie oceny oddziaływania transportu kolejowego na środowisko, obowiązujących TSI, badań prowadzonych nad rozwiązaniami redukującymi hałas kolejowy, a także realizowanych projektów podejmujących tematykę hałasu na kolei.

W artykule [7] zostały omówione propozycje, pomysły i możliwości zastosowania kompozytowych wstawek hamulcowych w taborze towarowym w celu spełnienia wymagań europejskich, a w artykule [45] przedstawiono rozwiązania i działania przeciwhałasowe, jakie można wprowadzić, aby ograniczyć hałas kolejowy w aglomeracjach miejskich.

W zakresie grupy opracowań dotyczących hałasu wewnątrz pojazdów kolejowych w publikacji [75] zawarto opracowanie autorskiej metodyki pomiarów hałasu, którą zaimplementowano w pomiarach w przestrzeni pasażerskiej pociągów SKM w Trójmieście oraz w EZT EN57 [16]. Badania hałasu prowadzono również w zależności od klasy i rodzaju wagonu pojazdu kolejowego [10, 66, 67, 72].

Prace [29, 30, 42] uwzględniają wpływ stanu nawierzchni kolejowej na poziom hałasu we wnętrzu pojazdu. Przedstawiono wyniki hałasu zmierzonego wewnątrz pojazdu podczas jazdy na linii metra znajdującej się w Pekinie. Badania hałasu zostały powtórzone kilkakrotnie po szlifowaniu szyn, które wykazało, że po półrocznym okresie hałas wewnętrzny praktycznie nie uległ zmianie. Badania zostały przeprowadzone na podstawie chińskich norm GB/T 3449-2011 i GB/T 14892-2006 [42]. W zakresie opracowania [29] przedstawiono wyniki pomiarów hałasu wewnątrz pojazdów w zależności od sztywności mocowań szyn do podkładów. Przedstawiono kompleksową analizę z uwzględnieniem drgań rejestrowanych na maźnicy i na podłodze w pociągu oraz poziomów hałasu zewnętrznego. W publikacji [30] zaproponowano kryterium akcepta-

cji chropowości szyn na podstawie hałasu wewnętrznego w metrze, bazując na normie EN 13231-3:2012 oraz pracy [49].

### 3. Metodyka pomiarów

#### 3.1. Aparatura badawcza i warunki badań

Metodyka pomiarów opracowana została na podstawie obowiązujących norm kolejowych: ISO 3095 [46] oraz ISO 3381 [47]. Metodyka zakłada prowadzenie badań w zakresie hałasu słyszalnego i infradźwiękowego z próbą uwzględnienia narażenia zarówno dorosłych, jak i dzieci.

Schemat planowanych działań oraz ich celów przedstawiony został w tabeli 2.

Tabela 2. Ogólne założenia prowadzenia badań (opracowanie własne)

Transport kolejowy	Transport tramwajowy
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pomiary hałasu przejazdu               <ul style="list-style-type: none"> <li>– źródło metody: [46]</li> <li>– cel: ocena hałasu względem różnych typów nawierzchni i pojazdów</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pomiary hałasu przejazdu               <ul style="list-style-type: none"> <li>– źródło metody: [46]</li> <li>– cel: ocena hałasu względem różnych typów nawierzchni i pojazdów</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pomiary hałasu na peronie               <ul style="list-style-type: none"> <li>– źródło metody: [46]</li> <li>– cel: sprawdzenie narażenia na hałas podróźnych na peronie</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pomiary hałasu na przystanku               <ul style="list-style-type: none"> <li>– źródło metody: [46]</li> <li>– cel: sprawdzenie narażenia na hałas podróźnych na przystanku</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pomiary hałasu wewnątrz pojazdów               <ul style="list-style-type: none"> <li>– źródło metody: [47] + badanie ankietowe</li> <li>– cel: sprawdzenie narażenia podróźnych na hałas i ocena wpływu hałasu na komfort podróży</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pomiary hałasu wewnątrz pojazdów               <ul style="list-style-type: none"> <li>– źródło metody: ISO 3381 [47]</li> <li>– cel: sprawdzenie narażenia pasażerów na hałas</li> </ul> </li> </ul>

Pomiary w transporcie tramwajowym i kolejowym przeprowadzone będą podczas eksploatacji pojazdów w normalnym ruchu pasażerskim i zostaną podzielone na trzy rodzaje:

- pomiary hałasu przejazdu (poza przystankiem/peronem),
- pomiaru hałasu emitowanego przez pojazdy szynowe na przystankach/peronach,
- pomiary hałasu wewnątrz pojazdu.

W celu realizacji pomiarów terenowych wytypowano dwa zestawy pomiarowe. Zestaw pomiarowy nr 1, który składa się mierników poziomego dźwięku model 2250 Light B&K z zainstalowanym oprogramowaniem rejestracji poziomów dźwięku w czasie. Zaletą tego zestawu jest jego mobilność oraz brak konieczności podłączania przewodów. Zakres częstotliwości miernika wynosi od 6.5 Hz do 16 kHz, natomiast zakres dynamiki 15–142 dB.

Zestaw pomiarowy nr 2 składa się z kasety sześciokanałowej rejestrującej sygnał oraz maksymalnie z sześciu mikrofonów do jednoczesnej rejestracji. Wadą tego systemu jest konieczność korzystania z przewodów, co może uniemożliwić prowadzenie pomiarów, w szczególności w zatłoczonych tramwajach czy pociągach, natomiast zaletą zestawu jest możliwość sterowania systemem pomiarowych przez sieć Wi-Fi z poziomu telefonu komórkowego i jednoczesna rejestracja sygnałów z sześciu przetworników.

Wszystkie pomiary przeprowadzane będą w warunkach meteorologicznych zgodnych z wytycznymi zawartymi w Rozporządzeniu [61] w celu uzyskania miarodajnych i porównywalnych wyników.

W ramach prac przygotowawczych do badań terenowych, w tym wyboru miejsc pomiarowych, konieczna jest identyfikacja zmiennych warunkujących charakterystykę zdarzenia akustycznego, dotyczących zarówno infrastruktury, jak i taboru. Informacje, takie jak typ nawierzchni, geometria toru, stan toru, charakterystyka kursujących pojazdów zostaną umieszczone w dedykowanej bazie danych.

## 3.2. Pomiary hałasu w transporcie tramwajowym

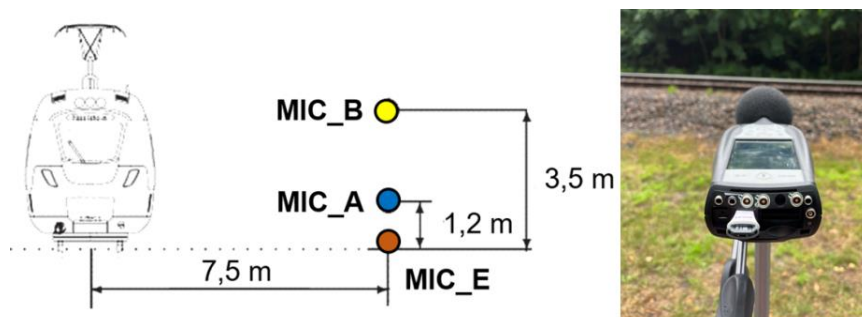
### Pomiary hałasu przejazdu (poza przystankiem)

Pierwszą grupą pomiarów są pomiary w transporcie tramwajowym uwzględniające przejazd przez punkt znajdujący się poza przystankiem. W ramach badań identyfikowane zostaną następujące elementy:

- *podstawowe elementy nawierzchni* – np. czy jest to nawierzchnia podsypkowa, bezpodsypkowa, uzyskanie informacji o zastosowanych materiałach, zwłaszcza w zakresie typu szyny, podkładów i podkładek podszytowych, czyli elementów, które mają istotny wpływ na poziom dźwięku przejeżdżającego pojazdu, a także określenie stanu nawierzchni determinowanego m.in. zużyciem eksploatacyjnym,
- *parametry geometryczne toru* – pomiary wykonywane będą na odcinkach prostych oraz łukach poziomych, w przypadku których uwzględnione zostaną ich parametry, takie jak np. promień łuku.



Określone zostaną również indywidualne cechy pojazdów szynowych, które mogą w znacznym stopniu różnicować ich właściwości akustyczne nawet w obrębie jednego typu. Trudnością byłoby wykonanie wielokrotnego pomiaru danej jednostki taboru w określonych warunkach dlatego zdecydowano o przeprowadzaniu dużej próby w ramach danej sesji pomiarowej, pozwalającej na późniejszą klasyfikację pojazdów szynowych ze względu na emitowany hałas. Dodatkowo dla każdego przejazdu zostanie zmierzona prędkość za pomocą dalmierza laserowego.

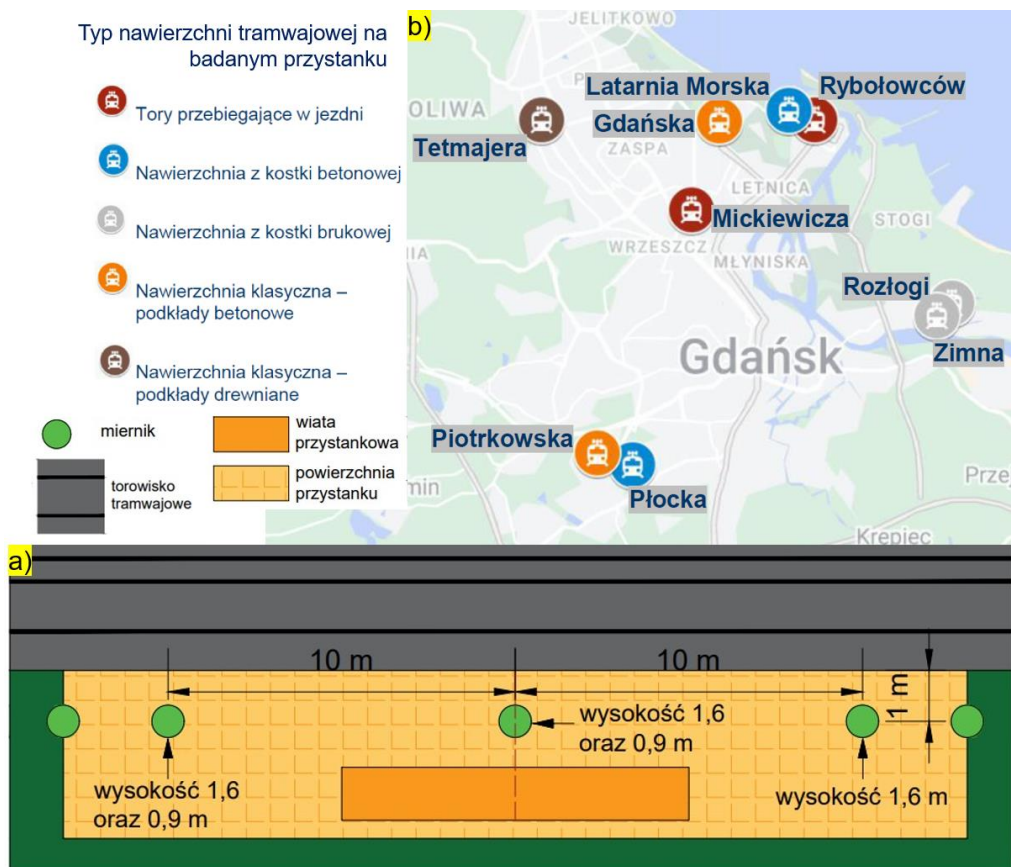


Rys. 1. Lokalizacja punktów pomiaru poziomów dźwięku podczas przejazdu tramwaju (opracowanie własne na podstawie [46])

Wytypowano trzy punkty rejestracji poziomów dźwięku (rys. 1). Lokalizacja punktów A i B wynika bezpośrednio z założeń określonych w normie [46]. Wskazano również dodatkowy punkt pomiarowy (pkt. E) na poziomie powierzchni toczonej główki szyny w celu zbadania hałasu toczonego.

### Pomiary na przystankach tramwajowych

Kolejną grupą pomiarów w zakresie hałasu w transporcie tramwajowym są pomiary na przystankach tramwajowych. Punkty pomiarowe zostaną rozmieszczone według schematu pokazanego na rys. 2a. Podczas pomiarów zostanie zarejestrowana faza hamowania, postoju oraz ruszania. Warto wspomnieć, że w standardach nie został sparymetryzowany maksymalny dopuszczalny poziom hałasu podczas hamowania pociągu, jednakże takie pomiary również zostaną wykonane. Na rysunku 2b przedstawiono lokalizacje wybranych punktów pomiarowych w Gdańsku. Każda lokalizacja została opisana pod względem nawierzchni torowiska geometrii toru. W badaniach założono, iż do pomiarów będą przyjmowane jedynie przystanki pojedyncze.

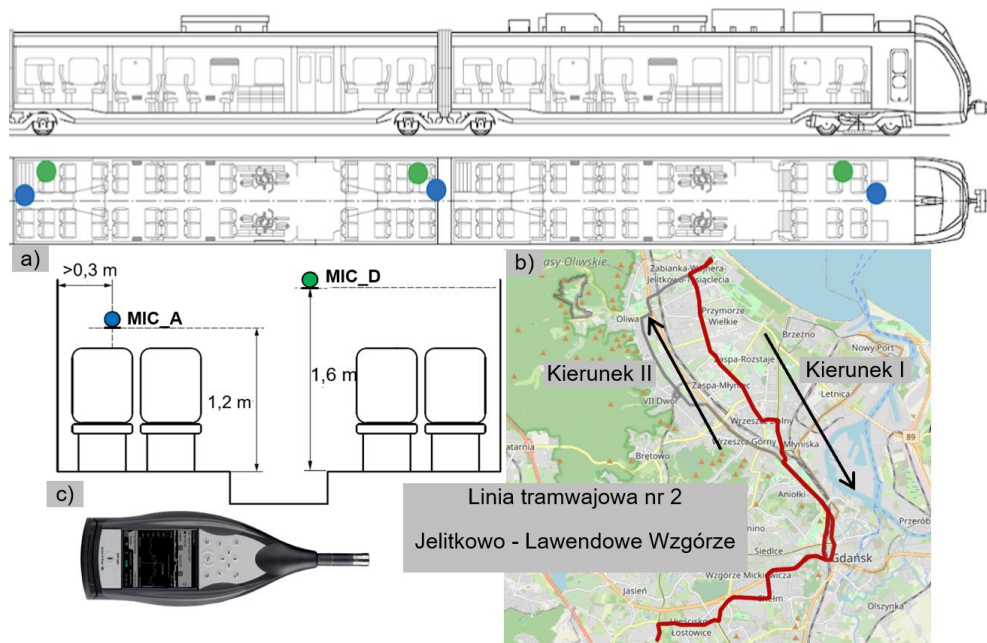


Rys. 2. Lokalizacja punktów pomiarowych na przystanku tramwajowym (a),  
 lokalizacja miejsc pomiarowych z podziałem na rodzaj nawierzchni (b)  
 (opracowanie własne)

## Pomiary wewnątrz pojazdów

Ostatnią grupą badań w zakresie transportu tramwajowego są badania wewnątrz pojazdów. Punkty pomiarowe wyznaczono na wysokości 1,2 m (MIC\_A) oraz 1,6 m (MIC\_B) w miejscach oznaczonych na rys. 3a.

Do przeprowadzenia badań wytypowano linię tramwajową nr 2 w Gdańsku (rys. 3b) ze względu na obecność różnych typów nawierzchni torowiska, a także zróżnicowanie stanu toru (linia przebiega częściowo również przez nowo wybudowane torowisko). Pomiary zostaną wykonane miernikiem poziomu dźwięku klasy 1 typu 2250 Light B&K (rys. 3c).

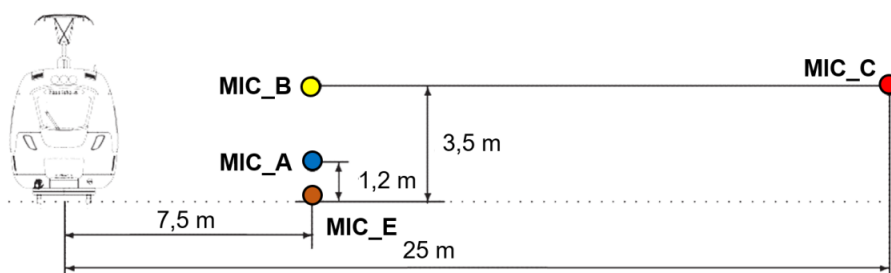


Rys. 3. Lokalizacja punktów pomiarowych w tramwaju (a), trasa przejazdu (b), aparatura pomiarowa (c) (opracowanie własne na podstawie [46])

### 3.3. Pomiary hałasu w transporcie kolejowym

#### Pomiary hałasu przejazdu

Wybór punktów pomiarowych zbliżony jest do tego z badań w transporcie tramwajowym, z wyjątkiem wytypowanego dodatkowego punktu C oddalonego od osi toru o  $25\text{ m}$  na wysokości  $3,5\text{ m}$  [45]. Punkty pomiarowe zostały przedstawione na rys. 4.



Rys. 4. Lokalizacja punktów pomiaru poziomów dźwięku podczas przejazdu pociągu (opracowanie własne na podstawie [45])

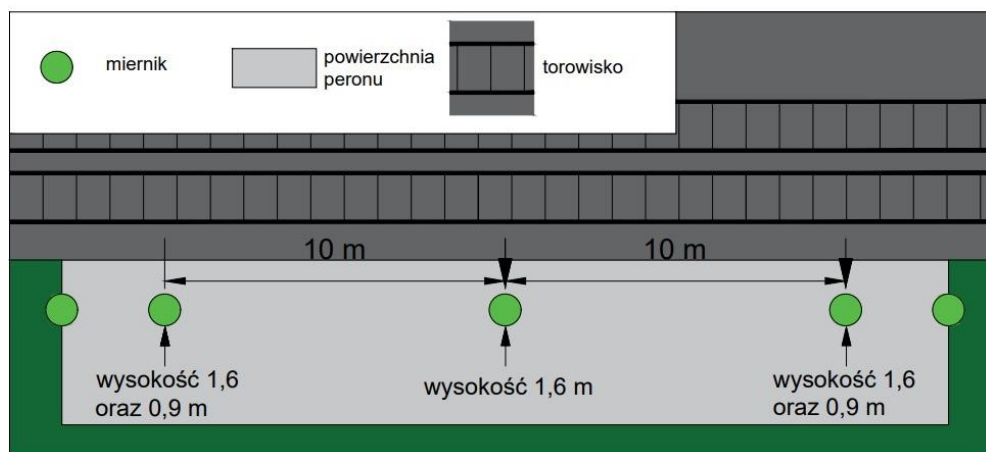
Pojazdy kolejowe zostały podzielone na pięć kategorii w celu jednoznacznej identyfikacji badanych jednostek w dalszej analizie wyników pomiarów. W tabeli 3 przedstawiono nazwy grup, ich skrócony opis oraz listę typów pojazdów przypisanych do danej grupy.

Tabela 3. Kategorie pojazdów wytypowane do metodyki badań  
(opracowanie własne)

Nazwa grupy	Opis grupy pojazdów	Typy pojazdów
Pendolino	Pociąg dużych prędkości	ED250
PE	Pociąg pośpieszny Lokomotywa elektryczna + wagony	EP05, EP07, EP07PA, EP08, EP09, E163, E186, 111Ed, 111Eb, EU07, EU43, EU44, EU45, EU46, EU47, EU160, X4EC
PS	Pociąg pośpieszny Lokomotywa spalinowa + wagony	754, SU160, 111Db, SU4220, SU4210, SU42, SM42, 311D, Class 66, ST44, S200, SM48, SP45, SU45, SU46, F 140 DE
ZT_nowy	Pociąg osobowy nowoczesny	27WE, 27Web, 35WE ER75, 14WE, 19WE, 27Web, 33WE, 36Wea, ED78, EN61, EN63, EN63a, EN63A, EN64, ED74, EN75, EN76, EN77, EN96, EN99, L4268, EN81, ED160, ED161, SA133, SA134, SA135, SA136, SA137, SA138
ZT_stary	Pociąg osobowy starego typu	EN71, EN57, EN57AP, ED72, ED72A, EN57AKM, EN57AKŚ, EN57AKW, EN57AL, EN71AKŚ
LE	Lokomotywa elektryczna	EP05, EP07, EP07PA, EP08, EP09, E163, E186, 111Ed, 111Eb, EU07, EU43, EU44, EU45, EU46, EU47, EU160, X4EC
LS	Lokomotywa spalinowa	754, SU160, 111Db, SU4220, SU4210, SU42, SM42, 311D, Class 66, ST44, S200, SM48, SP45, SU45, SU46, F 140 DE
U	Pociąg utrzymaniowo-naprawczy	-

## Pomiary na peronach

Pomiary hałasu emitowanego przez pojazdy podczas hamowania oraz ruszania wykonane zostaną na peronach. Proponowane rozmieszczenie punktów pomiarowych zostało przedstawione na rys. 5. W przypadku tych pomiarów istotna będzie identyfikacja takich parametrów, jak stan nawierzchni toru przy peronie, wysokość peronu oraz typ pojazdu.



Rys. 5. Lokalizacja punktów pomiaru poziomów dźwięku na peronie kolejowym (opracowanie własne)

### Pomiary wewnątrz pojazdów

Pomiary poziomu dźwięku wykonywane wewnątrz pojazdów kolejowych pozwolą na sprawdzenie narażenia podróżnych na hałas z uwzględnieniem pory dnia i nocy. Dodatkowo wśród pasażerów przeprowadzone zostanie badanie ankietowe dotyczące komfortu podróży. Na podstawie wyników akustycznych w powiązaniu z oceną ankietowanych podjęta będzie próba opisu wpływu hałasu na komfort jazdy.



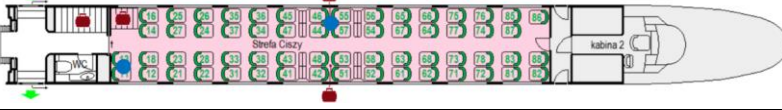



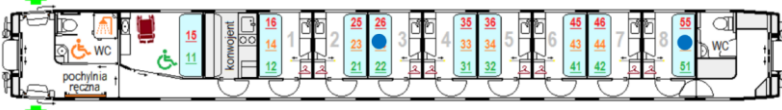
W pomiarach hałasu wewnątrz pociągów przyjęto kategoryzację pojazdów na trzy klasy:

- 1) elektryczne zespoły trakcyjne oraz wagony bezprzedziałowe,
- 2) wagony przedziałowe,
- 3) wagony sypialne.

W tabeli 4 przedstawiono charakterystykę określonej kategorii pojazdów wraz z zaznaczeniem, kolorem niebieskim punktów pomiaru (rys. 3a). Założono, iż w pociągach ED250, ED160 oraz ED161 pomiary zostaną zrealizowane w tzw. wagonie ciszy przy wejściu do wagonu oraz w jego środkowej części. W przypadku klasycznego wagonu bezprzedziałowego np. 111A-20, wytypowano trzy punkty pomiaru, po jednym punkcie przy wejściu do wagonu oraz w jego środkowej części.

W celu wykluczenia wpływu infrastruktury wybrano dwie stałe trasy przejazdu dla niniejszych jednostek. Pierwsza trasa będzie obejmowała przejazd pociągiem po linii kolejowej nr 9 na odcinku Gdynia Główna–Iława Główna. Druga trasa będzie obejmowała przejazd pociągiem po linii nr 131 na odcinku Gdyni Główna–Bydgoszcz Główna.

Tabela 4. Punkty pomiaru poziomów dźwięku (opracowanie własne na podstawie [46, 78])

Wagony bezprzedziałowe	
	DART • wagon nr 8 <i>strefa cizy</i> • 2 punkty pomiaru
	FLIRT • wagon nr 8 <i>strefa cizy</i> • 2 punkty pomiaru
	Pendolino • wagon nr 7 <i>strefa cizy</i> • 2 punkty pomiaru
	111A-20_B9nopuz • 3 punkty pomiaru
Wagony przedziałowe	
	Z_B11mnouz/ Z_A9mnouz • 5 pkt. Pomiaru w tym pomiar jednego przedziału
	COMBO • 3 punkty pomiaru
Wagony sypialne	
	WLAB10o • 2 punkty pomiaru – pomiar dwóch przedziałów

W wagonach przedziałowych punkty pomiaru zostały zlokalizowane w zewnętrznych przedziałach oraz w środkowym przedziale. W wagonie COMBO uwzględniono również miejsca dla matek z dziećmi i osób ze szczególnymi potrzebami. Punkty pomiarowe zostaną ustawione na wysokości 1,2 m od poziomu podłogi

oraz w odległości 40 cm od ściany/okna do mierzonego punktu. Pomiar odbędzie się za pomocą bezprzewodowych mierników poziomu dźwięku umieszczonych na statywach. Wyjątek stanowi ostatni wagon przedziałowy, w którym pomiar odbędzie się za pomocą mikrofonów połączonych przewodami do kasety rejestrującej, stąd konieczność wyłączenia niniejszego przedziału z możliwości korzystania przez innych podróżnych.

W wagonach sypialnych pomiary zostaną wykonane w punktach na wysokości poduszki za pomocą mikrofonów połączonych przewodami do kasety rejestrującej, stąd konieczność wyłączenia wybranych przedziałów z możliwości korzystania przez innych podróżnych.

## 4. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza literatury i znajomość obszarów realizowanych badań pozwoliła na przygotowanie założeń dotyczących najbliższych pomiarów. Dotychczas nie prowadzono tego typu badań w tak szerokim zakresie, w szczególności z uwzględnieniem wagonów sypialnych czy wagonów dla matek z dziećmi i osób niepełnosprawnych. Dodatkowo w metodyce badań uwzględniono sprawdzenie narażenia dzieci na hałas, lokalizując punkt pomiarowy na wysokości 95 cm od powierzchni peronu. Aparatura pomiarowa zaplanowana do badań umożliwia ponadto na pomiar hałasu w zakresie infradźwiękowym, co również wymaga uwagi, a w ograniczonym stopniu opisane jest w dostępnej literaturze.

W kolejnych krokach przeprowadzone zostaną sesje pomiarowe zgodnie z zaprezentowaną metodyką oraz opracowana zostanie dedykowana baza danych, zawierająca szereg zmiennych dotyczących infrastruktury i taboru, o których mowa w podrozdziale 3.1 niniejszego artykułu.

*Financial support of these studies from Gdańsk University of Technology by the DEC-5/1/2022/IDUB/III.4a/Pu grant under the PLUTONIUM SUPPORT IN STUDENT RESEARCH TEAMS – “Excellence Initiative – Research University” program is gratefully acknowledged.*

## Literatura

- [1] ALEKNAITE M., GRUBLIAUSKAS R., *Assessment and evaluation of railway noise spread dependence on different types of sleepers*, Energy Procedia, 2018, 147, 249–257.
- [2] ANTKIEWICZ S., *Analiza i ocena poziomu hałasu we wnętrzu tramwajów w Gdańsku*, praca inżynierska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2021.



- [3] BISKUP K., GAŁĘZIA A., LUBIKOWSKI K., RZESZÓDKO P., WIKARY M., *Pomiar hałasu tramwajowego*, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów, 2013, 2 (93).
- [4] BŁASZCZYŃSKI T., *Niekorzystne oddziaływania taboru szynowego w mieście*, Przegląd Budowlany, 2021, R. 92.
- [5] BOHATKIEWICZ J., HAŁUCHA M., *Pomiary i analizy hałasu kolejowego*, cz. I, edroga.pl, 2008.
- [6] BRZEZIŃSKI T., DZIEMIŃSKI J., *Hałasliwość komunikacji tramwajowej*, praca magisterska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2012.
- [7] BUŁHAK J., BUCHALSKA E., *Redukcja hałasu emitowanego przez tabor towarowy poprzez zastosowanie kompozytowych wstawek hamulcowych*, TTS Technika Transportu Szynowego, 2006, R. 12, nr 11–12, 58–62.
- [8] CZYCHUŁA W., JAMKA M., LISOWSKI S., *Badania parametrów stanu nawierzchni kolejowej z podkladami stalowymi typu Y na odcinku testowym w Krakowie-Swoszowicach*, TTS Technika Transportu Szynowego, 2005, R. 11, nr 4.
- [9] CZYCHUŁA W., KOŻUCH B., *Hałas w otoczeniu linii kolejowych – porównanie hałasu emitowanego przez EMU 250 (Pendolino) i inne pociągi kursujące po centralnej magistrali kolejowej*, TTS Technika Transportu Szynowego, 2015, R. 22, nr 12, 347–353.
- [10] DARKOWSKI P., *Ocena klimatu akustycznego w przestrzeni pasażerskiej podczas jazdy w składach kolejowych EN57 oraz 31WE*, praca dyplomowa inżynierska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2023.
- [11] DEÁK V., *Zmniejszanie hałasu podczas jazdy tramwajów po łuku – system smarowania obrzeży kół*, Technika Transportu Szynowego, 2004, 7–8.
- [12] Decyzja komisji z dnia 29 kwietnia 2004 r. określająca podstawowe parametry „hałasu”, „wagonów towarowych” i „zastosowań telematycznych dla przewozów towarowych” Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności określonych w dyrektywie 2001/16/WE.
- [13] DELAUAUD V., *Modélisation temporelle de l'interaction roue/rail pour une application au bruit de roulement ferroviaire*, Thèse de doctorat de l'Ensta ParisTech, 2011.
- [14] Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku.
- [15] GAWŁAK K., KNAP M., POŚPIECH A., PRZYKŁOTA Ł., *Analiza i ocena poziomu hałasu we wnętrzu tramwajów na podstawie badań przeprowadzonych na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii*, Technika Transportu Szynowego, 2019, 5.
- [16] HARDY A.E.J., *Measurement and assessment of noise within passenger trains*, Journal of Sound and Vibration, 2000, 231 (3), 819–829.
- [17] HOWE M.S., *On the infrasound generated when a train enters a tunnel*, Journal of Fluids and Structures, 2003, 17, 5, 629–642.
- [18] JANSSENS M.H.A., DITTRICH M.G., DE BEER F.G., JONES C.J.C., *Railway noise measurement method for pass-by noise, total effective roughness, transfer functions and track spatial decay*, Journal of Sound and Vibration, 2006, 293, 1007–1028.
- [19] KHAN D., BURDZIK R., *Measurement and analysis of transport noise and vibration: A review of techniques, case studies, and future directions*, Measurement, 2023, 220, 113354.
- [20] KHELFI M., BOUKEBBAB S., *The effect of noise on the comfort of passengers inside the tramway and its impact on traffic congestion in the urban area*, Laboratoire Ingénierie des Transports et Environnement, Campus Universitaire Zarzara 25017 Constantine.
- [21] KIM J.C., YUN Y.S., NOH H., *Analysis of Wheel Squeal and Flanging on Curved Railway Tracks*, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2019, 20, 2077–2087.



- [22] KIRPLUK M., *Podstawy akustyki*, Warszawa, listopad 2012.
- [23] KITAGAWA T., THOMPSON D.J., *The horizontal directivity of noise radiated by a rail and implications for the use of microphone arrays*, Journal of Sound and Vibration, 2009, 329, 202–220.
- [24] KOMORSKI P., NOWAKOWSKI T., SZYMAŃSKI G., MOTYL M., FINKE S., *The comparison analysis of sound level emitted by various tram bogies under normal operating conditions*, 24th International Congress on Sound and Vibration, London Calling, 2017.
- [25] KOMORSKI P., *Opracowanie modelu sygnatury akustycznej wybranego miejskiego pojazdu szynowego w teście pass-by*, praca doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 2019.
- [26] KORZEB J., ILCZUK P., *Drgania i hałas w strefie oddziaływania linii tramwajowych*, Logistyka, Instytut Logistyki i Magazynowania, 2014, nr 4.
- [27] KRAŚKIEWICZ C., MOSSAKOWSKI P., ZBICIAK A., SABOUNI-ZAWADZKA A., *Experimental identification of dynamic characteristics of a track structure influencing the level of noise emission*, Archives of Civil Engineering, 2021, No. 4, 543–557.
- [28] LAKUSIC S., DRAGCEVIC V., RUKAVINA T., *The impact of tram track fastening systems on noise level*, WIT Transactions on The Built Environment, 2005, 77.
- [29] LI L., THOMPSON D., YINGSONG X., QIAN Z., YANYUN L., ZHENYU L., *Influence of rail fastener stiffness on railway interior noise*, Applied Acoustics, 2019, 145, 69–81.
- [30] LIU X., HAN J., LIU M., WANG J., XIAO X., WEN Z., *Rail Roughness Acceptance Criterion Based on Interior Noise*, Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2022, No. 36.
- [31] MARTYNOWSKI M., *Ocena poziomów dźwięku w zależności od konstrukcji nawierzchni tramwajowej*, praca magisterska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2021.
- [32] MIKCZYŃSKA D., *Ocena poziomu hałasu generowanego przez jadący tramwaj*, praca magisterska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2021.
- [33] NOWAKOWSKI T., FIRLIK B., STAŚKIEWICZ T., *Developing Assumptions for the Tram Noise Attenuation Passive System Using the Noise Maps Analysis Method*, Archives of Acoustics, 2019, Vol. 44, No. 4.
- [34] NOWAKOWSKI T., *Opracowanie metody oceny aktywności wibroakustycznej tramwaju w oparciu o pomiary przytorowe*, praca doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 2020.
- [35] Obwieszczenie Ministra Infrastruktury z dnia 7 lipca 2020 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie wymagań w zakresie odległości i warunków dopuszczających usytuowanie drzew i krzewów, elementów ochrony akustycznej i wykonywania robót ziemnych w sąsiedztwie linii kolejowej, a także sposobu urządzania i utrzymywania zasłon odśnieżnych oraz pasów przeciwpożarowych.
- [36] Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 15 października 2013 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku.
- [37] OLAFSEN S., *Indoor noise from urban railbound transport*, rozprawa doktorska, Lund University, 2016.
- [38] ORCZYK M., FIRLIK B., *The Assessment of Vibroacoustic Comfort in Trams on the Basis of Experimental Studies and Surveys*, New Research Trends in Transport Sustainability and Innovation Springer Proceedings in Business and Economics, TranSopot 2017 Conference.
- [39] PALLASA M.-A., LELONGA J. and CHATAGNONB R., *Tram noise emission: spectral analysis of the noise source contributions*, The Journal of the Acoustical Society of America, 2008, 123 (5), 3384.
- [40] PANULINOVA E., HARABINOVA S., *Noise Annoyance from Tram Traffic in the Urban Environment*, Civil and Environmental Engineering, 2022, Vol. 18, No. 2.

- [41] PANULINOVÁ E., *Input Data for Tram Noise Analysis*, Procedia Engineering, 2017, Vol. 190, 2017.
- [42] PENG H., YAO Y., CAI X., ZHONG Y., SUN T., *Field Measurement Analysis and Control Measures Evaluation of Metro Vehicle Noise Caused by Rail Corrugation*, Applied Sciences, 2001, 11190, 11.
- [43] PŁOCHARSKA I., *Ocena poziomu hałasu w zależności od konstrukcji przejazdu kolejowo-drogowego*, praca dyplomowa magisterska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2021.
- [44] POLAK K., KORZEB J., *Pomiary hałasu pochodzącego od pojazdów kolejowych zwiększonych prędkości*, Problemy Kolejnictwa, 2019, Z. 184, 33–38.
- [45] POLAK K., *Sposoby minimalizacji emisji hałasu kolejowego w aglomeracji miejskiej*, Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 2018, R. 19, nr 6, 221–225.
- [46] PN-EN ISO 3095:2013-12. *Pomiar hałasu emitowanego przez pojazdy szynowe*.
- [47] PN-EN ISO 3381\_2022-02E. *Pomiar hałasu wewnątrz pojazdów szynowych*.
- [48] PN-EN 15461+A1\_2011E. *Charakterystyka własności dynamicznych odcinków toru dla ruchu poprzez pomiary hałasu*.
- [49] PN-EN 15610:2019-08. *Pomiar nierówności powierzchni tocznej szyny i koła w odniesieniu do emisji hałasu*.
- [50] PN-ISO 7196\_2002P. *Charakterystyka częstotliwościowa filtra do pomiarów infradźwięków*.
- [51] PN-ISO 9613-1-2000P. *Akustyka – Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej – Obliczanie pochłaniania dźwięku przez atmosferę*.
- [52] PN-ISO 9613-2-2002P. *Akustyka – Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej – Ogólna metoda obliczania*.
- [53] PN-Z 01338\_2010P. *Pomiar i ocena hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy*.
- [54] RADIĆ A., SIMUNIC V., IVANCEVIC B., *Noise Influence on Quality of Communication in a Tram*, Faculty of Electrical Engineering and Computing, Department of Electroacoustics, Unska 3, Zagreb, Croatia, (b.r.w.).
- [55] REMINGTON P.J., *Wheel/rail rolling noise. I: Theoretical analysis*, Journal of the Acoustical Society of America, 1987, 81, 1805–1823.
- [56] REMINGTON P.J., *Wheel/rail rolling noise, II: Validation of the theory*, Journal of the Acoustical Society of America, 1988, 81, 1824–1832.
- [57] REMINGTON P.J., *Wheel/rail rolling noise: what do we know? What don't we know? Where do we go from here?*, Journal of Sound and Vibration, 1988, 120, 203–226.
- [58] REZAC M., SKOTNICOVA I., *Noise attenuation from tramway traffic*, Communications, 2012, 4.
- [59] Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 1304/2014 z dnia 26 listopada 2014 r. w sprawie technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Tabor kolejowy – hałas”, zmieniające decyzję 2008/232/WE i uchylające decyzję 2011/229/UE.
- [60] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 28 stycznia 2011 r. w sprawie zakresu, warunków, terminów i sposobu przeprowadzania badań technicznych tramwajów i trolejbusów oraz jednostek wykonujących te badania.
- [61] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem.
- [62] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem.

- [63] RUMIŃSKA N., *Ocena poziomu hałasu generowanego przez jadący tramwaj typu Düwag N8CNF oraz Pesa Swing 120NaG*, praca magisterska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2021.
- [64] SISTO R., LENZUNI P., PIERONI A., *High Amplitude Infrasound in Railway Tunnels*, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 2000, No. 2..
- [65] SUN W., THOMPSON D., TOWARD M., WISEMAN M., NTOTSIOS E., BYRNE S., *The influence of track design on the rolling noise from trams*, Applied Acoustics, 2020, 170.
- [66] SZABŁOWSKA D., *Ocena klimatu akustycznego w pojazdach typu EZT 31WE oraz EN57*, praca dyplomowa magisterska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2021.
- [67] SZABŁOWSKA D., *Ocena klimatu akustycznego w przestrzeni pasażerskiej elektrycznego zespołu trakcyjnego serii EN57*, praca dyplomowa inżynierska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2020.
- [68] THOMPSON D., *Railway Noise and Vibration Mechanisms*, Modelling and Means of Control, ISBN-13: 978-0-08-045147-3, 2009, 6.
- [69] THOMPSON D.J., *Predictions of the acoustic radiation from vibrating wheels and rails*, Journal of Sound and Vibration, 1988, 120, 275–280.
- [70] THOMPSON D.J., REMINGTON P.J., *The effects of transverse profile on the excitation of wheel/rail noise*, Journal of Sound and Vibration, 2000, 231, 537–548.
- [71] THOMPSON D.J., *Theoretical modelling of wheel-rail noise generation*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Journal of Rail and Rapid Transit, 1991, 205F, 137–149.
- [72] TOMASZEWSKI F., ORCZYK M., *Porównanie hałasu panującego we wnętrzu wybranych typów pojazdów szynowych podczas jazdy*, Politechnika Poznańska, Pojazdy Szynowe, 2014, 3.
- [73] TOMASZEWSKI F., ORCZYK M., SZYMAŃSKI G., CZECHYRA B., *Ocena klimatu akustycznego tramwaju na postoju i podczas jazdy*, Politechnika Poznańska, Poznań, (b.r.w.).
- [74] TORRES J., OLAFSEN S., FERNANDEZ ESPEJO T., *Noise from urban transport, noise emission of trams*, INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, InterNoise19, Madrid, Spain, 2019, 25.
- [75] TRYZNA G., *Ocena poziomu hałasu w przestrzeni pasażerskiej w pociągach SKM w Trójmieście*, praca dyplomowa inżynierska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2023.
- [76] WRÓBLEWSKA D., *Kontrola i ochrona przed hałasem emitowanym przez transport kolejowy – narzędzia prawne*, TTS Technika Transportu Szynowego, 2007, nr 3, 39–44.
- [77] WRÓBLEWSKA D., *Techniczne specyfikacje interoperacyjności dotyczące hałasu od pojazdów kolejowych*, TTS Technika Transportu Szynowego, 2007, R. 13, nr 4.
- [78] [www.vagonweb.cz](http://www.vagonweb.cz) [dostęp: 19.09.2023].
- [79] ZAJĄC G. *Badania hałasu i drgań w tramwajach*, Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2011, 2-M.
- [80] ZARICZNY J., GRULKOWSKI S., *Wpływ typu konstrukcji nawierzchni tramwajowej na poziom generowanego hałasu*, Logistyka, 2010, nr 2.



# Zastosowanie systemów diagnostyki jako narzędzia wspomagającego eksploatację tramwajów

## Application of diagnostic systems as a tool supporting the tram rolling stock utilization

WERONIKA PĘGIELSKA<sup>1</sup>, MACIEJ SZKODA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Szkoła Doktorska Politechniki Krakowskiej, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

MPK S.A. w Krakowie, ul. Św. Wawrzyńca 13, 31-060 Kraków

<sup>2</sup> Politechnika Krakowska, Katedra Pojazdów Szynowych i Transportu

**Abstrakt:** Kluczowym aspektem w zarządzaniu potencjałem przewozowym taboru tramwajowego jest utrzymywanie wysokiej niezawodności pojazdów. Dokonuje się tego głównie poprzez przeprowadzanie obsługi technicznej, w trakcie której realizowane są wymagane w specyfikacji producenta naprawy oraz przeglądy. Takie podejście jednak nie eliminuje występowania uszkodzeń awaryjnych. W ostatnich postępowaniach zakupowych dotyczących wagonów tramwajowych w Krakowie jednym z warunków przetargowych było wyposażenie pojazdów w systemy diagnostyczne, które umożliwiają kontrolę stanu technicznego pojazdów. Za pomocą tych systemów można monitorować stan pojazdów wykonujących pracę przewozową na liniach w czasie rzeczywistym. Dostęp do danych jest również z pozycji prowadzącego i wspomaga zarówno jego, jak i główną dyspozytornię w podejmowaniu decyzji w sytuacjach odnotowanych nieprawidłowości pracy pojazdu. Kolejnym aspektem systemu jest wspomaganie serwisu w przypadku awarii. Dostęp do danych diagnostycznych umożliwia szybszą lokalizację przyczyn awarii, a więc skraca się czas przestoju, a w konsekwencji zwiększa się gotowość techniczną pojazdu. Po przeprowadzonej naprawie możliwa jest kontrola stanu tramwaju. Obecnie eksploatowane systemy wspomagają eksploatację taboru oraz wskazują aspekty, w których wymagają dostosowania do potrzeb indywidualnego użytkownika w celu zmaksymalizowania jego funkcjonalności.

**Abstract:** A key aspect in managing the transport potential of tram rolling stock is maintaining high vehicle reliability. This is implemented by technical services, during which repairs and inspections required by the manufacturer's specifications are performed. However, this approach does not eliminate the occurrence of emergency damage. In recent purchase procedures, one of the tender conditions was to equip the vehicles with diagnostic systems that allow checking the technical condition of the vehicles. Using these systems, the condition of vehicles performing transport work on lines is monitored in real

time. Access to the data is also available from the driver's perspective and supports both, him, and the main dispatcher in making decisions in the event of recorded vehicle operation irregularities. Another aspect of the system is service support in the event of a failure. Access to diagnostic data enables faster location of the causes of failure, thus reducing downtime and, consequently, increasing the technical readiness of the vehicle. After the repair, it is possible to check the condition of the tram. Currently used systems support the operation of rolling stock and indicate aspects in which they require adaptation to the needs of an individual user in order to maximize its functionality.

## 1. Wprowadzenie

Tramwaj jest złożonym obiektem technicznym charakteryzującym się wysokimi kosztami eksploatacji i długim okresem użytkowania. Koszty te zwiększają się w związku z koniecznością wyłączenia pojazdu z eksploatacji z powodu wykonywania napraw, obsługi technicznej, przeglądów sezonowych i badaniami technicznymi. Czynności te mają na celu zapewnienie sprawności technicznej i eksploatacyjnych na wymaganym poziomie w kontekście pewności realizacji usługi przewozowej, spełnienia warunków bezpieczeństwa czy wymagań środowiskowych. Wyłączenie pojazdu z użytkowania generuje straty dla przedsiębiorstwa i obniża niezawodność oraz gotowość techniczną taboru. Należy podejmować działania nakierunkowane na minimalizowanie czasu wyłączenia związanego z koniecznością przeprowadzania czynności obsługowych. Oczywiście nie można wyeliminować całkowicie występowania czasu wyłączenia pojazdu ze względu na konieczność przeprowadzania prac związanych z utrzymywaniem czy przywracaniem gotowości technicznej na wymaganym poziomie. Dlatego tabor tramwajowy można określić jako obiekty odnawialne, dla których wyróżnia się opis niezawodności do pierwszego uszkodzenia i opis niezawodności uwzględniający wiele uszkodzeń oraz odnow. Ocena niezawodności przeprowadzana jest przy założeniu, że odnowa w pełni przywraca stan początkowy pojazdu [7].

### Obsługi techniczne

- determinowane ilością przejechanych kilometrów
- wykonywane według przyjętego harmonogramu

### Obsługi sezonowe

- związane z przygotowaniem pojazdu do sezonu zimowego lub letniego

### Badania techniczne

- okresowe badania przeprowadzane zgodnie z obowiązującymi wymogami prawnymi

### Naprawy

- powypadkowe
- reklamacyjne
- bieżące

Rys. 1. Czynności utrzymania i zapewnienia sprawności techniczno-eksploatacyjnej taboru

W związku z występującymi sytuacjami, w przypadku których w celu utrzymania lub przywrócenia sprawności techniczno-eksploatacyjnej należy wyłączyć pojazd z użytku, przedstawionych na rysunku 1, można dokonać podziału na czynności możliwe do zaplanowania oraz losowe. Analizując przypadki konieczności wyłączenia pojazdu z eksploatacji, szczególną uwagę w kontekście kosztochłonności pełnią czynności związane z nieplanowanymi pracami, których celem jest przywrócenie żądanej sprawności czyli naprawy. Są to bowiem przypadki, których nie można dokładnie zaplanować w trakcie tworzenia planu eksploatacyjnego czy budżetu, a przyczyniają się w dużym stopniu do wzrostu kosztów, pracochłonności przypadającej na dany pojazd oraz spadku niezawodności. Dlatego tak ważne jest minimalizowanie sytuacji występowania wyłączeń awaryjnych z powodu naprawy bieżącej. Dokonuje się tego głównie przez wykonywanie obsługi technicznej i codziennej, w trakcie której dokonuje się planowanych napraw, a także kontroli stanu i funkcjonowania systemów oraz mechanizmów. Wykrywanie nieprawidłowości funkcjonowania składowych elementów tramwajów dokonuje się również przez wykorzystywanie wdrażanych systemów diagnostycznych, dostarczających danych na temat funkcjonalności systemów pojazdu. Kluczowym aspektem w eksploatacji pojazdów jest utrzymanie ich wysokiej niezawodności. W celu realizacji usługi, której nie można wykonywać na zapas, aspekt niezawodności jest kluczowy. W tym celu podejmuje się przedsięwzięcia związane z badaniami niezawodności oraz wskazywaniem sposobów zapewnienia wymaganego poziomu gotowości i niezawodności. Wiąże się to z odpowiednim utrzymywaniem zaplecza technicznego oraz jakością jego działania. Wymaga to racjonalnego i efektywnego użytkowania oraz utrzymywania taboru. W tym celu dokonuje się też przedsięwzięć związanych z ulepszaniem systemu utrzymania, organizacji, technologii czy wprowadzaniem wyposażenia diagnostycznego. Działania te można zaliczyć do przedsięwzięć związanych z podwyższaniem efektywności eksploatacji taboru [6]. Ze względu na te cechy istotne w eksploatacji taboru tramwajowego jest wykorzystywanie narzędzi wspomagających eksploatację i predykcji sytuacji awaryjnych w celu maksymalizacji niezawodności. Wspomnianą niezawodność można przedstawić przy wykorzystaniu charakterystyki kompleksowej, obejmującej nieuszkodzalność, gotowość, podatność na utrzymanie i bezpieczeństwo (z ang. Reliability, Availability, Maintainability and Safety, w skrócie RAMS). Oznacza ona prawdopodobieństwo prawidłowego wykonania przez pojazd pracy w ustalonym czasie i w określonych warunkach eksploatacji. W ramach utrzymania i zapewnienia sprawności techniczno-eksploatacyjnej taboru komunikacji miejskiej stosowane są procedury określone w ramach prowadzonej polityki jakości i zarządzania środowiskowego. Gwarantują one posiadanie przez tabor deklarowanych cech oraz utrzymywania sprawności technicz-

nej i eksploatacyjnej na wymaganym poziomie pod kątem pewności realizacji usługi przewozowej, spełnienia warunków bezpieczeństwa oraz wymagań środowiskowych. W myśl założeń zapobiegania i przewidywania awarii w firmie prowadzone są przedsięwzięcia mające na celu umożliwienie predykcji wystąpienia wyłączenia pojazdu z eksploatacji ze względu na stan techniczny. Jednymi z nich są prace prowadzone od paru lat przez Mirosława Czechowskiego, których celem jest między innymi opracowanie systemu wykrywania nieprawidłowości pracy układów napędowych pojazdów szynowych [1, 2, 9].

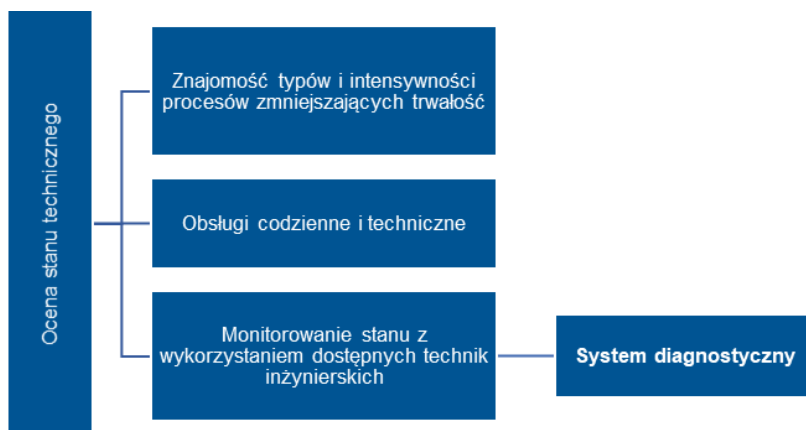
Wraz z rozwojem technicznym pojazdów w zakresie konstrukcji czy systemów bezpieczeństwa rozwijają się również technologie systemów diagnostycznych, które dostarczają użytkownikowi danych odnośnie do funkcjonowania systemów budujących funkcjonalność tramwaju. Praca z danymi systemu diagnostyki online umożliwia zdalną kontrolę stanu technicznego taboru objętego nadzorem. Aplikacja udostępnia zarówno aktualne, jak i przeszłe zdarzenia diagnostyczne każdego tramwaju. Stworzona jest więc możliwość zdalnej kontroli pojazdów eksploatowanych na trasach w czasie rzeczywistym oraz analizy danych historycznych przy zadanych ograniczeniach okresu czy typu analizowanej informacji. Dostęp do bazy zdarzeń zapewniony jest również z poziomu pojazdu, co umożliwia skuteczniejszą obsługę techniczną oraz wspiera prowadzących oraz dyspozytorów w podejmowaniu decyzji w trakcie wykonywania usługi przewozowej.

Wyposażenie pojazdów tramwajowych w systemy diagnostyczne jest już powszechną praktyką. W diagnostyce eksploatacyjnej monitoruje się podstawowe wielkości elektryczne czy mechaniczne. Analiza parametrów zarejestrowanych sygnałów daje możliwość rozpoznania i klasyfikacji nieprawidłowości występujących w monitorowanych systemach. Aby taka analiza była możliwa, niezbędna jest odpowiednia aparatura pomiarowa [5]. Mimo wysokich standardów jakości wykonywania pojazdów tramwajowych ze względu na trudne warunki pracy tramwaje są narażone na awarie powodujące kosztowne przestoje i konieczność napraw. Pożądane jest więc ciągłe monitorowanie systemów, umożliwiające wczesną identyfikację sygnałów wskazujących na uszkodzenie jeszcze przed jego wystąpieniem. Monitorowanie licznego taboru w trakcie wykonywania pracy przewozowej w myśl założeń o odczytywaniu sygnałów i zapobieganiu przestojom rodzi konieczność zdalnego dostępu do danych przez pracowników zaplecza technicznego umożliwiającego nadzór nad całym taboru przy wykorzystaniu jednego, prostego i intuicyjnego programu. Program taki powinien zapewniać szybką ocenę stanu technicznego floty, wskazywać obiekty wymagające interwencji serwisowej oraz obiekty, których mierzone parametry zaczynają odbiegać od przyjętych standardów.



## 2. Zagadnienie badawcze

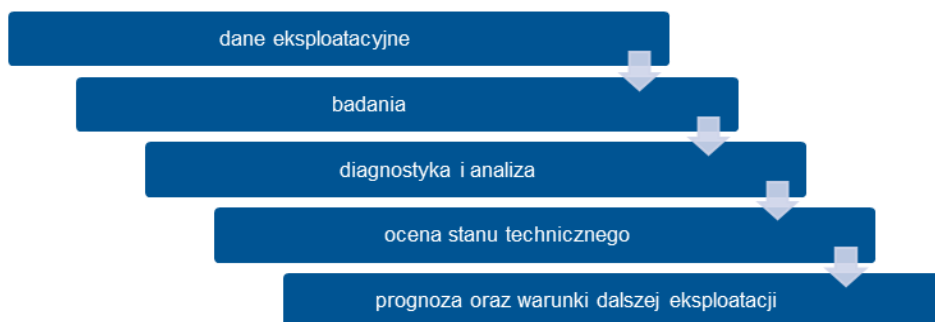
W celu właściwej oceny stanu technicznego tramwaju potrzebna jest wiedza na temat procesów zmniejszających jego trwałość oraz intensywności ich zachodzenia w trakcie eksploatacji. W kontrolowaniu stanu pojazdów kluczowe jest planowanie badań, profilaktyka oraz monitorowanie stanu z wykorzystaniem dostępnych technik inżynierskich. Działania te należy przeprowadzać w sposób dopasowany do charakterystyki pojazdu. Funkcjonowanie systemu diagnostycznego nakierowane jest na jak najtrafniejszą ocenę rzeczywistego stanu technicznego oraz określenie na jego podstawie perspektyw dalszej eksploatacji, w tym ewentualnych prac mających na celu utrzymanie stanu sprawności. Wynikająca z tego ścisła korelacja badań diagnostycznych z prognozowaniem powoduje konieczność wyboru odpowiednich metod badawczych, eksploatowanych w określonych warunkach systemów oraz uwzględniania wyników historycznych. Ocena stanu technicznego tramwaju powinna uwzględniać historię eksploatacji. Ilość informacji do uwzględnienia w celu oceny stanu technicznego jest znacząca. Tylko pełna analiza gwarantuje rzetelność informacji możliwości bezpiecznej eksploatacji czy decyzyjności co do planowania remontów czy modernizacji.



Rys. 2. Sposoby oceny stanu technicznego pojazdu tramwajowego

Eksploatacja złożonych obiektów technicznych, od których oczekuje się wysokiej gotowości do świadczenia usługi przewozowej i niezawodności, stwarza potrzebę zarządzania procesami eksploatacji z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi i metod planowania użytkowania oraz obsługi. Powinny zapewniać najefektywniejsze wykorzystanie zaplecza technicznego. Efektywne działania wiążą się z zarządzaniem uwzględ-

niającym szereg czynników, którymi są posiadane zasoby techniczne, ludzkie czy organizacyjne. W związku z dynamicznym charakterem pracy osób odpowiadających za utrzymanie sprawności techniczno-eksploatacyjnej taboru niezwykle ważne jest posiadanie funkcjonalnego systemu diagnostycznego wspomagającego podejmowanie odpowiednich decyzji wpływających na zapewnienie odpowiedniej niezawodności taboru.

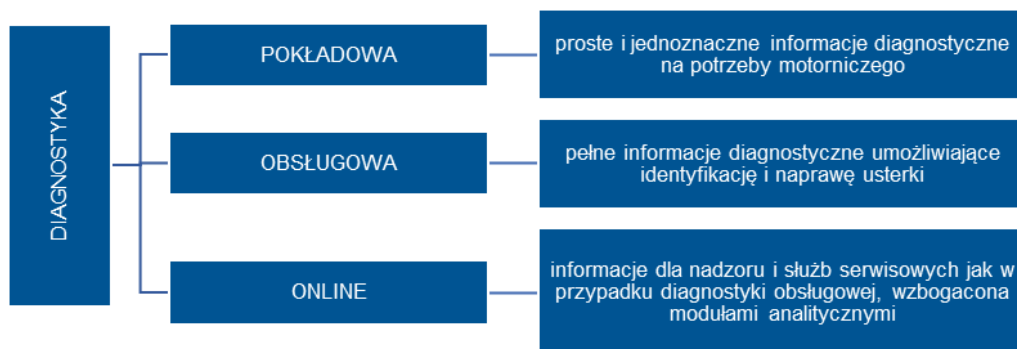


Rys. 3. Schematycznie przedstawione elementy systemu diagnostycznego

Efektywne działania diagnostyczne powinny cechować: wszechstronność analiz poprzedzających same badania, zawierające historię eksploatacji i wyniki badań historycznych, wybór odpowiednio dobranych metod badawczych na podstawie aktualnego stanu wiedzy inżynierskiej, dopasowanie odpowiednich metod analitycznych czy odpowiednia interpretacja uzyskanych wyników. Nadrzędnym celem systemu diagnostycznego bowiem powinna być ocena rzeczywistego stanu technicznego oraz określenie perspektywy dalszej eksploatacji ze spełnieniem założonych wymagań stawianych obiektowi technicznemu. Dodatkowo konieczna jest informacja o potencjalnych możliwościach modernizacyjnych, pozwalających na wydłużenie trwałości obiektu. Właściwe określenie stanu rzeczywistego umożliwia przewidzenie i zaplanowanie dalszej eksploatacji w zadanych warunkach pracy przy jednoczesnym wykorzystaniu danych historycznych. Z uwagi na długi czas eksploatacji tramwajów analiza dużej ilości informacji dostępnych do efektywnego wykorzystania może być ułatwiona za sprawą analizujących je systemów. Duża ilość danych poddanych odpowiedniej analizie powinna wpływać na wzrost wiarygodności prognoz. Na dokładność prognoz wpływa bezpośrednio odpowiednia interpretacja dostarczanych danych [3]. Obecnie stosowane w przedsiębiorstwie systemy diagnostyczne, dostarczane przez producentów taboru, nie posiadają funkcji prognozowania stanu technicznego pojazdu. Próby predykcji i uprzedzenia stanu niezdatności

tramwaju do świadczenia usługi przewozowej odbywają się obecnie w ramach prac opisanych w artykułach [1, 2, 9].

Obecnie systemy diagnostyczne dostarczane są wraz z dostawą taboru i są dedykowane dla konkretnego typu pojazdów. W związku z tym liczba systemów diagnostycznych do wykorzystania paradoksalnie wydłuża czas chociażby oceny stanu technicznego całej floty danej zajezdni, ponieważ każda aplikacja wygląda inaczej i ma różne funkcje. Oczekuje się, aby wykorzystywane oprogramowanie było możliwie ujednoczone lub umożliwiało ocenę stanu całej floty za pośrednictwem jednej aplikacji, w jednym miejscu. W dalszej części zostanie opisany sposób wspomagania eksploatacji z wykorzystaniem systemu diagnostycznego z najnowszych dostaw taboru.



Rys. 4. Działania realizowane przez system diagnostyczny

Tabela 1. Opis kategorii zdarzeń diagnostycznych

Kategoria zdarzenia diagnostycznego	Ogólny opis kategorii zdarzenia diagnostycznego
A	Awaria krytyczna uniemożliwiająca samodzielny jazd do zajezdni. Należy podjąć holowanie pojazdu do zajezdni i rozpocząć procedurę serwisową.
B	Awaria uniemożliwiająca jazdę z pasażerami. Należy wysadzić pasażerów, zjechać pojazdem do zajezdni i rozpocząć procedurę serwisową.
C	Usterka niemożliwiająca świadczenie usługi przewozowej. Należy kontynuować pracę na linii i rozpocząć procedurę serwisową po powrocie do zajezdni.
D	Zdarzenie diagnostyczne wspomagające szczegółową diagnostykę systemów. Wspomaga diagnostykę pracy podsystemów lub sygnalizuje powstanie usterek, które nie wpływają na możliwość świadczenia pracy przewozowej.
E	Zdarzenie diagnostyczne o charakterze informacyjnym. Informują o aktualnym stanie pojazdu, obsłudze pojazdu czy zarejestrowanych wykonanych czynnościach.

Funkcjonalność aktualnie wykorzystywanych systemów diagnostycznych można podzielić na trzy głównie spełniane działania, jakimi są: wspomaganie pracy motorniczych, pracowników obsługi oraz pracowników działu technicznego. Schematycznie zostało to przedstawione na rysunku 4. System jest zintegrowany z terminalem pulpitu motorniczego, rejestruje i sygnalizuje zdarzenia diagnostyczne systemu sterowania pojazdem. Dostęp do zdarzeń możliwy jest bezpośrednio w pojeździe oraz za pośrednictwem aplikacji online. W przypadku wykrycia zdarzenia diagnostycznego przez system sterowania zostaje ono zarejestrowane w aplikacji. Zdarzenie diagnostyczne ma przyporządkowane dla siebie kategorie, których listę przedstawiono w tabeli 1.

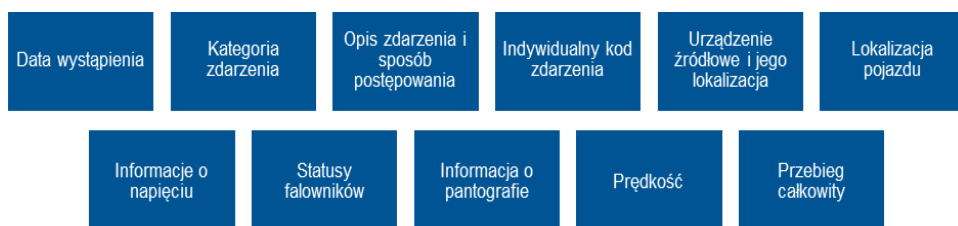
Tabela 2. Opis kategorii zdarzeń wyświetlanych na terminalu motorniczego

Kategoria	Zdarzenie diagnostyczne	Powód wystąpienia zdarzenia	Procedury postępowania pojazdu	Procedura postępowania motorniczego
A	Awaria krytyczna	Poważna awaria zasilania lub wielu systemów	Hamowanie wymuszone i zatrzymanie pojazdu, blokada rozruchu	Kontakt z nadzorem ruchu, wyprowadzenie pasażerów, przygotowanie pojazdu do holowania
B	Awaria poważna	Awaria systemów ruchu lub krytyczne usterki kilku systemów	Możliwe samodzielne wyhamowanie, blokada rozruchu. Rozruch ponowny możliwy po potwierdzeniu komunikatu. Możliwe ograniczenie prędkości.	Kontakt z nadzorem ruchu, wyprowadzenie pasażerów lub jazda z pasażerami do najbliższego przystanku
C	Usterki	Usterki systemów innych niż ruchu lub ostrzeżenia o materiałach eksploatacyjnych	Wyświetlenie komunikatu, możliwe zastosowanie ograniczenia prędkości	Zgłoszenie pracownikom obsługi technicznej
E	Komunikaty informacyjne	Informacje o stanie pojazdu, wykonanych czynnościach, niewłaściwej obsłudze	Wyświetlenie informacji	Postępowanie zgodnie z komunikatem

Na podstawie kategorii określana jest w jasny sposób ważność zdarzenia oraz ocena możliwości wykonywania pracy przewozowej. Wyświetlenie na pulpicie litery kategorii zdarzenia jest jasną informacją o stanie technicznym pojazdu i możliwości obsługi linii czy sposobie postępowania. Informacje te zestawiono w tabeli 2. Wyświetleniu infor-

macji o zdarzeniu diagnostycznym towarzyszy sygnał dźwiękowy, wyświetlenie opisu zdarzenia i sposobu postępowania. Komunikaty grupowane są w obrębie tych samych kategorii w celu uniknięcia rozproszenia uwagi. Z pulpitu możliwy jest również dostęp do historii zapisanych zdarzeń i ich przegląd. Wspomaganie w tej formie jest wykorzystywane w całości przez motorniczych. Wspomaganie decyzyjności dyspozytorów opiera się aktualnie jedynie na informacjach odczytanych i przekazanych przez motorniczych. Z uwagi na występowanie możliwości wspomaganie decyzyjności osób z dyspozytorni tylko dla wybranych typów pojazdów wspomaganie to nie jest wskazane w procedurach postępowania.

System diagnostyczny online pozwala na przegląd części floty, dla której dedykowana jest aplikacja, w czasie rzeczywistym. Realizowane jest to przez wyświetlenie graficznego odwzorowania pojazdów. Podczas przeglądu floty możliwy jest między innymi podgląd stanu technicznego pojazdów, aktualności zainstalowanego oprogramowania, miejsca znajdowania się pojazdu, numeru obsługiwanej linii czy obecności na zajezdni. Informacje te prezentowane są przy użyciu indywidualnych symboli graficznych, co pozwala na to, aby w szybki sposób wychwycić wszelkie zgłoszenia o awariach, usterkach czy choćby miejscu przebywania tramwaju. Po wybraniu danego pojazdu umożliwiony jest dostęp do aktualnych i historycznych zdarzeń diagnostycznych. Wybrane informacje przypisane do jednego zdarzenia diagnostycznego zestawiono na rys. 5. Dane dotyczące zdarzeń diagnostycznych można eksportować w celu przeprowadzania analiz. Aktualnie aplikacja umożliwia jedynie ilościową analizę zdarzeń ze względu na ich indywidualny kod, kategorię czy pojazd, w określonym okresie. Dostępny moduł statystyczny umożliwia jedynie na generowanie raportu statystycznego z uwzględnieniem wspomnianych parametrów. W praktycznym wspomaganiu eksploatacji taboru taki raport nie jest wystarczający. Potrzebna do poznania charakterystyki danego typu obiektu technicznego analiza jakościowa powinna uwzględniać nie tylko liczbę występowania danych zdarzeń, lecz także wartość parametrów towarzyszących sytuacji. W celu analizy jakościowej wykonywane są prace nad danymi w celu określenia



Rys. 5. Wybrane informacje dostępne dla każdego zdarzenia diagnostycznego

między innymi niezawodności systemów czy zależności między występowaniem zdarzeń a ich skutkami w postaci wyłączenia pojazdu z eksploatacji. Pożądanym jest możliwość zaimplementowania takiej funkcjonalności w systemie diagnostycznym.

Aplikacja systemu diagnostycznego dostarcza eksploatacyjnych informacji o pojeździe, jakimi są informacje o całkowitym przebiegu, energii całkowitej, energii pobranej przez napędy i urządzenia dodatkowe, ilości energii rekuperowanej do sieci i odbiorników czy pobranej z baterii trakcyjnych dla określonego okresu. Jest to szczególnie ważna informacja w przypadku eksploatacji taboru tramwajowego, ponieważ pozwala na dokładne analizowanie energochłonności i planowanie zapotrzebowania na energię elektryczną. Jak wiadomo, konsumpcja energii elektrycznej jest jednym z istotnych aspektów wpływających na koszt eksploatacji taboru. W ostatnich latach obserwuje się zmianę podejścia przez rozpoczęcie uwzględniania energochłonności pojazdów już na etapie procedury przetargowej. Wzrost świadomości i wpływu parametrów technicznych pojazdu na kryteria wyboru w pewnym stopniu można powiązać ze zmianami w Prawie Zamówień Publicznych (PZP) [4]. Zamawiający zobowiązany jest do wyboru oferty na podstawie jakościowych kryteriów oraz ceny lub kosztu. Rachunek kosztów cyklu istnienia może obejmować wybrane lub wszystkie koszty ponoszone w czasie cyklu życia produktu. Rozpoczęcie uwzględniania aspektów wpływających na koszty eksploatacji, takich jak energochłonność czy niezawodność jest jednym z nurtów efektywnego eksploataowania taboru.

### 3. Podsumowanie

Realizowane przez wykorzystywane systemy diagnostyczne zadania w znacznym stopniu wspomagają złożone zadanie, jakim jest efektywna eksploatacja taboru. W ostatnich latach wykorzystywania w przedsiębiorstwie możliwości jakie dają znajduje się jednak jeszcze parę obszarów, w których wydaje się, że system diagnostyczny mógłby w jeszcze lepszym stopniu wspomagać pracę zaplecza technicznego. Na podstawie zdobytych doświadczeń w eksploatacji taboru, potrzeb oraz dostrzeganych możliwości oferowanych przez systemy diagnostyczne oparte na informacjach rejestrowanych przez system sterowania pojazdem można określić obszary zastosowania systemów diagnostyki jako narzędzia wspomagającego i sformułować oczekiwania przyszłych funkcjonalności.

Raport statystyki liczby zdarzeń danej lub kilku kategorii w możliwych do określenia pojazdach, grupie pojazdów w wybranym przedziale czasu, jest funkcjonalnością wspomagającą określenie liczby zdarzeń diagnostycznych. Na podstawie doświadczeń i potrzeb oczekuje się, aby taki raport ewaluował do raportu statystyki liczby zdarzeń

z uwzględnieniem ich jakościowej analizy, określającej wpływ występowania zdarzeń diagnostycznych na niezawodność pojazdu, taboru i ich gotowość techniczną, ilość zjazdów awaryjnych czy straconych kursów. Konieczne jest, aby na podstawie raportów można było określać parametry wejściowe i uwzględniane w celu tworzenia spersonalizowanych zestawień. Funkcjonalność powinna umożliwiać analizowanie zarówno wpływu na stan techniczny, jak i zapewniać informację o intensywności występowania danych zdarzeń oraz zmian tej intensywności w czasie w celu znalezienia zależności między ich występowaniem a czynnikami zewnętrznymi, jakimi mogą być jakość obsługi czy warunki pracy pojazdu. Docelowym rozwiązaniem mógłby być moduł predykcyjny, który na podstawie określonych parametrów i danych historycznych sygnalizowałby możliwość wystąpienia awarii i usterek poprzez określenie prawdopodobieństwa ich wystąpienia na podstawie wykrycia określonych sekwencji zdarzeń diagnostycznych.

Realizowane przez system wspomaganie decyzyjności zarówno prowadzącego, jak i dyspozytora, poprzez stosowanie opisu usterki i sposobu postępowania, niestety nie zawsze w jednoznaczny sposób umożliwia wcześniejsze zapobieganie występowaniu zatrzymania czy straty kursu. Obecnie stosowane rozwiązanie jest bardzo obiecujące. W świetle zdobytych doświadczeń można stwierdzić, że moduł ten wymaga zestawienia sygnałów systemu sterowania z rzeczywistym stanem technicznym pojazdu. Bywa, że część sygnałów odbierana i sygnalizowana jest przez system nadmiernie. Wspomaganie pracowników serwisu poprzez opis błędu, opis wymaganych prac czy wskazanie źródła występowania awarii lub usterki ma potencjał, aby przekształcić się w centralny sposób zarządzania i wspomaganie napraw. Z punktu widzenia zaplecza technicznego konieczny w tym miejscu jest dostęp do dokumentacji technicznej, schematów elektrycznych oraz schematów generowania danych zdarzeń diagnostycznych i warunków wymaganych do ich zaistnienia. Na podstawie weryfikacji tych założeń w trakcie eksploatacji czy umożliwieniu dokonywania zmian, możliwe byłoby jednoczesne weryfikowanie prawidłowości sygnałów i uczenie systemu prawidłowego reagowania na sekwencje zdarzeń diagnostycznych.

Aktualna możliwość wykorzystywania systemów diagnostycznych jedynie dla dedykowanych im pojazdów, których dotyczy procedura przetargowa, mimo zagwarantowania, że system jest „uszyty na miarę” części taboru, utrudnia całościową ocenę całej floty. Zmusza bowiem do stosowania różnych procedur oceny stanu technicznego w zależności od typu eksploatowanego taboru. Procedury i narzędzia wspomagające eksploatację taboru powinny być możliwie ujednolicone i zunifikowane. Jest to szczególnie istotne, biorąc pod uwagę dynamiczny charakter pracy na stacjach obsługi i zajezdniach. Wzrastająca liczba aplikacji i systemów obsługowych paradoksalnie może

utrudnić i wydłużyć czas przeprowadzenia prawidłowej obsługi, naprawy czy nadzoru nad pojazdami. Możliwość zarządzania całą flotą z użyciem jednego, centralnego oprogramowania mogłaby pozwolić na wykorzystanie potencjału, jaki dają systemy diagnostyki. Ze względu na wiek i typ części eksploatowanego taboru nie jest możliwe objęcie systemem wszystkich pojazdów. Jednak z uwagi na realizowane przedsięwzięcia taborowe o charakterze inwestycyjnym i modernizacyjnym można sformułować założenia określające wymagania stawiane przyszłej flocie tramwajowej. System diagnostyczny mógłby stać się w przyszłości aplikacją pozwalającą na globalne zarządzanie i eksploatację floty [8]. Wypracowane teraz rozwiązania umożliwią wykorzystywanie ich przez następne lata, dlatego nie można pomijać możliwości systemu diagnostycznego w kontekście eksploatacji taboru. W związku z długim cyklem istnienia tramwajów i ich kosztownością podjęte dziś działania zdeterminują przyszłą efektywność i jakość transportu tramwajowego na kolejne lata.

## Literatura

- [1] CZECHOWSKI M., SUŁOWICZ M., *Diagnostyka układów napędowych wagonów tramwajowych*, [w:] *Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL*, 2017, vol. 2, nr 144, 197–204.
- [2] CZECHOWSKI M., SUŁOWICZ M., ZIELONKA J., TULICKI J., STRADOWSKI M., *System do ciągłej diagnostyki silników indukcyjnych klatkowych pracujących w układach napędowych wagonów tramwajowych*, [w:] *Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL*, 2022, vol. 1, nr 127, 207–213.
- [3] JASIŃSKI A., *System diagnostyczny jako sposób na wydłużenie czasu bezpiecznej eksploatacji rurociągów parowych*, *Energetyka, Oficyna Wydawnicza Energia*, 2012, 501–506.
- [4] Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 14 lipca 2023 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo zamówień publicznych (Dz. U. 2023, poz. 1605).
- [5] PAWŁAK M., ŻARCZYŃSKI Z., *Rozproszony system pomiarowy do diagnostyki przemysłowych napędów elektrycznych*, [w:] *Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL*, 2013, vol. 1, nr 98, 39–44.
- [6] PSZCZÓŁKOWSKI J., GOLIASZ T., *Istota strategii eksploatacji wg kryteriów niezawodności*, [w:] *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 2019, vol. 24, nr 6, 161–167.
- [7] SZKODA M., *Kształtowanie potencjału przewozowego przedsiębiorstw transportu kolejowego*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2017.
- [8] ULATOWSKI W., GOLICKI R., *Zarządzanie nowoczesną zajezdnią*, [w:] *Technika Transportu Szynowego TTS*, 2009, vol. 9, 46–48.
- [9] ZIELONKA J., SUŁOWICZ M., CZECHOWSKI M., *System zbierania danych z czujników zabudowanych w smartfonach na potrzebę monitorowania wybranych parametrów pojazdów z napędami elektrycznymi*, [w:] *Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL*, 2021, vol. 2, nr 126, 131–135.



# Charakterystyka badań EMC realizowanych na Okręgu Doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie

## Characteristics of EMC tests carried out at the Experimental District of the Railway Institute in Żmigród

KRZYSZTOF ORTEL, ANDRZEJ BIAŁOŃ, JULIUSZ FURMAN

Instytut Kolejnictwa (Railway Institute), ul. Chłopskiego 50, Warszawa (Warsaw), Polska (Poland)

**Abstrakt:** W artykule scharakteryzowano tor doświadczalny Instytutu Kolejnictwa zlokalizowany niedaleko miasta Żmigród oraz przedstawiono jego znaczenie strategiczne w badaniach taboru oraz infrastruktury przytorowej szeroko rozumianego transportu kolejowego w Polsce i Europie. W pierwszej części artykułu opisano historię powstania toru i jego parametry techniczne, a także wymieniono wszystkie wykonywane tam badania dynamiczne i statyczne oraz ich zalety. Szczegółowo opisano badania kompatybilności elektromagnetycznej EMC, które zostały wykonane na nowoczesnych lokomotywach przez wykwalifikowanych pracowników Instytutu Kolejnictwa. Na podstawie uzyskanych wyników testów pokazano, że badania EMC stanowią ważną część procesu dopuszczenia lub homologacji tego typu taboru kolejowego, jakim są nowe (prototypowe) lokomotywy. Mogą być również pomocne w wykrywaniu pewnych nieprawidłowości tego taboru na etapie uruchomieniowym. Następnie zobrazowano przekroczenia wartości granicznych zaburzeń elektromagnetycznych pochodzących od nowoczesnych lokomotyw i przedstawiono ich wpływ na niepożądane działanie urządzeń przytorowych. W podsumowaniu artykułu zaprezentowano nasuwające się konkluzje i wnioski poruszanego tematu.

**Abstract:** The article discusses the experimental test track of the Railway Research Institute, located near the town of Żmigród, and presents its strategic significance, in terms of research on rolling stock and track side infrastructure, for broadly understood railway transport in Poland and Europe. The first part of the article describes the history of the track and its technical parameters, as well as lists all dynamic and static tests performed there and their advantages. EMC electromagnetic compatibility tests carried out on modern locomotives by qualified employees of the Railway Research Institute were described in detail. Based on the test results obtained, it is shown how EMC tests are an important part of the approval or homologation process for this type of rolling stock, i.e., new (prototype) locomotives. The tests also help to detect certain

anomalies in this type of rolling stock, at the start-up stage. Next, exceedances of electromagnetic disturbance limits from modern locomotives are illustrated and their impact on the undesired operation of trackside equipment are shown. Finally, the article presents the emerging conclusions of the topic discussed.

## 1. Wprowadzenie

Stosowanie nowoczesnych urządzeń elektrycznych i elektronicznych w nowych lokomotywach dużej mocy z rozruchem impulsowym niewątpliwie przyczyniło się, do poprawy komfortu pracy i podróżowania personelowi obsługującemu tego typu pojazdy szynowe. Urządzenia instalowane na tym taborze spowodowały również negatywny wzrost poziomu zaburzeń elektromagnetycznych płynących w tokach szynowych, instalacjach elektrycznych i elektronicznych zainstalowanych na pojeździe, a także stałych oraz zmiennych pól magnetycznych generowanych przez pojazd. Specjalistyczne pomiary wartości emisji zaburzeń elektromagnetycznych prowadzą wykwalifikowani pracownicy Instytutu Kolejnictwa i wykonują je na torze doświadczalnym zlokalizowanym niedaleko Żmigrodu, będącym własnością tejże jednostki badawczo-rozwojowej.

Badania kompatybilności elektromagnetycznej wykonywane na torze doświadczalnym można podzielić na dwie części. Pierwszą część prowadzą pracownicy Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji. Są to badania EMC akredytowane: promieniowane i przewodzone mierzone wewnątrz i na zewnątrz lokomotywy oraz pomiary pól magnetycznych AC i DC, które w artykule zostaną opisane bez przedstawiania konkretnych wyników. Drugą część prowadzą pracownicy Zakładu Sterowania Ruchem i Teleinformatyki z Pracowni Oddziaływania Tor-Pojazd. Są to badania na zgodność z Techniczną Specyfikacją Interoperacyjności oraz obowiązującą Listą Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego, które zostaną w artykule opisane szczegółowo. Do tych badań można zaliczyć: pomiary techniczne impedancji osi zestawu kołowego lokomotywy, pomiary zakłóceń generowane przez lokomotywę do sieci trakcyjnej, a także wpływ tych zakłóceń na obwody torowe 50 Hz i bezzłączowe obwody torowe oraz pomiar emitowanych przez pojazd pól elektromagnetycznych pod kątem ich wpływu na czujniki koła.

## 2. Wprowadzenie

Budowa toru doświadczalnego niedaleko Żmigrodu została zakończona w 1996 r., a jego ówczesnym właścicielem było Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa, będące

w tamtym czasie jednostką badawczą Polskich Kolei Państwowych. Początkowo planowano budowę dużego okręgu o długości około 39 kilometrów, który miał być przeznaczony głównie do kompleksowych badań pojazdów szynowych, zwłaszcza dużych prędkości, i małego okręgu o długości około 7,8 kilometra, przeznaczonego głównie do badań trwałościowych nawierzchni kolejowej, urządzeń sterowania ruchem pociągów i telekomunikacji, trakcji i pociągów z prędkościami maksymalnymi do 160 km/h. Ostatecznie udało się wybudować i oddać do eksploatacji tylko mały okrąg o długości 7725 metrów.

Tor doświadczalny niedaleko Żmigrodu ma niebagatelne znaczenie w badaniach przeprowadzanych na modernizowanych i prototypowych pojazdach kolejowych. Można do nich zaliczyć następujące rodzaje badań:

- dynamiki i bezpieczeństwa jazdy oraz oddziaływania na tor,
- komfortu podróżowania pasażerów,
- narażenia maszynisty na oddziaływanie drgań,
- układów hamulcowych,
- odporności zderzeniowej,
- przepychania przez łuki odwrotne,
- hałasu,
- oddziaływania taboru na urządzenia sterowania ruchem kolejowym,
- kompatybilności elektromagnetycznej taboru kolejowego,
- zakłóceń oddziaływania taboru na urządzenia sterowania ruchem kolejowym,
- nowych konstrukcji sieci trakcyjnych,
- elementów nawierzchni torów i rozjazdów,
- systemu kontroli jazdy pociągu ETCS Level 1 (European Train Control System).

Wykonywanie wszystkich wymienionych wyżej badań na torze doświadczalnym ma następujące zalety:

- nie jest zakłócany normalny ruch kolejowy podczas przebiegu testów, a równocześnie ruch kolejowy nie zakłóca przeprowadzanych badań,
- warunki eksploatacyjne zgodnie z programem badań mogą zostać niezmiennicze w ciągu całego okresu testów lub mogą być zmieniane w zależności od celu badań,
- czas niezbędny do uzyskania wyników badań skraca się do minimum dzięki możliwości szybkiego rozpoczęcia testów oraz prowadzenia ich bez zbędnych przerw,
- możliwość prowadzenia badań porównawczych w takich samych warunkach zapewnia obiektywną ocenę poziomu technicznego poddawanych testom urządzeń, konstrukcjom itp.,



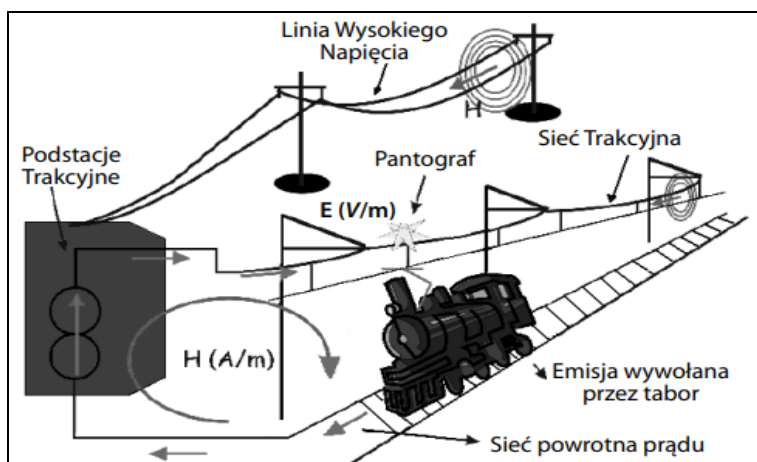
Kolejowe środowisko elektromagnetyczne jest specyficzne z uwagi na rozmieszczenie na dużym obszarze różnego rodzaju współpracujących ze sobą systemów elektrycznych i elektronicznych.

Ocena aktualnego stanu środowiska elektromagnetycznego dotyczy wartości natężenia pola elektromagnetycznego zaburzeń radioelektrycznych pochodzących od pojazdów trakcyjnych, w tym nowoczesnych lokomotyw poruszających się na szlaku, promieniowania sieci trakcyjnej, poziomych zaburzeń radioelektrycznych oraz przepięć w energetycznej sieci zasilania i obiektów stacjonarnych w pokładowej sieci zasilania pojazdów trakcyjnych oraz wagonów pasażerskich [1].

Przeprowadzenie badań kompatybilności elektromagnetycznej nowoczesnych lokomotyw i innych pojazdów szynowych jest bardzo ważne z uwagi na możliwość negatywnego oddziaływania na urządzenia sterowania ruchem kolejowym, co może mieć bezpośredni wpływ nie tylko na bezpieczeństwo ruchu kolejowego, ale również na systemy i urządzenia użytku publicznego.

W związku z tym na terenie kolejowym zostały zdefiniowane główne źródła zaburzeń radioelektrycznych. Obiektami generującymi zaburzenia radioelektryczne na terenie kolejowym są:

- elektryczne i spalinowo-elektryczne pojazdy trakcyjne w tym nowoczesne lokomotywy dużej mocy,
- sieć trakcyjna (nie jest źródłem zaburzeń, lecz linią transmisyjną dla zaburzeń),
- podstacje trakcyjne,
- urządzenia sterowania ruchem kolejowym [4].



Rys. 2. Główne źródła zaburzeń radioelektrycznych (oprac.: Ł. John)

## 4. Badania kompatybilności elektromagnetycznej wykonywane przez Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji

W obwodach wysokiego napięcia 3 kV DC występują takie źródła zaburzeń radioelektrycznych, jak silniki trakcyjne, silniki wentylatora napędzające jednocześnie prądnice prądu stałego, styki styczników liniowych i grupowych oraz styk odbieraka prądu z przewodem jezdnym. W obwodach niskiego napięcia w pojeździe trakcyjnym potencjalne źródła zaburzeń radioelektrycznych i impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych stanowią prądnice DC, styki styczników niskonapięciowych oraz silniki napędów pomocniczych [4].

Badania kolejowego taboru szynowego, w tym nowoczesnych lokomotyw pod kątem generowanej emisji zaburzeń radioelektrycznych, są wykonywane dla emisji zaburzeń promieniowanych i przewodowych oraz pomiary poziomów pól magnetycznych AC i DC. Jak już wspomniano na wstępie, tego typu badania prowadzą pracownicy Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji i są to badania EMC akredytowane.



Fot. 1. Pomiary EMC anteną logarytmiczno-periodyczną na torze doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa (fot. K. Ortel)

Zaburzenie radioelektryczne promieniowane jest to zaburzenie wysyłane w formie fal elektromagnetycznych [1]. Pomiary poziomu zaburzeń promieniowanych wykonuje się wyłącznie jako pomiary składowej magnetycznej natężenia pola i składowej elektrycznego natężenia pola w odległości 10 metrów od osi toru. W skład układu pomiaro-

wego wchodzi odbiornik pomiarowy spełniający wymagania normy PN-EN 55016-1-1 [8] oraz komputer pomiarowy. W badaniach wykorzystywane są trzy typy anten pomiarowych: ramowa (pętlowa) umieszczona na wysokości od 1 do 2 metrów, liczonej ponad poziom główki szyny, dwustożkowa i logarytmiczno-periodyczna umieszczone na wysokości od 2,5 m do 3,5 m, a zakres pomiarowy wynosi od 150 kHz do 1 GHz, podzielony na siedem podzakresów zgodnie z zapisami normy PN-EN 50121-3-1 [9].

Zaburzenie radioelektryczne przewodzone jest to zaburzenie rozchodzące się wzdłuż przewodów elektrycznych lub linii transmisji sygnałów [1]. Pomiary emisji zaburzeń przewodzonych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia nowoczesnych lokomotyw są wykonywane w trakcie postoju pojazdu z załączonymi wszystkimi systemami informacyjnymi, oświetleniem i ogrzewaniem bądź klimatyzacją zgodnie z metodyką opisaną w normie PN-EN 55016-2-1 [10].

Pomiary emisji zaburzeń przewodzonych są wykonywane na wszystkich portach pokładowej sieci zasilania AC i DC, takich jak porty pomocnicze źródła zasilania prądu sinusoidalnego AC lub DC, porty odnoszące się do baterii akumulatorów oraz porty pomocnicze i porty sterowania służące do zasilania urządzeń elektronicznych, dla zakresu częstotliwości od 150 kHz do 30 MHz. Typowe wartości napięcia zasilania pokładowego w pojazdach są opisane w normie PN-EN 50155 [11] i wynoszą: 24 V DC, 28 V DC, 36 V DC, 48 V DC, 72 V DC, 96 V DC, 110 V DC oraz 230 V AC. Do pomiaru zaburzeń przewodzonych wykorzystuje się wysokonapięciową sondę pomiarową, do której poprzez kabel koncentryczny podłączony jest odbiornik pomiarowy.



Fot. 2. Pomiary emisji przewodzonej portu 230 V AC sondą wysokonapięciową (fot. K. Ortel)

Pomiary poziomów pól magnetycznych AC i DC zgodnie z normą PN-EN 50500 [12], należy przeprowadzać w rzeczywistych warunkach atmosferycznych, dla pola DC w paśmie częstotliwości od 0 Hz do 1 Hz, a dla pola AC w paśmie częstotliwości od 5 Hz do 20 kHz. Pomiary te wykonuje się w dwóch trybach pracy pojazdu – na postoju w trybie statycznym oraz w ruchu w trybie dynamicznym. W obu wyżej wymienionych trybach na testowanym pojeździe muszą być załączone wszystkie systemy informacyjne, oświetlenie i ogrzewanie bądź klimatyzacja.

W skład wyposażenia pomiarowego służącego do pomiarów pól magnetycznych wchodzi następująca aparatura:

- miernik pola magnetycznego DC,
- miernik pola magnetycznego AC wraz z sondą pola o powierzchni przekroju poprzecznego wynoszącej 100 cm<sup>2</sup>,
- komputer z oprogramowaniem, służący do analizy FFT otrzymanych pomiarów.

## **5. Badania kompatybilności elektromagnetycznej wykonywane przez Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki**

Jak wspomniano na wstępie, badania kompatybilności elektromagnetycznej wykonywane przez wykwalifikowanych pracowników Zakładu Sterowania Ruchem i Teleinformatyki z Pracowni Oddziaływania Tor–Pojazd dotyczą: pomiaru technicznego impedancji osi zestawu kołowego lokomotywy, pomiarów zakłóceń generowanych przez lokomotywę do sieci trakcyjnej, a także wpływu tych zakłóceń na obwody torowe 50 Hz i bezzłączowe obwody torowe oraz pomiarów pól elektromagnetycznych emitowanych przez nowoczesną lokomotywę pod kątem ich wpływu na czujniki koła.

Badania zakłóceń generowanych przez nowoczesne lokomotywy do sieci trakcyjnej mają charakter oddziaływania galwanicznego, tzn. że prąd trakcyjny przepływa przez toki szynowe. Każdy pojazd traktowany jest jako źródło zaburzeń o określonym widmie, zawartym w jego prądzie zasilania, powstałych na skutek pracy zamontowanych na lokomotywie urządzeń elektronicznych i elektrycznych. Pomiary tego typu polegają na jednoczesnym pomiarze i rejestracji w funkcji czasu wartości składowych prędkości i stałej prądu trakcyjnego zasilającego badany tabor w różnych trybach pracy, takich jak [1]:

- rozruchy do prędkości maksymalnej osiągniętej przez lokomotywę,
- przejazdy lokomotywy ze stałymi prędkościami,

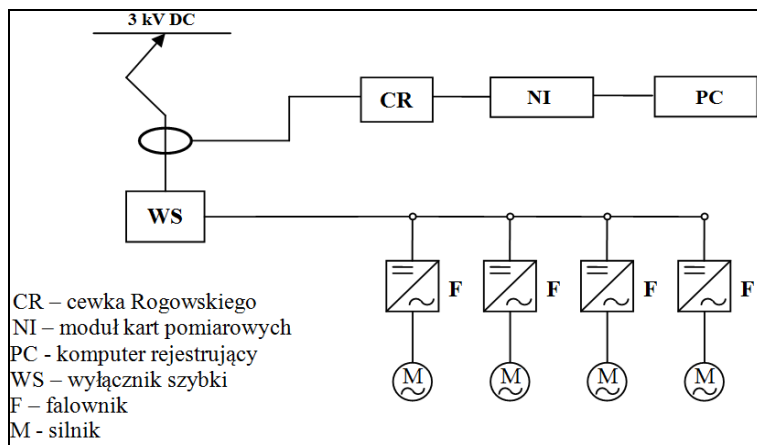


- hamowanie lokomotywy z użyciem hamulca elektrodynamicznego tzw. rekupe-  
racja,
- pomiary w trakcie postoju lokomotywy z załączonym pełnym obciążeniem urzą-  
dzeń pokładowych itd.

Badania zakłóceń generowanych przez nowoczesne lokomotywy wykonywane są na dwóch stanowiskach pomiarowych równocześnie. Na stanowisku ruchomym wykorzystywane są cewka Rogowskiego i przetwornik LEM, które instaluje się na przewodzie głównym zasilającym pojazd, a rejestrator danych, karta pomiarowa i elementy kondy-



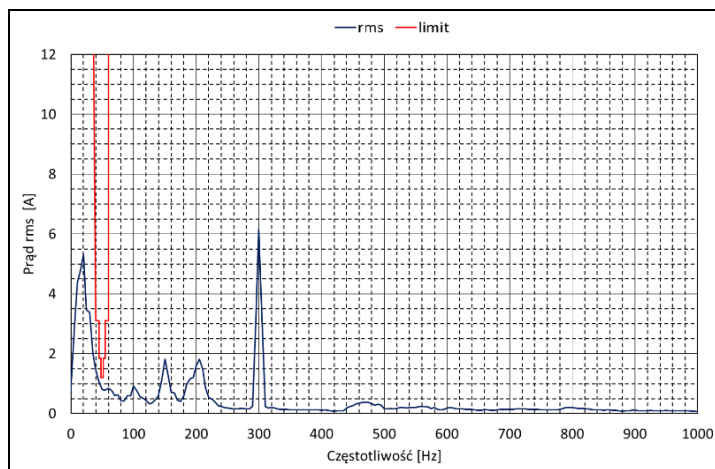
Fot. 3. Widok montażu cewki Rogowskiego i przetwornika LEM na pojeździe  
(fot. K. Ortel)



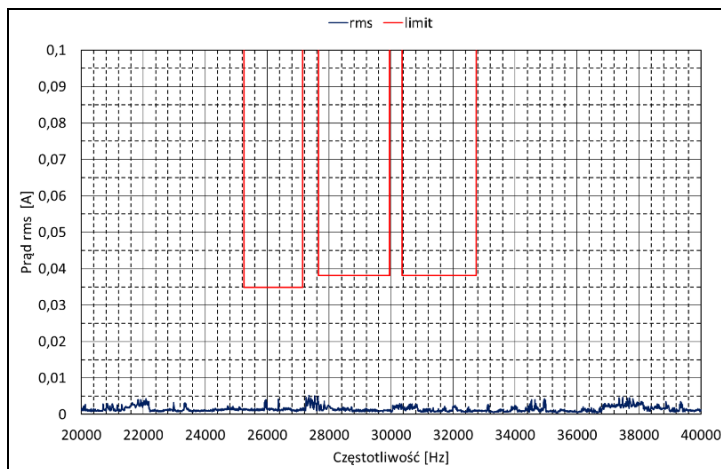
Rys. 3. Schemat pomiarowy zaburzeń do sieci trakcyjnej  
(opracowanie własne)

cjonowania sygnału znajdują się w kabinie maszynisty. Natomiast na stanowisku stacjonarnym cewka Rogowskiego i przetwornik LEM są instalowane na kablu powrotnym prądu trakcyjnego do podstacji trakcyjnej, a elementy kondycjonowania sygnału, karta pomiarowa i rejestrator danych znajdują się wewnątrz kontenera pomiarowego [1].

Przykładowy sposób montażu cewki Rogowskiego i przetwornika LEM na testowanym pojeździe przedstawiono na fot. 3, natomiast na rys. 3 zobrazowano układ pomiarowy.



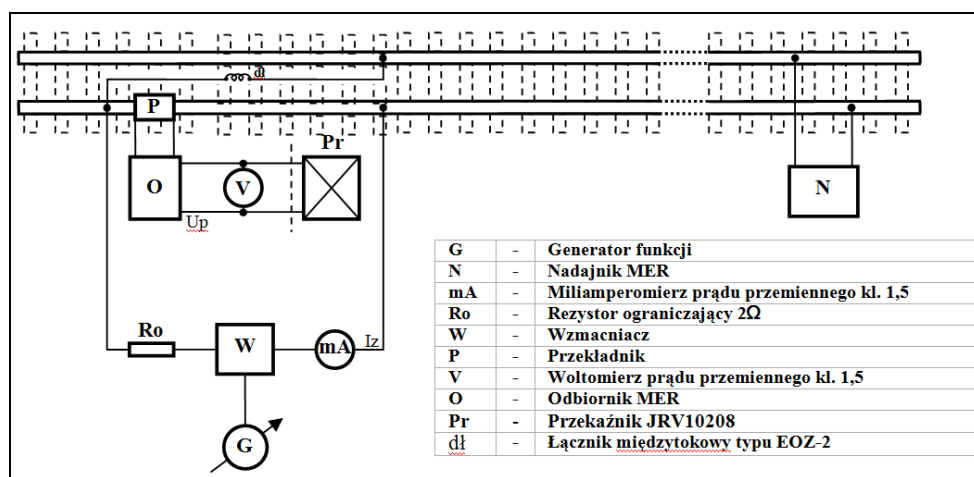
Rys. 4. Przykładowy wykres harmonicznych prądu lokomotywy w paśmie częstotliwości 0÷1 kHz



Rys. 5. Przykładowy wykres harmonicznych prądu lokomotywy w paśmie częstotliwości 20÷40 kHz

W trakcie pomiarów wartości składowej przemiennej prądu trakcyjnego są obliczane maksymalne wartości amplitud harmoniczných prądu. Następnie przeprowadza się analizę potwierdzającą, czy maksymalne wartości harmoniczných prądu nie przekraczają wartości dopuszczalnych. Analiza wykonywana jest w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 40 kHz dla pasm częstotliwości pracy obwodów torowych, a wyniki tej analizy zilustrowano na rys. 4 i 5. Kolorem czerwonym na tych rysunkach oznaczono wartości dopuszczalne prądów zakłócających określone w pracy IK 4430/10 [13], a kolorem niebieskim obliczone wartości harmoniczných prądu.

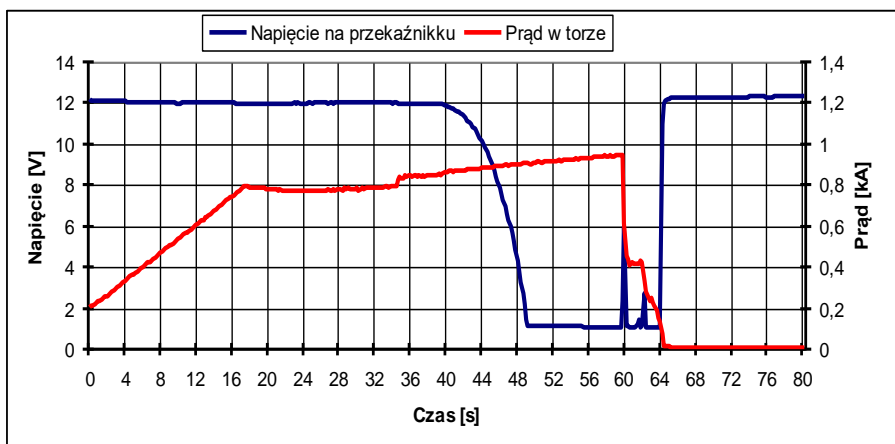
Badania oddziaływania nowoczesnej lokomotywy na obwody torowe 50 Hz i bezzłączowe obwody torowe na torze doświadczalnym niedaleko Żmigrodu wykonuje się w sposób empiryczny, sprawdzając poprawność tego oddziaływania i oceniając stabilność napięcia na przełączniku torowym. Typowy obwód torowy składa się z nadajnika i odbiornika, który połączony jest z przełącznikiem torowym, przekładnika oraz toków szynowych. Schemat bezzłączowego obwodu torowego wraz z układem pomiarowym przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Przykładowy schemat bezzłączowego obwodu torowego SOT-1 zasilanego pośrodku wraz z podłączonym układem pomiarowym (opracowanie własne)

Wynikiem wykorzystania tego typu metody pomiarowej jest równoczesny pomiar i rejestracja w czasie napięcia na przełączniku torowym oraz trakcyjnego prądu powrotnego płynącego szynami obwodu torowego podczas zbliżania się lokomotywy do obwodu torowego i w czasie przejazdu po obwodzie torowym. Umożliwia to ocenę stabilności napięcia na przełączniku torowym, gdy obwód torowy jest niezajęty,

a tor jest obciążony trakcyjnym prądem powrotnym; wartość napięcia na przełączniku torowym powinna być wyższa od jego napięcia odwzbudzenia. Gdy obwód torowy jest zajęty przez lokomotywę, wartość napięcia na przełączniku nie może być wyższa niż jego napięcie wzbudzenia, co gwarantuje bezpieczną kontrolę zajętości [1]. Na rysunku 7 przedstawiono wynik rejestracji oddziaływania zakłóceń na bezzłączowy obwód torowy SOT-1. Kolorem czerwonym oznaczono wartości prądu trakcyjnego płynącego tokami szynowymi, a kolorem niebieskim wartość napięcia na przełączniku torowym.

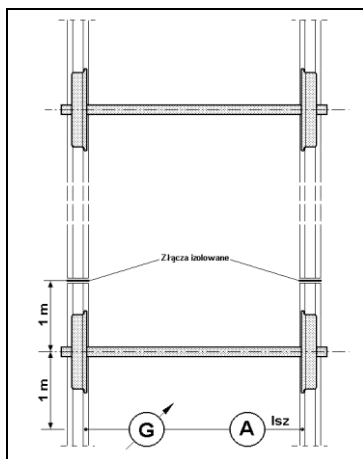


Rys. 7. Wynik rejestracji oddziaływania pojazdu na pracę bezzłączowego obwodu torowego z urządzeniami SOT-1

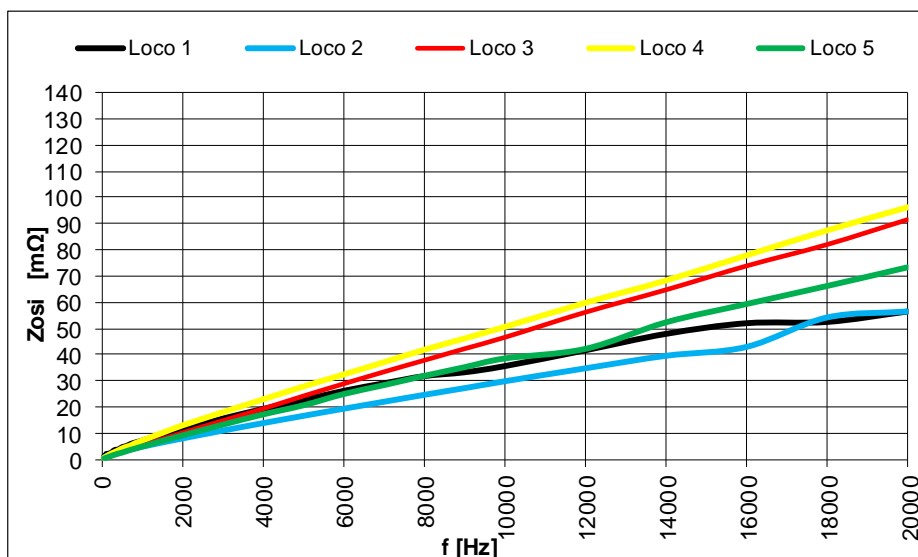
Prowadząc badania obwodów torowych, należy również wykonać pomiary techniczne impedancji osi nowoczesnych lokomotyw. Parametr ten ma zasadniczy wpływ na zdolność bocznikowania danego obwodu przez pojazd szynowy i dlatego jest ściśle powiązany z testami opisanymi wyżej. Podczas badań impedancji osi zestawów kołowych lokomotyw stosowana jest metoda polegająca na pomiarze spadku napięcia między kołami zestawu ze źródłem zasilania układu pomiarowego w zakresie od 5 do 15 A oraz częstotliwości z zakresu od 0 Hz do 40 000 Hz dla pasm częstotliwości pracy obwodów torowych [1].

Na rysunku 8 pokazano umieszczenie źródła zasilania w stosunku do badanych osi lokomotywy i w stosunku do złączy izolowanych; uwagę zwrócono na to, iż skrajna poddana pomiarowi oś powinna być odizolowana od pozostałych osi pojazdu.

Na rysunku 9 natomiast zestawiono przykładowe wyniki pomiarów impedancji osi nowoczesnych lokomotyw wykonanych w Instytucie Kolejnictwa.



Rys. 8. Rozmieszczenie źródła zasilania przy pomiarze impedancji osi [1]

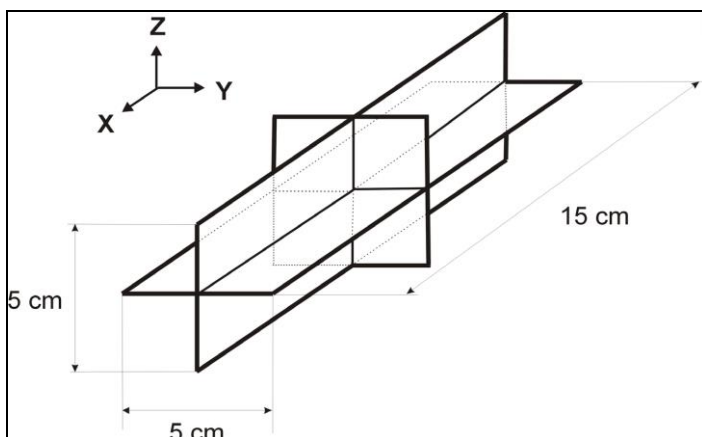


Rys. 9. Zbiorcze wyniki pomiaru impedancji osi (opracowanie własne)

Ostatnim rodzajem badań kompatybilności elektromagnetycznej opisanych w artykule, wykonywanych przez doświadczonych inżynierów Zakładu Sterowania Ruchem i Teleinformatyki w Instytucie Kolejnictwa, są pomiary pól elektromagnetycznych gene-

rowanych przez nowoczesne lokomotywy oraz ocena zarejestrowanych wyników testów pod kątem ich wpływu na czujniki koła.

Dopuszczalne poziomy emitowanych zaburzeń elektromagnetycznych w zakresie wymagań krajowych zawarto w publikacji Instytutu Kolejnictwa „Określenie dopuszczalnych poziomów i parametrów zakłóceń dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym” nr 4430/10 [13], natomiast w zakresie prawa europejskiego są opisane w technicznej specyfikacji CLC/TS 50238-3:2010: „Zastosowania kolejowe. Kompatybilność pomiędzy taborem a urządzeniami wykrywania pociągu – Część 3. Kompatybilność z licznikami osi” [14]. Stanowisko pomiarowe zbudowane do tego typu pomiarów jest zgodne z wymaganiami specyfikacji technicznej wspomnianej wyżej oraz normą PN EN 50592 [15].



Rys. 10. Wymiary anteny pomiarowej [7]

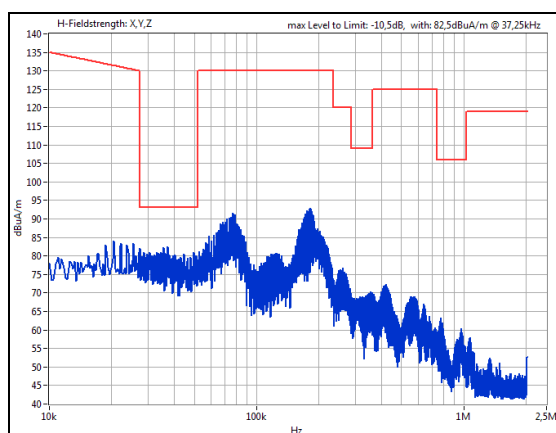


Fot. 4. Widok montażu anteny pomiarowej podczas pomiarów (fot. K. Ortel)

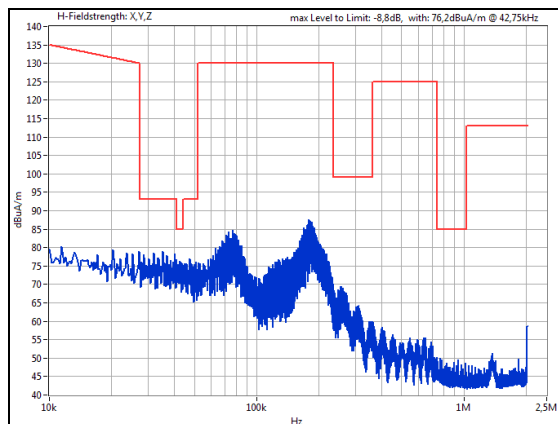
Zgodnie z tymi dokumentami pomiar pól magnetycznych należy wykonać za pomocą anteny o wymiarach opisanych na rysunku 10, przymocowanej do stopki szyny i ustawionej w określonej pozycji, tak jak na fot. 4. Takie usytuowanie anteny zapewni prawidłowy odczyt wyników pomiaru pól magnetycznych w trzech wzajemnie prostopadłych płaszczyznach oznaczonych odpowiednio literami X, Y i Z.

W skład stanowiska pomiarowego używanego w Instytucie Kolejnictwa oprócz wspomnianych wyżej dwóch anten pomiarowych typu MFS-3D-100 wchodzi trzy karty oscyloskopowe (każda dla danej płaszczyzny pomiarowej), okablowanie oraz laptop z oprogramowaniem umożliwiającym archiwizację i przetwarzanie danych pomiarowych [2, 6].

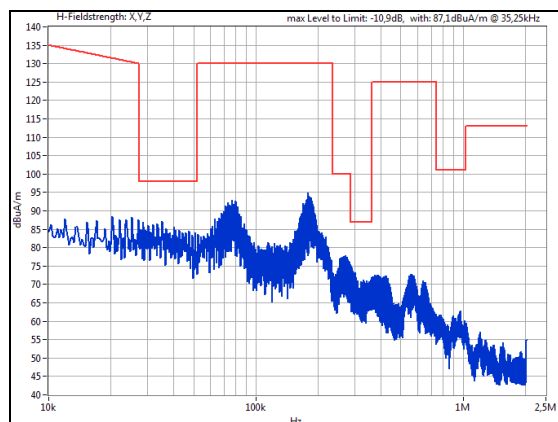
Opisana w artykule metoda badawcza polega na przejeździe konkretnej lokomotywy nad antenami pomiarowymi zainstalowanymi w torze i pomiarze wartości natężeń generowanych pól magnetycznych. Próby przeprowadza się w różnych konfiguracjach pracy lokomotywy, jak np.: przejazd z różnymi prędkościami, rozruch, hamowanie elektrodynamiczne, przejazdy z uruchomionymi urządzeniami pokładowymi (klimatyzacja, ogrzewanie, oświetlenie). Wartości napięć indukowane w antenach w trakcie przejazdu badanego pojazdu rejestrowane są na ww. kartach oscyloskopowych. Wyniki rejestracji przesyłane są następnie do komputera pomiarowego, gdzie kolejno przeprowadzana jest analiza FFT przy zastosowaniu specjalistycznego oprogramowania. Rezultatem tej analizy otrzymuje się charakterystyki wartości natężeń generowanych pól magnetycznych w funkcji częstotliwości, które zostały zestawione z wartościami granicznymi określonymi dla każdej z mierzonych płaszczyzn, zgodnie z wymienionymi wcześniej wymaganiami normatywnymi [2, 5].



Rys. 11. Przykładowy wynik pomiaru w płaszczyźnie o wektorze X



Rys. 12. Przykładowy wynik pomiaru w płaszczyźnie o wektorze Y

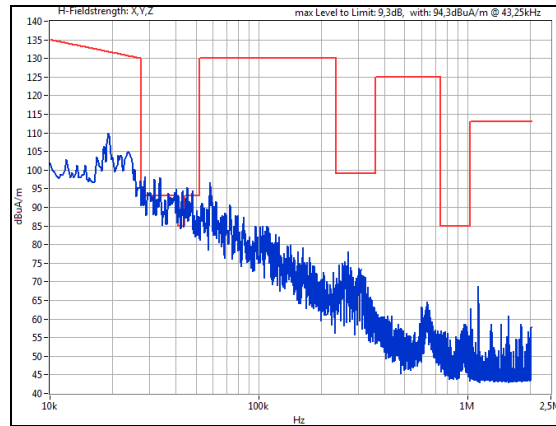


Rys. 13. Przykładowy wynik pomiaru w płaszczyźnie o wektorze Z

Przykładowe wyniki pomiarów natężenia pól magnetycznych generowanych przez nowoczesną lokomotywę zaprezentowano na rys. 11–13. Kolorem niebieskim oznaczono pomierzone dane, a kolorem czerwonym naniesiono wartości graniczne dla każdej z trzech płaszczyzn.

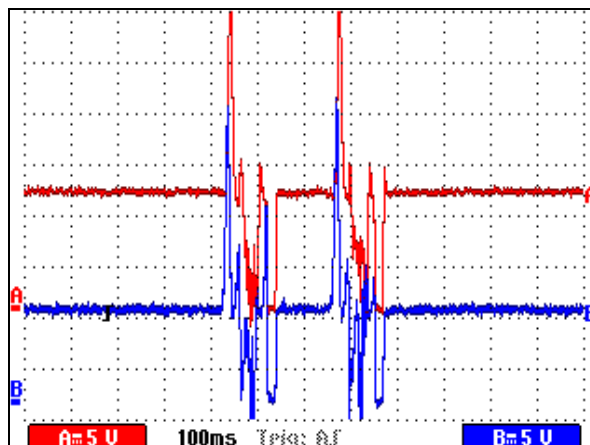
W przypadku stwierdzenia przekroczenia dopuszczalnych wartości natężeń pól magnetycznych generowanych przez nowoczesną lokomotywę należy wykonać rejestrację impulsów na wyjściu czujnika koła pracującego w tym paśmie częstotliwości w celu oceny ich zniekształceń, które mogą mieć wpływ na działanie urządzeń sterowanych przez czujnik koła. Na rysunku 14 pokazano przykład przekroczenia wartości dopuszczalnej.





Rys. 14. Przykładowy wynik przekroczenia wartości dopuszczalnej w płaszczyźnie o wektorze Y

Generowane zaburzenia przedstawione na rys. 14 mogą skutkować przechodzeniem liczników w stany awaryjne wymagające wykonywania każdorazowo manualnych resetów, niezbilansowaniem się zliczanych osi przejeżdżającego taboru, a w ostateczności błędnym wskazaniem niezajętości/zajętości toru. Każde z wymienionych zagrożeń będzie miało negatywny wpływ na prowadzenie ruchu pociągów, w tym na konieczność interwencji obsługi, ograniczenia prędkości oraz opóźnienia w ruchu. Przykład zakłócenia pracy licznika osi przedstawiono na rys. 15.



Rys. 15. Zakłócony przebieg charakterystyki napięcia (z uwzględnieniem reakcji na osie lokomotywy) na wyjściach czujnika koła

## 6. Podsumowanie

Tor badawczy Instytutu Kolejnictwa zlokalizowany niedaleko Żmigrodu już od ponad 25 lat stanowi przykład bardzo ważnej infrastruktury badawczej, umożliwiającej prowadzenie badań homologacyjnych pojazdów szynowych, w tym nowoczesnych lokomotyw oraz elementów infrastruktury kolejowej. Pomiary doświadczalne taboru kolejowego mogą być wykonywane 24 godziny na dobę bez przerwy, w każdych warunkach pogodowych oraz dowolnych konfiguracjach pojazdów (składów pociągów), niepowodujący przy tym perturbacji ruchowych innych pociągów z uwagi na wydzieloną infrastrukturę, co jest niewątpliwą zaletą.

Integralną częścią przeprowadzanych testów na nowoczesnych lokomotywach są badania kompatybilności elektromagnetycznej.

Badania wykonywane przez wykwalifikowanych pracowników Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji pozwalają na zgodne z wymaganiami normatywnymi przeprowadzenie zarówno pomiarów kompatybilności elektromagnetycznej, czyli emisji promieniowanej i przewodzonej, jak i pomiarów pól magnetycznych AC i DC. Tego typu badania umożliwiają prawidłową ocenę poziomów emitowanych zaburzeń i wykluczenie ewentualnych negatywnych skutków przekroczenia wartości dopuszczalnych ww. zaburzeń, które mogą mieć wpływ na prawidłowe działanie, np. wyświetlaczy informacji pasażerskiej instalowanych w środowisku kolejowym, urządzeń elektronicznych o zasilaniu 230 V AC zamontowane na testowanym pojeździe lub oddziaływać niekorzystnie na organizmy ludzkie pasażerów bądź obsługi pociągu.

Porównywanie przez pracowników Zakładu Sterowania Ruchem i Teleinformatyki z Pracowni Oddziaływania Tor–Pojazd zmierzonych i obliczonych wartości harmonicznego prądu trakcyjnego dla badanych nowoczesnych lokomotyw z obowiązującymi wymaganiami pozwala na dokonanie oceny spełnienia przez tabor szynowy określonych warunków. Dzięki temu na etapie badań homologacyjnych jest możliwe zidentyfikowanie potencjalnych źródeł zakłóceń mających wpływ na pracę urządzeń sterowania ruchem kolejowym oraz wyeliminowanie pojazdów niespełniających określonych przepisów. Badania tego typu umożliwiają także producentom taboru weryfikację i usunięcie błędów konstrukcyjnych oraz montażowych.

Badania oddziaływania taboru na urządzenia srk, w tym pomiary techniczne impedancji osi zestawu kołowego, wpływ zakłóceń emitowanych przez nowoczesne lokomotywy na obwody torowe 50 Hz i bezzłączowe obwody torowe oraz pomiar emitowanych przez pojazd pól elektromagnetycznych pod kątem ich wpływu na czujniki koła pozwalają wyeliminować z eksploatacji tabor szynowy, który może negatywnie

wpływać na pracę wymieniowych w artykule urządzeń przytorowych, a tym samym pozwalają na ograniczenie zakłóceń w ruchu pociągów, umożliwiając łatwiejsze zarządzanie ruchem kolejowym. Jest to niezwykle istotne pod kątem bezpieczeństwa, gdyż eliminuje w pracy urządzeń srk możliwość wystąpienia nieplanowanej zajętości obwodu torowego lub niewystąpienia takiej zajętości, gdy pociąg jest w granicach danego obwodu torowego.

Wszystkie opisane w artykule badania EMC przyczyniają się przede wszystkim do utrzymania na odpowiednim poziomie bezpieczeństwa w ruchu kolejowym oraz eliminują do minimum wszelkie możliwe perturbacje ruchowe.

## Literatura

- [1] MASSEL A. i in., *Rola okręgu doświadczalnego Instytutu Kolejnictwa w badaniach taboru i infrastruktury kolejowej*, Warszawa, Żmigród 2021.
- [2] ADAMSKI D., ORTEL K., ZAWADKA Ł., *Unified verification method of electromagnetic compatibility between rolling stock and train detection systems*, Global Debate on Mobility Challenges for the Future Society, 15–16.11.2018 r., Warsaw.
- [3] WETOSZKA P., PAŚ J., *Kompatybilność elektromagnetyczna w wybranych urządzeniach elektronicznych systemów bezpieczeństwa: badania wstępne*, Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania, 2018, vol. 59, nr 8.
- [4] BIAŁOŃ A., DŁUŻNIEWSKI A., JOHN Ł., *Emisja zaburzeń radioelektrycznych generowanych przez tabor kolejowy*, Problemy Kolejnictwa, zesz. 152.
- [5] ADAMSKI D., BIAŁOŃ A., FURMAN J., ORTEL K., ZAWADKA Ł., *Pola magnetyczne generowane przez pojazdy w systemie trakcji prądu przemiennego*, Technika Transportu Szynowego TTS, 2016, 11.
- [6] ADAMSKI D., BIAŁOŃ A., FURMAN J., ORTEL K., ZAWADKA Ł., *Magnetic fields generated by vehicles in alternating current traction system*, Wydawnictwo PiT, Kraków 2016.
- [7] ADAMSKI D., BIAŁOŃ A., FURMAN J., ZAWADKA Ł., *Wpływ pola magnetycznego generowanego przez pojazdy trakcyjne na urządzenia srk w odniesieniu do obowiązujących standardów*. Conference Advanced Rail Technologies, Józefów 2014.
- [8] PN-EN IEC 55016-1-1:2019-07. *Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej I metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia. Część 1-1. Aparatura do pomiaru zaburzeń radioelektrycznych i do badań odporności – Aparatura pomiarowa*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2019.
- [9] PN-EN 50121-3-1:2017-05+A1:2019-07. *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna. Część 3-1. Tabor – Pociąg i kompletny pojazd*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2019 r.
- [10] PN-EN 55016-2-1:2014-09+A1:2017-12. *Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia. Część 2-1. Metody pomiaru zaburzeń i badania odporności – Pomiar zaburzeń przewodzonych*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2014.
- [11] PN-EN 50155:2018-01. *Zastosowania kolejowe – Tabor – Wyposażenie elektroniczne*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2018.

- [12] PN-EN 50500:2008+A1:2015-10. *Procedury pomiaru poziomów pól magnetycznych generowanych przez urządzenia elektroniczne i elektryczne w środowisku kolejowym w odniesieniu do narażenia ludzi*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2008.
- [13] *Określenie dopuszczalnych poziomów i parametrów zakłóceń dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym*, praca Instytutu Kolejnictwa nr 4430/10, Warszawa 2011.
- [14] Technical Specification CLC/TS 50238-3:2013. *Railway applications. Compatibility between rolling stock and train detection systems. Compatibility with axle counters.*
- [15] EN 50592:2017-04. *Railway Applications Railway applications – Testing of rolling stock for electromagnetic compatibility with axle counters.*

# **Badania zgodności taboru kolejowego i systemów wykrywania pociągu wykonywane przez Instytut Kolejnictwa na podstawie wymagań krajowych**

## **Compliance tests of rolling stock and train detection systems performed by the Railway Institute based on national requirements**

JULIUSZ FURMAN, ANDRZEJ BIAŁOŃ, KRZYSZTOF ORTEL

Instytut Kolejnictwa

**Abstrakt:** Podmioty normalizacyjne Unii Europejskiej prowadzą prace nad ustaleniem jednolitych zasad związanych z procesem projektowania, badań i certyfikacji taboru kolejowego. Efektem tych działań jest ciągła zmiana przepisów oraz objęcie coraz większych obszarów wspólnymi dla całej UE wymaganiami technicznymi. Jednocześnie proponowane są rozwiązania prawne umożliwiające rozszerzenie obszaru użytkowania pojazdów kolejowych dopuszczonych do eksploatacji na obszarze jednego lub kilku krajów unijnych na kolejne kraje. W tym kontekście istotny jest proces potwierdzania zgodności pojazdów z infrastrukturą kolejową krajów docelowej eksploatacji. Mimo zmian Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności i przepisów krajowych nadal uwzględnia się potrzebę badań i wykazania zgodności taboru kolejowego z krajowymi systemami wykrywania pociągu. Generalnie związane z tym zadania są wykonywane przez podmioty upoważnione przez Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego. W artykule przedstawiono szczegółowo prace wykonywane przez pracowników Instytutu Kolejnictwa jednostki upoważnionej w odniesieniu do obowiązujących w Polsce przepisów dotyczących potwierdzenia zgodności taboru kolejowego i systemów wykrywania pociągu. W podsumowaniu artykułu zaprezentowano zasadnicze problemy i wnioski wynikające z przedstawionej problematyki.

**Abstract:** European Union standardization bodies are working on establishing uniform rules related to the process of designing, testing and certification of rolling stock. The result of these activities is the constant change of regulations and at the same time covering more and more areas with common technical requirements for the entire EU. At the same time, legal solutions are proposed to extend the area of use of railway

vehicles approved for operation in the area of one or several EU countries to other countries. In this context, the process of confirming the compliance of vehicles with the railway infrastructure of the countries of intended operation is important. Despite changes to the Technical Specifications for Interoperability and national regulations, the need to test and demonstrate the compliance of rolling stock with national train detection systems is still taken into account. Generally, tasks related to this are performed by entities authorized by the President of the Office of Rail Transport. The article presents in detail the work carried out by the employees of the Railway Institute of the authorized unit in relation to the regulations in force in Poland regarding the confirmation of the conformity of rolling stock and train detection systems. In the summary of the article, the main problems and conclusions resulting from the presented issues were presented.

## 1. Wprowadzenie

Z analizy wykonanej na rzecz Komisji Europejskiej [1] wynika, że utrzymanie dobrobytu w Unii Europejskiej oraz odpowiednio wysokiej pozycji na arenie światowej wymaga stworzenia jednolitego obszaru transportu. Kluczowe znaczenie w tym zakresie mają transeuropejskie sieci transportowe obejmujące połączenia drogowe, kolejowe, wodne, porty, punkty przeładunkowe, lotniska (tzw. TEN-T), szczególnie działania prowadzące do uzyskania interoperacyjności infrastruktury kolejowej w całej Unii. Kolejowe regulacje prawne, których celem jest wdrożenie interoperacyjności systemu kolei w Europie, wymagają potwierdzenia zgodności technicznej wprowadzanego do eksploatacji taboru kolejowego z infrastrukturą przytorową. W efekcie prowadzonych działań normalizacyjnych uzupełniane są wymagania specyfikacji odnoszących się do zapewnienia zgodności systemu – urządzenia przytorowe z innymi podsystemami. Zmiany wprowadzone w przepisach UE są przenoszone do prawodawstwa krajowego.

Jednocześnie występują istotne różnice między istniejącymi rozwiązaniami technicznymi infrastruktury przytorowej i przepisami kolejowymi w różnych krajach Europy, które uniemożliwiają zdefiniowanie w niektórych obszarach jednolitych unijnych wymagań.

Dla takich obszarów wprowadzane są reguły w postaci „punktów otwartych”, które zgodnie z art. 4 ust. 6 dyrektywy 2016/797/UE [26] podlegają przepisom krajowym obowiązującym w poszczególnych państwach członkowskich. Wymagania i przepisy w zakresie zgodności podsystemu sterowanie–urządzenia przytorowe z innymi podsystemami są na bieżąco analizowane i stosowane w badaniach prowadzonych przez Instytut Kolejnictwa.

Obecnie koleje europejskie wspierają wybór systemów wykrywania pociągów z licznikami osi, uzupełnione o rozwiązania monitorowania, wykrywania i ostrzegania w przypadku pęknięcia toru. Są to rozwiązania bezpieczne, wymagające minimalnej konser-

wacji, a jednocześnie dostępne na europejskim rynku u wielu dostawców. Rozwiązania te mogą zapewnić większą elastyczność w zakresie architektury, zarządzania interfejsami i rozbudowy infrastruktury.

W krajach uboższych, dysponujących mniej wyedukowanym personelem kolejowym, wybierane są rozwiązania techniczne z obwodami torowymi. Rozwiązanie to wymaga okresowych konserwacji. Wprawdzie umożliwia ono wykrycie pęknięcia toru, ale jednocześnie jest podatne na szereg oddziaływań, które zmniejszają niezawodność i dostępność realizowanych funkcji. Do takich oddziaływań należą: zmiany środowiskowe – mechaniczne i klimatyczne, zmiany parametrów elektrycznych podtorza, prawdopodobieństwa niewykrycia lekkiego pociągu oraz innych pojazdów z powodu utlenienia powierzchni tocznej szyn, obecności piasku i smarów zmniejszających kontakt elektryczny koła z torrem. Jednocześnie tworzone są rozwiązania diagnostyczne, które wspierają utrzymanie i eksploatację obwodów torowych [34].

## **2. Podstawa prawna badania zgodności pojazdów kolejowych z systemami detekcji pociągu w Polsce**

Przepisy dotyczące zgodności pojazdów kolejowych z systemami detekcji pociągu w Polsce objęte są prawem Unii Europejskiej i prawem krajowym. Niniejsza publikacja odnosi się do stanu prawnego na lipiec 2023 roku. W najbliższej przyszłości można oczekiwać ewentualnej zmiany przepisów krajowych, jakie wprowadza w Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2023/1695 z 10 sierpnia 2023 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności w zakresie podsystemów „Sterowanie” systemu kolei w Unii Europejskiej i uchylające rozporządzenie (UE) 2016/919 w kontekście zgodności z systemami wykrywania pociągów.

## **3. Prawodawstwo Unii Europejskiej**

W Traktacie ustanawiającym Unię Europejską część kompetencji w zarządzaniu systemem kolei w Polsce została przekazana instytucjom Unii Europejskiej. Wytoczne ustanawiane są przez Parlament Europejski, który poprzez swoje dyrektywy tworzy odpowiednie ramy prawne do działań Komisji Europejskiej, Agencji Kolejowej Unii Europejskiej ERA oraz zaangażowanych podmiotów krajowych.

Dyrektywa 2016/796/UE [25] w sprawie Agencji Kolejowej Unii Europejskiej określa ramy działań ERA w zakresie uregulowań dla kolei, z uwzględnieniem aspektów technicznych bezpieczeństwa i interoperacyjności, które wymagają zwiększonego poziomu harmonizacji na szczeblu unijnym.

Dyrektywa 2016/797/UE [26] w sprawie interoperacyjności systemu kolei we Wspólnocie wprowadza Techniczne Specyfikacje Interoperacyjności dedykowane dla różnych podsystemów kolejowych. W załączniku III dyrektywy zawarte są wymagania zasadnicze, którym ma odpowiadać system kolei Unii.

Dyrektywa 2016/798/UE [27] obejmuje wymagania bezpieczeństwa dla całości systemu kolejowego UE, łącznie z bezpiecznym zarządzaniem infrastrukturą i ruchem pociągów, a także współdziałaniem przedsiębiorstw kolejowych, zarządców infrastruktury i innych podmiotów systemu kolei.

Wdrożeniem dyrektyw na terenie UE zajmuje się Komisja Europejska, która poprzez rozporządzenia i decyzje wprowadza Techniczne Specyfikacje Interoperacyjności TSI, a których opracowanie zleca ERA. TSI wdrażają normalizację techniczną oraz umożliwiają osiągnięcie interoperacyjności systemu kolei w Europie.

Zgodnie z art. 13 ust. 1 dyrektywy 2016/797/UE [26] ERA i krajowe organy ds. bezpieczeństwa uznają za spełniające zasadnicze wymagania te podsystemy strukturalne tworzące system kolei Unii, które objęte są, w odpowiednich przypadkach, deklaracją weryfikacji WE dokonaną poprzez odniesienie do TSI lub deklaracją weryfikacji dokonaną poprzez odniesienie do przepisów krajowych lub obiema deklaracjami, zawierające warunki, jakie muszą być spełnione w celu weryfikacji interoperacyjności oraz procedury oceny i weryfikacji zgodności niezbędne do stosowania tych przepisów krajowych.

## **4. Przepisy zawarte w TSI**

Zagadnienia zgodności taboru kolejowego z systemami naziemnymi objęte są specyfikacjami TSI L&P [21] oraz TSI Tabor – wagony towarowe [23]. W części dotyczącej właściwości taboru w punkcie 4.2.3.3.1 TSI L&P [21] i w punkcie 4.2.3.3 TSI Tabor – wagony towarowe [23] przedstawiają wymagania w zakresie zgodności z systemami detekcji pociągów, realizowanymi przez obwody torowe, liczniki osi lub pętle torowe. Szczegółowe wymagania w tym zakresie zawarte są w specyfikacji ERA/ERTMS/033281 [11] wymienionej w pozycji 1 załącznika J.2 do TSI L&P [21] oraz w punkcie 4.2.3.3 TSI Tabor – wagony towarowe [23]. Przywołany dokument jest wymieniony również w ze-



stawie specyfikacji obowiązkowych zawartym w załączniku A do TSI Sterowanie [22]. We wcześniejszych wersjach TSI istniały rozbieżności w zakresie obowiązujących wersji dokumentu [22]. Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/776 [24] ujedynoliciło w tym zakresie wymagania różnych TSI. „Punkty otwarte” w TSI L&P [21] zawarte są w Dodatku I i dotyczą między innymi zgodności z systemami detekcji pociągów, a w tym zakresie powiązane są z „punktami otwartymi” do TSI Sterowanie [22] zawartymi w załączniku G i dotyczą parametrów projektowych i konstrukcyjnych pojazdu kolejowego oraz zagadnień emc. Więcej szczegółów dotyczących specyfikacji ERA [11] przedstawiono w rozdziałach 6 i 7 niniejszego artykułu.

W punkcie 7.6.2.4 TSI CCS [22] przedstawiony jest „przypadek szczególny”, dotyczący przytorowych systemów detekcji pociągu dla Polski. Wymagania krajowe w tym zakresie definiują wartość rezystancji dla prądu stałego i wartość reaktancji w funkcji częstotliwości, mierzone pomiędzy powierzchniami tocznymi przeciwległych kół zestawu kołowego. Ten „przypadek szczególny” ma status przepisu przejściowego i będzie wymagał zrewidowania po zamknięciu punktu otwartego dotyczącego zarządzania częstotliwością w obwodach torowych.

## 5. Przepisy krajowe

Przepisy krajowe w zakresie dotyczącym zgodności taboru kolejowego i systemów wykrywania pociągu w Polsce wynikają z następujących aktów prawnych:

- Ustawa z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym (z późn. zm.) [14];
- Obwieszczenie Ministra Infrastruktury z dnia 7 października 2020 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie dopuszczania do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych [15];
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 7 czerwca 2021 r. w sprawie interoperacyjności Dziennik Ustaw z dnia 9 czerwca 2021 r., poz. 1042 [18];
- Lista Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei [19], [20].

Ustawa o transporcie kolejowym [14] dokonuje wdrożenia dyrektyw Wspólnot Europejskich. Ustawa ta zobowiązuje ministra właściwego ds. transportu do wydania rozporządzenia [16] dotyczącego opracowania wykazu właściwych krajowych specyfi-

kacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei. Rozporządzenie to powinno zawierać moduły oceny zgodności oraz wykaz parametrów pojazdu kolejowego do skontrolowania w celu sprawdzenia zgodności technicznej między pojazdem kolejowym a siecią kolejową. Ponadto ustawa ta [14] w art. 25ta. 1. zobowiązuje ministra właściwego ds. transportu do wydania rozporządzenia [18] regulującego przepisy krajowe w zakresie interoperacyjności.

Minister właściwy do spraw transportu w załączniku do obwieszczenia [15] przedstawił jednolity tekst rozporządzenia 720 z dnia 13 maja 2014 r. (Dz. U., poz. 720) [16], zmieniony rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 3 września 2019 r. (Dz. U., poz. 1765) [17], w sprawie dopuszczania do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych. Rozporządzenie 720 [16] określa zakres badań technicznych koniecznych do wydania świadectwa dopuszczenia do eksploatacji typu oraz stwierdzenia zgodności z typem.

W paragrafie §14.1. dotyczącym zakresu badań technicznych dla wszystkich typów pojazdów kolejowych rozporządzenie [16] wymienia:

- badania impedancji zestawów kołowych oraz systemów hamowania i smarowania pod kątem zagwarantowania w eksploatacji właściwej współpracy z obwodami kontroli niezawieszności, czujnikami urządzeń sterowania ruchem;
- badania pojazdu kolejowego w zakresie emitowanych zakłóceń elektrycznych, elektromagnetycznych i radioelektrycznych;
- badanie układów hamulcowych w zakresie wpływu na urządzenia sterowania ruchem kolejowym.

W paragrafie § 14. 2. dotyczącym zakresu badań technicznych dla typów pojazdów trakcyjnych rozporządzenie [16] wymienia badanie wpływu generowanych zakłóceń i pól magnetycznych na urządzenia sterowania ruchem kolejowym.

W paragrafie §14.3dotyczącym zakresu badań technicznych dla typów wagonów pasażerskich rozporządzenie [16] wymienia badanie wpływu zakłóceń i pól magnetycznych generowanych przez wagon pasażerski na urządzenia sterowania ruchem kolejowym.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie interoperacyjności [18] określa:

- zasadnicze wymagania systemu kolei (zawarte w załączniku do tego rozporządzenia);
- warunki przeprowadzania weryfikacji WE podsystemu;
- procedury oceny zgodności podsystemów z właściwymi krajowymi specyfikacjami technicznymi i dokumentami normalizacyjnymi, których zastosowanie

umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań systemu kolei, w tym moduły oceny zgodności;

- wykaz parametrów pojazdu kolejowego do skontrolowania, w celu sprawdzenia zgodności technicznej między pojazdem kolejowym a siecią kolejową; W tym zakresie przywołane są wymagania zawarte w części A dotyczącej podsystemu „tabor” listy właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych [20], których zastosowanie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań systemu kolei, opublikowanej na podstawie art. 25d ust. 1 ustawy;
- zakres dokumentacji technicznej dołączanej do deklaracji weryfikacji WE podsystemu.

Według rozporządzenia [18] części składowe systemu kolei Unii mające wpływ na bezpieczeństwo funkcjonowania systemu, w tym szczególnie związane z ruchem kolejowym, powinny być projektowane, konstruowane, wytwarzane, montowane, budowane, utrzymywane i monitorowane w sposób zapewniający bezpieczeństwo funkcjonowania systemu kolei Unii, w tym w szczególnie trudnych warunkach.

Ponadto w zakresie wymagania zasadniczego zgodność techniczna rozporządzenie to [18] zawiera nakaz, aby parametry techniczne pojazdów kolejowych były zgodne z parametrami technicznymi urządzeń infrastruktury kolejowej przeznaczonej do prowadzenia ruchu kolejowego.

W zakresie wymagań zasadniczych dla podsystemu tabor wspomniane wyżej rozporządzenie [18] nakazuje, by:

- stosowano systemy hamowania zapewniające charakterystykę hamowania oraz oddziaływania na styku „koło–szyna”, których parametry są zgodne z konstrukcją torów i obiektów inżynierskich oraz z systemami sygnalizacji;
- urządzenia i instalacje elektryczne były zgodne technicznie z urządzeniami wchodzącymi w skład podsystemu sterowanie–urządzenia przytorowe;
- charakterystyki pojazdów kolejowych umożliwiały jazdę na liniach kolejowych wchodzących w skład systemu kolei Unii, na których jest przewidziana eksploatacja tych pojazdów.

Lista Prezesa UTK [19] oraz lista Prezesa UTK [20] zawierają krajowe wymagania, specyfikacje techniczne i dokumenty normalizacyjne, których spełnienie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei. Pierwsza z nich z dnia 7 grudnia 2020 r. obowiązuje w zakresie taboru kolejowego. Druga lista została wydana w dniu 28 czerwca 2021 r., a następnie zmieniona w dniu 23 grudnia 2021 r. i obowiązuje w zakresie budowl i instalacji stałych pozostałych podsystemów

kolejowych. Obie te listy [19], [20] zastępują poprzednią listę Prezesa UTK z 19 stycznia 2017 r.

## **6. Specyfikacje techniczne dotyczące zgodności pojazdów z systemami detekcji pociągu**

W zakresie dotyczącym interoperacyjnej zgodności pojazdów kolejowych z systemami detekcji pociągów stosowana jest specyfikacja obowiązkowa ERA/ERTMS/033281 [11] przywołana w grupie wymagań podstawowych w punkcie 4.2.3.3.1 specyfikacji TSI L&P [21], w punkcie 4.2.3.3 specyfikacji TSI Tabor – wagony towarowe [23] oraz obu tych TSI w grupie wymagań interfejsu z podsystemem Sterowanie. Ta specyfikacja ERA [22] zawiera również wymagania w ramach „punktów otwartych” zawartych w specyfikacji TSI CCS [22], dotyczących zgodności taboru kolejowego z systemami detekcji pociągu.

W zakresie prawa krajowego dotyczącego zgodności pojazdów kolejowych z systemami detekcji pociągów stosowane są obie listy Prezesa UTK ([19] i [20]). Szczegółowe krajowe wymagania parametryczne zawarte są załącznikach do listy Prezesa UTK.

W celu zapewnienia i wykazania zgodności taboru kolejowego z systemami detekcji pociągu stosowane są dokumenty normalizacyjne z grupy norm CENELEC serii 50238 [2], [3], [4] i serii 50617 [5], [6]. W listach Prezesa UTK przywołane są najnowsze wydania tych specyfikacji. Zmiany wprowadzone do wymienionych wyżej specyfikacji mogą mieć wpływ na działalność badawczą i certyfikacyjną prowadzoną według zawartych tam reguł. Analizy zmian wprowadzonych do tych specyfikacji są poza zakresem niniejszego artykułu.

## **7. Wymagania zawarte w specyfikacji ERA/ERTMS/033281**

Specyfikacja ERA/ERTMS/033281 [11] dotyczy interfejsu podsystemu sterowanie–urządzenia przytorowe z innymi podsystemami i dotyczy systemów detekcji pociągów, w których zastosowano rozwiązania techniczne z obwodami torowymi, z licznikami osi, z pętlami torowymi i z czujnikami koła. Dokument ten zawiera charakterystyki techniczne tego interfejsu oraz przedstawia sposoby wykazania jego zgodności z wymaganiami. Systemy detekcji pociągu stosujące liczniki osi są obecnie składnikami interoperacyjności.

## 8. Wymagania zawarte w listach Prezesa UTK

Lista Prezesa UTK [19] oraz lista Prezesa UTK [20] zawierają krajowe wymagania, specyfikacje techniczne i dokumenty normalizacyjne, których spełnienie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei. Pierwsza z nich pochodzi z dnia 5 listopada 2021 r. i obowiązuje w zakresie taboru kolejowego. Druga lista została wydana w dniu 23 grudnia 2021 r. i obowiązuje w zakresie budowli i instalacji stałych pozostałych podsystemów kolejowych. Lista dotycząca taboru [19] odwołuje się do wykazu parametrów stosowanych w celu klasyfikacji przepisów krajowych zawartego w załączniku do Decyzji wykonawczej komisji (UE) 2015/2299 [28].

Lista Prezesa UTK dotycząca taboru kolejowego [19] zawiera trzy grupy wymagań. Pierwsza grupa wymagań dotyczy wymagań krajowych dla pojazdów zgodnych z TSI, druga wymagań krajowych dla pojazdów niezgodnych z TSI, a trzecia wymagań krajowych dla pojazdów specjalnych. W punkcie A listy Prezesa UTK dotyczącej taboru kolejowego zgodnego z TSI [19] zawarto wymagania odnoszące się do „punktów otwartych”, „przypadków szczególnych” określonych w TSI oraz wymagania potwierdzające zgodność pojazdu kolejowego z polską siecią kolejową, w tym zgodność charakterystyki technicznej i eksploatacyjnej pojazdu z infrastrukturą i stałymi instalacjami.

W części dotyczącej „punktów otwartych” i „przypadków szczególnych” specyfikacji [19] nie umieszczono żadnych wymagań. Wymagania krajowe dotyczące zaburzeń zawartych w prądzie trakcyjnym generowanych przez pojazd trakcyjny do sieci trakcyjnej znajdują się w grupie wymagań krajowych w punktach 8.4.2.1.1, 8.4.2.1.2, 8.4.2.1.3 listy [19]. Wartości graniczne zaburzeń zawartych w prądzie trakcyjnym w zawarte są w załączniku S-02 do listy [19] w tabelach 1–12 i na rysunkach 1–12. Wartości te dotyczą osobno: obwodów torowych 50 Hz, obwodów torowych bezzłazczowych i czujnika przejazdu pociągu EOC, elektronicznych obwodów nakładanych EON-3 i czujnika przejazdu pociągu EON-6 oraz czujników koła. Limity te określone są niezależnie dla przytorowych urządzeń srk, dla lokomotyw i elektrycznych zespołów trakcyjnych oraz dla przetwornic wagonowych. Sposoby pomiaru zaburzeń zawartych w prądzie trakcyjnym zawarte są w specyfikacjach PN-EN 50238-1 [2] i CLC/TS 50238-2 [3]. Charakterystyki parametrów obwodów torowych zależnych od taboru zawiera specyfikacja PN-EN 50617-1 [5].

Wymagania dotyczące pól elektromagnetycznych (lub napięć indukowanych/zakłócających) generowanych pod pojazdem trakcyjnym w miejscu lokalizacji urządzeń kolejowych (detektory licznika osi, systemy ATP, anteny, detektory zagrzanych łożysk osiowych itp.) znajdują się w grupie wymagań krajowych w punkcie 8.4.2.2.1 listy [19].

Wartości graniczne pól magnetycznych generowanych pod pojazdem trakcyjnym, które oddziałują na czujniki koła stosowane w systemach liczenia osi, zawarte są w załączniku S-02 do Listy Prezesa UTK w tabelach 13–15 i rysunkach 13–15. Limity te są określone niezależnie dla trzech wzajemnie prostopadłych płaszczyzn X, Y, Z i mierzone są miejscu, w jakim są instalowane głowice odbiorcze czujnika koła. Sposób pomiaru pól magnetycznych powinien być zgodny z zaleceniami specyfikacji PN-EN 50238-1 [2] i CLC/TS 50238-3 [4]. Charakterystyki parametrów czujnika koła zależnych od taboru zawiera specyfikacja PN-EN 50617-2 [6].

Punkt B listy Prezesa UTK dotyczącej taboru kolejowego [19] „Wymagania krajowe, których spełnienie jest niezbędne do uzyskania zezwolenia na wprowadzenie do obrotu pojazdu kolejowego, do którego nie stosuje się wymagań TSI” zawiera takie same wymagania, jak wymienione powyżej dla pojazdów zgodnych z TSI dla zaburzeń zawartych w prądzie trakcyjnym generowanych przez pojazd trakcyjny do sieci trakcyjnej oraz dla pól elektromagnetycznych generowanych pod pojazdem trakcyjnym.

Badania zgodności taboru kolejowego z systemami detekcji pociągu prowadzone są zgodnie z wymaganiami zawartymi w grupie norm CENELEC serii 50238 [2], [3], [4] i serii 50617 [5], [6].

W kontekście zgodności taboru ze stosowanymi w Polsce obwodami bezzłączowymi i czujnikami koła, pracującymi na częstotliwościach akustycznych, istotny jest parametr reaktancji zestawu kołowego w funkcji częstotliwości, zawarty jako „przypadek szczególny” dla Polski w TSI CCS [22]. Jednocześnie należy zauważyć, że ten przepis TSI CCS powinien być zawarty, a nie jest, w załączniku S02 do Listy Prezesa UTK dotyczącej taboru [19]. Takie rozwiązanie tworzy ryzyko, że przy rozszerzeniu obszaru użytkowania na teren Polski pojazdów dopuszczonych do eksploatacji w innych kolejach europejskich ten parametr nie będzie weryfikowany.

## 9. Badania

Pracownicy Instytutu Kolejnictwa prowadzą badania w zakresie dotyczącym wykazania zgodności taboru kolejowego i systemów wykrywania pociągu. W zakresie istotnym dla certyfikacji oceniana jest konstrukcja pojazdu (istotne dla pętli torowych), geometria pojazdu (istotne dla projektowania podziału torów na odcinki w systemach detekcji pociągu), geometria kół oraz charakterystyki techniczne i zasady stosowania w pojeździe hamulców magnetycznych lub wirowo-prądowych (istotne dla systemów z licznikami osi) oraz czynniki pogarszające jakość elektrycznego styku koła z powierzch-

nią szyny (istotne dla obwodów torowych), a także charakterystyki emisji zaburzeń elektromagnetycznych i elektrycznych oraz charakterystyki zakłóceń wprowadzanych do określonych typów urządzeń srk. Badania te prowadzone według reguł określonych w specyfikacji ERA/ERTMS/033281 [11], w Liście Prezesa UTK [19] oraz pracy Instytutu Kolejnictwa [29] na podstawie dokumentacji projektowej, dokumentacji technicznej pojazdu, wyników przeprowadzonych przez producenta badań oraz odpowiednich protokołów, świadectw i certyfikatów. W zakresie dotyczącym EMC ramach kampanii testowej na poligonie testowym sprawdzane są rzeczywiste parametry pojazdu: impedancji zestawów kołowych, pola elektromagnetycznego emitowanego przez tabor, parametry zaburzeń generowanych w prądzie trakcyjnym oraz prawidłowość pracy urządzeń wykrywania pociągu, na które oddziałuje pojazd pracujący w różnych stanach eksploatacyjnych – na postoju, w czasie rozruchu, hamowania, występowania usterek, pracy wyposażenia pomocniczego itp. Badania prowadzone są zgodnie z odpowiednimi procedurami badawczymi. Na poligonie testowym Okręgu Doświadczalnego w Żmigrodzie wykonywane są pomiary dla pojazdów poruszających się z prędkością do 160 km/h. W przypadkach pojazdów z prędkością maksymalną 200 km/h badania takie prowadzone są na wybranym poligonie testowym na sieci PKP PLK; najczęściej jest to odcinek linii E65 Psary – Góra Włodowska. Przy zastosowaniu specjalnych warunków związanych z bezpieczeństwem prób i przeprowadzeniu odpowiednich kontroli możliwe były realizacje badań pojazdów kolejowych poruszających się z prędkościami powyżej 250 km/h.

Zasadniczo pomiary charakterystyk EMC są wykonywane dla lokomotyw, zespołów trakcyjnych, pojedynczych wagonów lub przetwornic trakcyjnych. W przypadkach występowania zakłóceń określonych składów pociągów również badania w warunkach i miejscu ich normalnej eksploatacji. Zakres badań pojazdu jest odpowiedni dla zastosowanego w pojeździe kolejowym typu/typów napędu.

Zmierzone i zarejestrowane wielkości elektryczne i elektromagnetyczne w czasie badań na poligonie testowym są poddawane odpowiednim analizom, na podstawie których tworzone są różne charakterystyki parametrów pojazdu. Otrzymane wyniki analiz odnoszone są do wymaganych przepisami wartości dopuszczalnych i poddawane ocenie. Warunkiem pozytywnej oceny oddziaływania pojazdu na urządzenia srk jest zgodność jego charakterystyk z właściwymi przedziałami wartości dopuszczalnych. Poniżej w sposób uproszczony przedstawiono metodykę badań oraz przykłady wyników badań wykonanych przez pracowników Instytutu Kolejnictwa różnych pojazdów kolejowych w zakresie: zakłóceń generowanych do sieci trakcyjnej, pól elektromagnetycznych generowanych w torze pod pojazdem kolejowym, impedancji osi i impedan-

cji bocznikowania, oddziaływania na pracę systemów wykrywania pociągu z zastosowanym obwodem torowym i z zastosowanymi czujnikami koła.

## 10. Metodyka prowadzenia badania zakłóceń generowanych do sieci trakcyjnej

Badania zakłóceń generowanych do sieci trakcyjnej przez pojazd trakcyjny dla prędkości do 160 km/h przeprowadza się na Okręgu Doświadczalnym w Żmigrodzie zgodnie ze specjalną procedurą badawczą oraz z zaleceniami zawartymi w normie PN-EN 50238, Technicznej specyfikacji CLC/TS 50238-2, normie PN-EN 50617-1 i załączniku S-02 do Listy Prezesa.

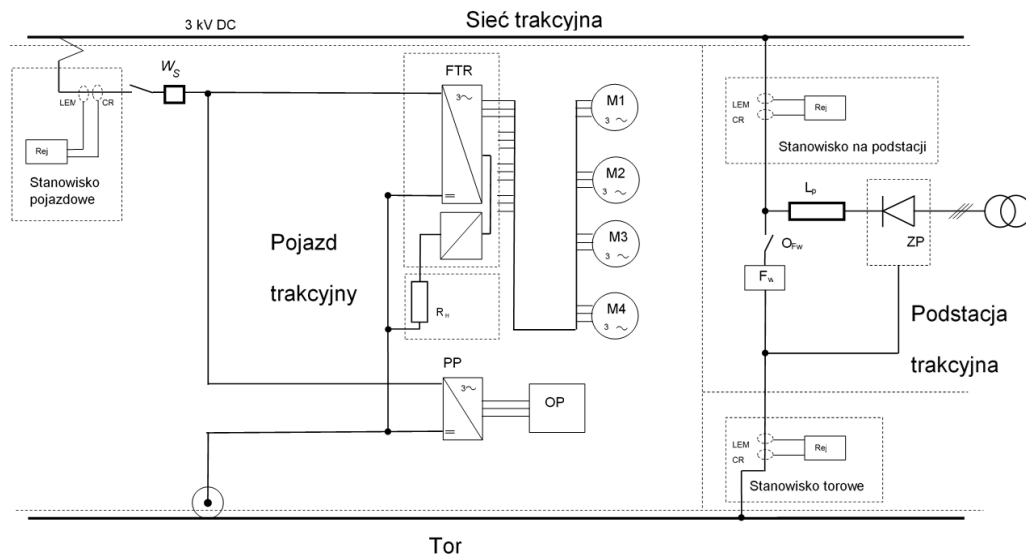
Na poligonie badawczym podstacja trakcyjna z napięciem sieci typu 3 kV DC z dwoma zespołami prostowniczymi, 12-pulsowa, wyposażona jest w system filtrów wygładzających, których zadaniem jest tłumienie podstawowych harmonicznych prądu trakcyjnego. W badaniach uwzględnia się różne konfiguracje układu zasilania podstacji trakcyjnej oraz różne stany eksploatacyjne pojazdu: praca na postoju oraz w czasie jazdy, stan normalny bez symulowanych usterek, symulowane uszkodzenia, rozruchy, hamowanie rekuperacyjne, jazdy z różnymi prędkościami.

Tabela 1. Harmonogram badań zakłóceń generowanych przez pojazd trakcyjny

Lokomotywa w stanie normalnym					
Stan pojazdu / stan podstacji	Rozruch do $V_{max}$	$V_{const} = 40$ km/h	$V_{const} = 80$ km/h	$V_{const} = 120$ km/h	Hamowanie rekuperacyjne
Filtry wyłączone	+	+	+	+	+
Filtry załączone	+	+	+	+	+
Wyłączanie (symulacja awarii) silników trakcyjnych					
Rozruch lokomotywy					
Stan pojazdu / stan podstacji	1 silnik wyłączony	2 silniki wyłączone		3 silniki wyłączone	
Filtry wyłączone	+	+		+	
Filtry załączone	+	+		+	
Na postoju					
Stan pojazdu / stan podstacji	Wszystkie urządzenia pokładowe załączone (pełne obciążenie)	Urządzenia pokładowe wyłącz; min obciążenie		Tło	
Filtry wyłączone	+	+		+	
Filtry załączone	+	+		+	



Badania prowadzone są na podstawie przyjętego harmonogramu. Przykład harmonogramu dla pojazdu trakcyjnego wyposażonego w 4 silniki trakcyjne z prędkością maksymalną 120 km/h przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 1. Przykłady stanowisk pomiarowych do pomiaru harmonicznych w prądzie trakcyjnym

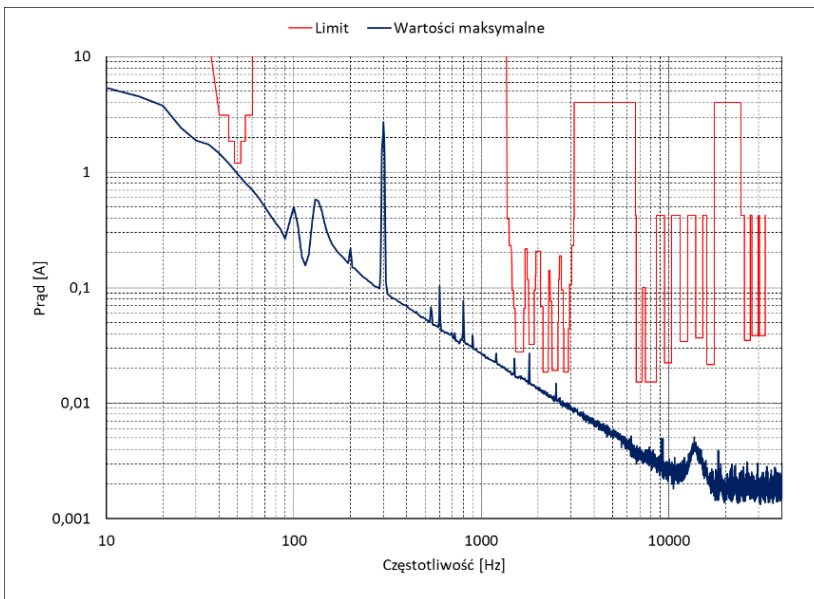
Oznaczenia:

Pojazd trakcyjny	Podstacja trakcyjna	Stanowiska pomiarowe
WS – wyłącznik szybki	ZP – zespół prostowniczy	LEM – przetwornik do pomiaru składowej stałej prądu trakcyjnego
Odb – odbierak prądu	Lp – Indukcyjność podstacji trakcyjnej	CR – przetwornik do pomiaru składowej zmiennej prądu trakcyjnego
FTR – falownik trakcyjny	OFw – odłącznik filtra wygładzającego	Rej – urządzenie rejestrujące
RH – grupa rezystorów hamowania	FW – filtr wygładzający	
M1, ..., M4 – silniki trakcyjne	TR – transformator sieciowy	
PP – przekształtnik dla obwodów pomocniczych		
OP – obwody pomocnicze		

W zależności od potrzeb pomiaru mogą być prowadzone są na stanowisku ruchomym na pojeździe trakcyjnym, na stanowisku stacjonarnym na przewodzie powrotnym do podstacji trakcyjnej lub na podstacji trakcyjnej albo też jednocześnie w kilku miejscach. Przykłady stanowisk pomiarowych do pomiaru harmonicznych w prądzie trakcyjnym pokazano na rys. 1.

Wybór miejsca pomiaru prądu zakłócającego na stanowisku ruchomym zależy od rodzaju taboru:

- w przypadku lokomotyw elektrycznych i elektrycznych zespołów trakcyjnych pomiary są wykonywane jak najbliżej odbieraka prądu. Wyjątkowo pomiar może być wykonany w innym miejscu przewodu głównego, pod warunkiem, że można wykazać teoretycznie lub praktycznie, iż nie będzie znaczącej różnicy w wynikach;
- w przypadku lokomotyw spalinowych pomiary wykonuje się na pomocniczym przewodzie wysokiego napięcia;
- w przypadku wyposażenia wagonu (na przykład przetwornicy statycznej lub urządzenia ładującego akumulatory) wykonywane są również pomiary na pomocniczym przewodzie wysokiego napięcia, w przypadku różnych elementów połączonych równolegle lub na przewodzie zasilającym urządzenie, jeśli zaangażowany jest pojedynczy element.



Rys. 2. Przykład wyników analiz wartości harmonicznych zawartych w prądzie trakcyjnym

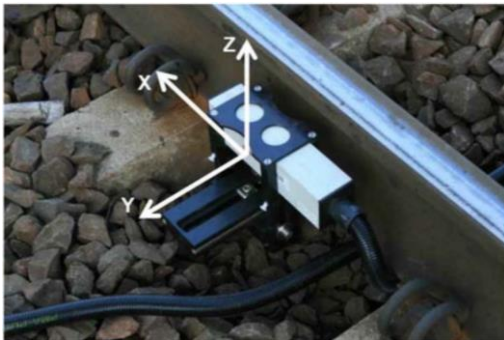
Przetwornikami do pomiaru prądu są przetwornik LEM do pomiaru składowej stałej oraz Cewki Rogowskiego do pomiaru składowej zmiennej w zakresie częstotliwości obwodów torowych eksploatowanych w Polsce. Przetwornik LEM mierzy sygnały w paśmie od 0 Hz do 10 kHz, natomiast cewka Rogowskiego mierzy sygnały w paśmie od 25 Hz do 1 MHz.

Na podstawie zarejestrowanych pomiarów wykonuje się analizę harmonicznego sygnału generowanego do sieci trakcyjnej przez pojazd trakcyjny dla czterech zakresów częstotliwości: 0–1 kHz, 1–3 kHz, 3–20 kHz i 20–40 kHz przy załączonych i wyłączonych filtrach na podstacji trakcyjnej. Wartości dopuszczalne zakłóceń zawarte są w załączniku S-02 do Listy Prezesa UTK. Analiza harmonicznego wykonywana jest w oknie czasowym 200 ms. Nakładanie się sąsiednich próbek poddanych analizie harmonicznego wynosi 80%.

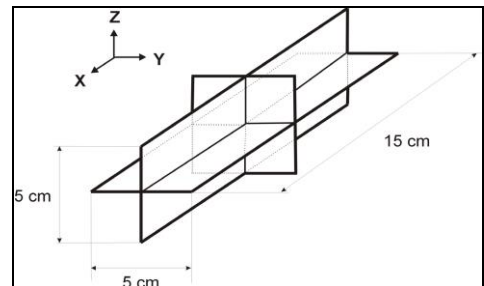
Na rysunku 2 przedstawiono przykład wyników analiz wartości harmonicznego zawartych w prądzie trakcyjnym. Na wykresie kolorem czerwony zaznaczono wartości graniczne określone w załączniku S-02 do listy [19] w tabelach 1–12 i na rys. 1–12. Kolorem granatowym oznaczono rzeczywistą charakterystykę zmierzoną dla badanego pojazdu.

## 11. Metodyka badań natężenia pola magnetycznego generowanego w torze pod pojazdem

Badania natężenia pola magnetycznego generowanego w torze pod pojazdem wykonuje się pod kątem jego wpływu na czujniki koła. W tym celu do obu toków szynowych wewnątrz toru mocuje się odpowiednie anteny pomiarowe w miejscach odpowiadających typowej lokalizacji głowic czujników kół. Stanowisko pomiarowe zbudowane do tego typu pomiarów jest zgodne z wymaganiami specyfikacji technicznej wspomnianej wyżej oraz normą PN EN 50592 [10].



Rys. 3. Widok montażu anteny pomiarowej podczas pomiarów [31]

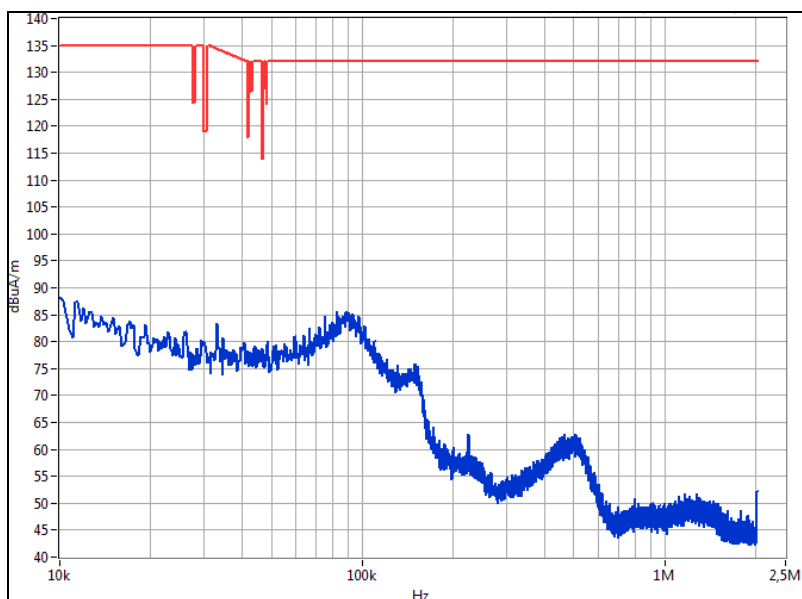


Rys. 4. Wymiary anteny pomiarowej [30]

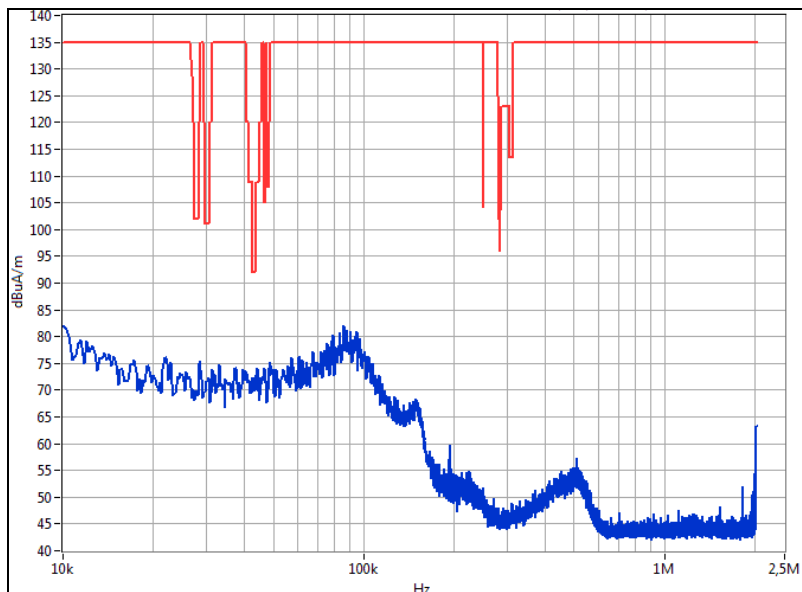
Pomiary przeprowadza się zgodnie z wymaganiami TS 50238-3 niezależnie dla trzech wzajemnie prostopadłych wektorów płaszczyzn – X, Y, Z wyznaczonych przez trzy cewki pomiarowe. Lokalizacje kierunków pomiaru w torze zilustrowano na rys. 3, a układ cewek w antenie pomiarowej przedstawiono na rys. 4.

W skład stanowiska do pomiaru natężenia pola magnetycznego generowanego w torze pod pojazdem wchodzi opisane wyżej dwie anteny pomiarowe typu MFS-3D-100 połączone z modułem dopasowania i kondycjonowania sygnałów anten, trzy dwukanałowe karty oscyloskopowe, okablowanie oraz komputer z oprogramowaniem umożliwiającym rejestrację sygnałów antenowych i ich późniejsze przetwarzanie [32], [35]. Wyniki analiz natężenia pola elektromagnetycznego przedstawione są w postaci charakterystyki częstotliwościowej w zakresie od 10 kHz do 2 MHz [33].

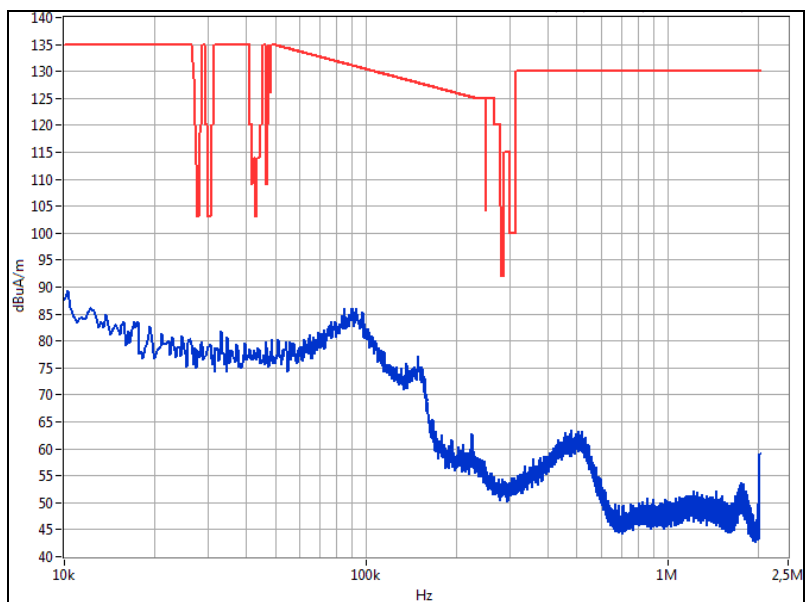
Na rysunkach 5–7 przedstawiono przykłady wyników analiz wartości harmonicznych natężenia pola elektromagnetycznego mierzonego w trzech płaszczyznach – X, Y, Z w torze pod pojazdem. Na wykresie kolorem czerwony zaznaczono wartości graniczne określone w załączniku S-02 do listy [19] w tabelach 13–15 i na rys. 13–15. Kolorem niebieskim oznaczono rzeczywistą charakterystykę zmierzoną dla badanego pojazdu.



Rys. 5. Przykład wyników analiz wartości harmonicznych natężenia pola elektromagnetycznego mierzonego w torze pod pojazdem w płaszczyźnie X



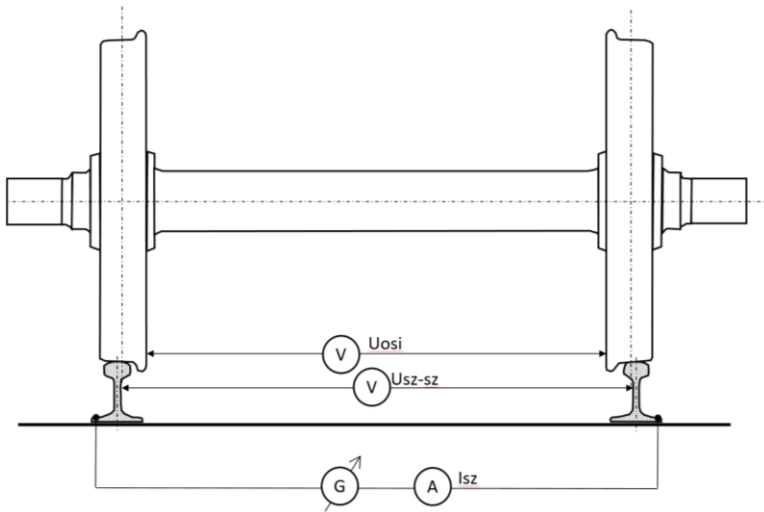
Rys. 6. Przykład wyników analiz wartości harmonicznego natężenia pola elektromagnetycznego mierzonego w torze pod pojazdem w płaszczyźnie Y



Rys. 7. Przykład wyników analiz wartości harmonicznego natężenia pola elektromagnetycznego mierzonego w torze pod pojazdem w płaszczyźnie Z

## 12. Metodyka badań impedancji osi i impedancji bocznikowania

Obwód torowy jest w stanie wykryć tabor tylko wtedy, gdy impedancja mierzona pomiędzy szynami (impedancja bocznikowania  $Z_{sz-sz}$ ) w miejscu styku kołami pojazdu nie przekracza pewnej wartości, określonej przez impedancję przeciwnych kół zestawów kołowych i rezystancję styku na powierzchni koło–szyna. Pomiar impedancji osi i impedancji bocznikowania wykonywane są metodą techniczną. Pomiar rezystancji wykonuje się źródłem napięcia stałego, natomiast pomiar impedancji wymaga zastosowania generatora napięcia zmiennej częstotliwości o niskiej rezystancji wyjściowej, odpornego na zwarcie sygnału i o niskim poziomie zniekształceń sygnału sinusoidalnego. Pomiar wykonuje się w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 40 kHz. Układ pomiarowy przedstawiony jest na rys. 8.



Rys. 8. Układ do pomiaru impedancji osi: G – generator napięcia zmiennej częstotliwości, A – prąd  $I_{sz}$  przepływający przez układ szyna–oś–szyna, V – woltomierz pomiarowy,  $U_{osi}$  – spadek napięcia mierzony na przeciwległych kołach zestawu kołowego,  $U_{sz-sz}$  – spadek napięcia pomiędzy tokami szynowymi mierzony w pobliżu miejsca styku z przeciwległymi kołami zestawu kołowego

Dla każdego zadanego sygnału o określonej częstotliwości obliczana jest wartość impedancji osi i impedancji bocznikowania zgodnie ze wzorami (1) i (2).

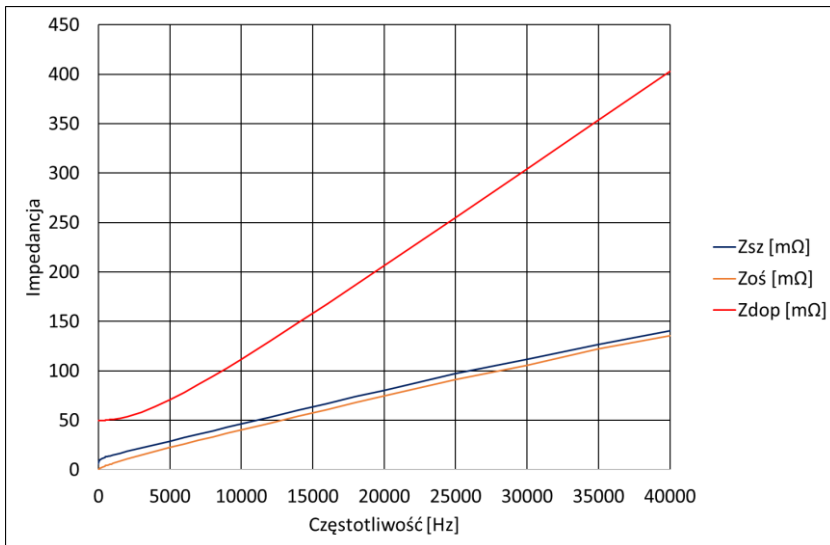
$$Z_{ost} = \frac{U_{ost}}{I_{sz}}, \quad (1)$$

$$Z_{sz-sz} = \frac{U_{sz-sz}}{I_{sz}}. \quad (2)$$

Niestety w przepisach krajowych brak jednoznacznego określenia wartości dopuszczalnych impedancji osi i impedancji bocznikowania. Osobne wymaganie, zawarte w TSI CCO [21] jako obowiązujący w Polsce „przypadek szczególny”, określa graniczną wartość rezystancji pomiędzy powierzchniami tocznymi przeciwnych kół zestawu kołowego na 50 miliomów, a graniczną wartość reaktancji na  $f/100$  miliomów, gdzie  $f$  pochodzi z zakresu od 500 Hz do 40 kHz. Uwzględniając te wartości graniczne oraz zasadę ich geometrycznego sumowania, dopuszczalne wartości impedancji osi i impedancji bocznikowania można opisać wzorem (3).

$$Z_{dop} \leq \sqrt{\left(\frac{f}{100}\right)^2 + (50)^2} \text{ [m}\Omega\text{]}, \quad (3)$$

gdzie  $f$  jest częstotliwością sygnału podaną w hercach.



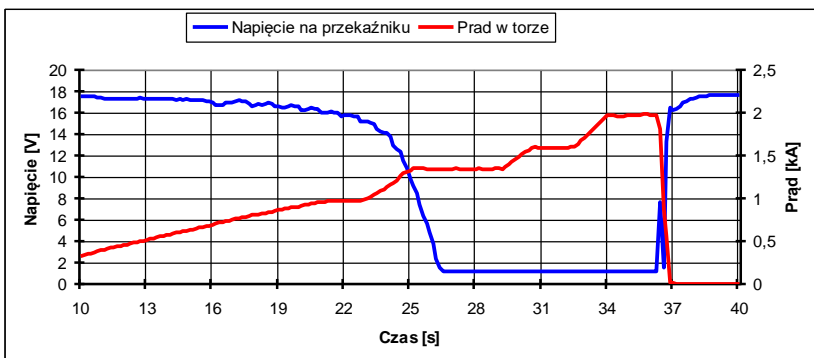
Rys. 9. Przykład wyników pomiarów wartości impedancji osi  $Z_{os}$  i impedancji bocznikowania  $Z_{sz}$  w funkcji częstotliwości

Przykład wyników pomiarów wartości impedancji osi  $Z_{os}$  i impedancji bocznikowania  $Z_{sz}$  w funkcji częstotliwości przedstawiono na rys. 9. Kolorem czerwonym przedstawione są wartości graniczne wynikające z przypadku szczególnego Polska opisanego w TSI CCS [22].

### 13. Metodyka badań oddziaływania zaburzeń generowanych przez pojazd kolejowy na pracę urządzeń srk

Zaburzenia emc generowane przez pojazd trakcyjny mogą zakłócać pracę systemów wykrywania pociągu z zastosowanym obwodem torowym i z zastosowanymi czujnikami koła. Na podstawie analizy zebranych charakterystyk pojazdu kolejowego określa się typy urządzeń srk, których praca może być zakłócona w czasie eksploatacji takiego pojazdu. Działanie takiego urządzenia jest następnie sprawdzane w układzie odwzorowującym jego pracę w rzeczywistym systemie kolejowym w określonych trybach pracy badanego pojazdu kolejowego. W czasie takich badań monitoruje się, rejestruje i ocenia istotne dla pracy takiego urządzenia srk parametry.

Przykładowy wynik rejestracji oddziaływania zaburzeń generowanych przez pojazd kolejowy na pracę obwodu torowego przedstawiono na rysunku 10. W czasie takiego sprawdzenia ocenia się stabilność pracy przekaźnika torowego oraz poprawność rejestrowanych wartości napięcia roboczego przekaźnika torowego stosownie do zastosowanego typu obwodu torowego i jego charakterystyk roboczych w czasie przejazdu pojazdu kolejowego przez odcinek toru kontrolowany przez ten obwód torowy. Za-

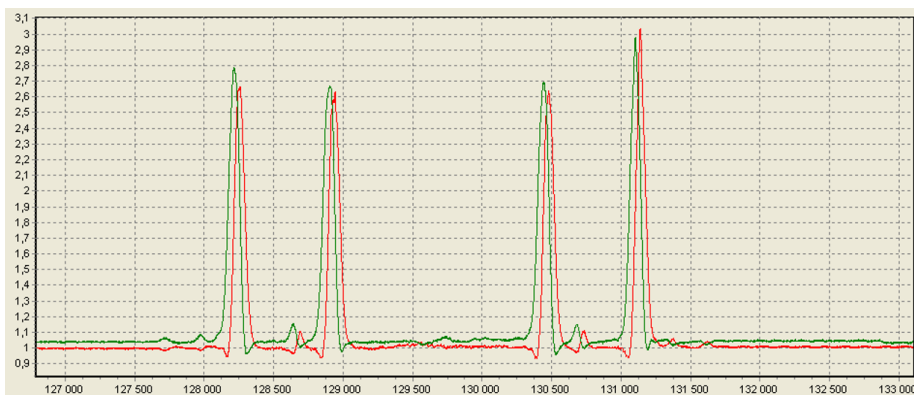


Rys. 10. Przykład wyniku rejestracji oddziaływania pojazdu na pracę obwodu torowego



sadniczo charakterystyki obwodu torowego określone są przez jego częstotliwość roboczą, wielkości nominalne prądów lub napięć sygnałowych, napięcia znamionowe i histerezę napięć wzbudzenia i odwzbudzenia przekaźnika torowego. Na rysunku 10 kolorem czerwonym przedstawiono wartość prądu powrotnego przepływającego przez toki szynowe odcinka toru kontrolowanego przez obwód torowy, a kolorem niebieskim wartość napięcia roboczego przekaźnika torowego.

Przykładowy wynik rejestracji oddziaływania zaburzeń generowanych przez pojazd kolejowy na pracę obwodu wykrywania pociągu z czujnikami koła przedstawiono na rysunku 11. W czasie takiego sprawdzenia ocenia się stabilność sygnału ewaluującego przejazd kół pojazdu kolejowego nad głowicą czujnika koła stosownie do zastosowanego typu urządzenia i jego charakterystyk roboczych. W tym zakresie istotne są charakterystyki czujników kół określone przez wielkości nominalne napięć sygnałów ewaluujących czujnika oraz histerezę sygnałów wykrywających obecność koła w strefie działania głowicy czujnika. Na rysunku 11 kolorami czerwonym i zielonym oznaczono napięcia sygnałów ewaluacyjnych zarejestrowane przez dwa kanały przetwarzania czujnika koła w czasie przejazdu lokomotywy czteroosiowej nad zainstalowaną w torze głowicą tego czujnika.



Rys. 11. Przykład wyniku rejestracji oddziaływania pojazdu na pracę obwodu czujnika koła

## 14. Podsumowanie i wnioski

W czasie badań pojazdów kolejowych wykrywane są zagrożenia wynikające z ich negatywnego oddziaływania na stosowane na sieci PKP PLK systemy wykrywania pociągu. Rozszerzenie obszaru użytkowania pojazdów kolejowych wyposażonych w system

ERTMS/ETCS dopuszczonych do eksploatacji w innym kraju UE o obszar sieci kolejowej w Polsce będzie wymagało wykonania dodatkowych badań w zakresie istotnym do potwierdzenia ich zgodności z systemami wykrywania pociągu. Rozproszenie w wielu dokumentach unijnych i krajowych wymagań dotyczących współpracy pojazdów kolejowych i urządzeń kontroli wykrywania pociągu oraz niejednokrotnie uproszczony sposób ich przedstawienia mogą tworzyć trudności interpretacyjne. W aktualnym systemie prawnym weryfikacją przepisów krajowych w systemie kolei Unii Europejskiej zajmuje się ERA. W tym kontekście ważnym jest poprawne i klarowne ujęcie zagadnień zgodności technicznej pojazdów kolejowych i istniejących systemów wykrywania pociągów w prawie krajowym. Celem niniejszego artykułu jest uporządkowanie i przybliżenie problematyki badania zgodności taboru kolejowego i systemów wykrywania pociągu na podstawie wymagań krajowych w Polsce.

Analiza obowiązujących przepisów prawnych i specyfikacji dotyczących zgodności technicznej pojazdów kolejowych i istniejących systemów detekcji pociągów pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- zmiany wprowadzone w prawodawstwie UE i krajowym, w działalności normalizacyjnej w zakresie dotyczącym zgodności podsystemu Sterowanie–urządzenia przytorowe i innych podsystemów kolejowych należy uwzględniać i stosować w działalności badawczej i certyfikacyjnej;
- jednostki badawcze powinny aktualizować zakresy i metody badań zgodności podsystemu taboru i urządzeniami wykrywania pociągu;
- przepisy krajowe należy uzupełnić w taki sposób, aby dotyczyły wszystkich pojazdów dopuszczane do eksploatacji w Polsce, również tych, dla których przewidziane jest rozszerzenie obszaru użytkowania na teren Polski.

## Literatura

- [1] *Europa 2020. Strategia na rzecz inteligentnego, trwałego wzrostu gospodarczego sprzyjającego włączeniu społecznemu* z dnia 03.03.2010 r.
- [2] PN-EN 50238-1:2020-8. *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność pomiędzy taborem a urządzeniami wykrywania pociągów.*
- [3] CLC/TS 50238-2:2020. *Kompatybilność pomiędzy taborem a urządzeniami wykrywania pociągów. Część 2: Kompatybilność z obwodami torowymi.*
- [4] CLC/TS 50238-3:2019. *Kompatybilność pomiędzy taborem a urządzeniami wykrywania pociągów. Część 2: Kompatybilność z licznikami osi.*
- [5] PN-EN 50617-1:2015. *Zastosowania kolejowe, Techniczne parametry systemów wykrywania pociągu dotyczące interoperacyjności transeuropejskiego systemu kolejowego. Część 1: Obwody torowe.*

- [6] PN-EN 50617-2:2015-12. *Zastosowania kolejowe – Techniczne parametry systemów wykrywania pociągu dotyczące interoperacyjności transeuropejskiego systemu kolejowego. Część 2: Liczniki osi wraz ze zmianą PN-EN 50617-2:2015-12/AC:2016-02.*
- [7] PN-EN 15427+A1:2011. *Kolejnictwo – Tarcie podczas współpracy koła z szyną – Smarowanie obrzeży.*
- [8] PN-EN 50121-4:2017-04/A1:2019-07. *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna. Część 4: Emisja i odporność urządzeń sterowania ruchem kolejowym oraz telekomunikacji.*
- [9] PN-EN 50121-1:2017-06. *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna. Część 1: Postanowienia ogólne.*
- [10] EN 50592:2017-04. *Railway applications – Testing of rolling stock for electromagnetic compatibility with axle counters.*
- [11] ERA/ERTMS/033281. *Interfaces Between Control – Command and Signalling Trackside and other Subsystem, Version 4.0, 20/009/2018 r.*
- [12] Karta UIC 512. *Pojazdy. Warunki wymagane dla działania obwodów torowych i układu styku „koło-szyna”, wyd. 8, 1979.*
- [13] Rail Industry Standard RIS-0725-CCS. Issue: One Date: December 2017. *Electromagnetic Compatibility of Train Detection Infrastructure with Rail Vehicles.*
- [14] Ustawa z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym (z późn. zm.)
- [15] Obwieszczenie Ministra Infrastruktury z dnia 7 października 2020 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie dopuszczania do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych, Dz. U. z dnia 2 listopada 2020 r., poz. 1923.
- [16] Rozporządzenie 720 Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 13 maja 2014 r. w sprawie dopuszczania do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych.
- [17] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 września 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczania do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych.
- [18] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 7 czerwca 2021 r. w sprawie interoperacyjności, Dz. U. z dnia 9 czerwca 2021 r., poz. 1042.
- [19] Lista Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei z dnia 5 listopada 2021 r.
- [20] Lista Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei z dnia 23 grudnia 2021 r.
- [21] Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej.
- [22] Rozporządzenie Komisji (UE) nr 2016/919 z dnia 27 maja 2016 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności w zakresie podsystemów „Sterowanie” systemu kolei w Unii Europejskiej.
- [23] Rozporządzenie Komisji (UE) nr 321/2013 z dnia 13 marca 2013 r. dotyczące technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – wagony towarowe” systemu kolei w Unii Europejskiej i uchylające decyzję 2006/861/WE.
- [24] Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) nr 2019/776 z dnia 16 maja 2019 r.
- [25] Rozporządzenie parlamentu europejskiego i rady (UE) 2016/796 z dnia 11 maja 2016 r. w sprawie Agencji Kolejowej Unii Europejskiej i uchylenia rozporządzenia (WE) nr 881/2004.

- [26] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/797 z dnia 11 maja 2016 r. w sprawie interoperacyjności systemu kolei w Unii Europejskiej.
- [27] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/798 z dnia 11 maja 2016 r. w sprawie bezpieczeństwa kolei.
- [28] Decyzja wykonawcza komisji (UE) 2015/2299 z dnia 17 listopada 2015 r. zmieniająca decyzję 2009/965/WE w odniesieniu do zaktualizowanego wykazu parametrów stosowanych w celu klasyfikacji przepisów krajowych.
- [29] *Określenie dopuszczalnych poziomów i parametrów zakłóceń dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym*, Praca Instytutu Kolejnictwa nr 4430/10, Warszawa, wrzesień 2011 r.
- [30] ADAMSKI D., BIAŁOŃ A., FURMAN J., ZAWADKA Ł., *Wpływ pola magnetycznego generowanego przez pojazdy trakcyjne na urządzenia srk w odniesieniu do obowiązujących standardów. Conference Advanced Rail Technologies*, Józefów 2014.
- [31] BIAŁOŃ A., ADAMSKI D., FURMAN J., *Unified verification method of electromagnetic compatibility between rolling stock and train detection systems*, АВТОМАТИЗОВАНИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТИ, ISSN 2307–3489 (print), ISSN 2307–6666 (on-line).
- [32] ADAMSKI D., BIAŁOŃ A., FURMAN J., ORTEL K., ZAWADKA Ł., *Magnetic fields generated by vehicles in alternating current traction system*, Wydawnictwo PiT, Kraków 2016.
- [33] ADAMSKI D., ORTEL K., FURMAN J., *Studies of Selected Parameters of Electromagnetic Fields Generated by Diesel-Electric Locomotives*, PROBLEMY KOLEJNICTWA RAILWAY REPORTS, Issue 184 (September 2019), ISSN 0552-2145 (print), ISSN 2544-9451 (on-line).
- [34] ALVARENGA T.A., CERQUEIRA A.S., FILHO L.M.A., NOBREGA R.A., HONORIO L.M., VELOSO H., *Identification and Localization of Track Circuit False Occupancy Failures Based on Frequency Domain Reflectometry*, Sensors, 2020, 20, 7259, doi: 10.3390/s20247259.
- [35] ADAMSKI D., ORTEL K., FURMAN J., *Research on measurement of electromagnetic fields generated by electric and combustion powered rolling stock*, MATEC Web of Conferences 294, 03016 (2019) EOT-2019, doi.org/10.1051/mateconf/201929403016

# Diagnostyka infrastrukturalnej części systemu ETCS L1 na przykładzie kodera LEU

## Diagnostics of the infrastructural part of the ETCS L1 system on the example of the LEU coder

ANDRZEJ TORUŃ<sup>1</sup>, DOBROMIR JASIŃSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instytut Kolejnictwa, Józefa Chłopickiego 50, 04-275, Warszawa, atorun@ikolej.pl

<sup>2</sup> Rail-Mil sp. z o. o. Wał Miedzeszyński 628, 03-994, Warszawa, dobromir.jasinski@rail-mil.eu

**Abstrakt:** W systemach sterowania ruchem kolejowym kluczowym elementem jest utrzymanie płynności ruchu. Aby to zrealizować, niezbędne jest utrzymanie urządzeń w sprawności oraz możliwie szybkie wykrywanie i usuwanie przydarzających się usterek. Do osiągnięcia tego celu potrzebna jest diagnostyka systemów działająca w czasie rzeczywistym.

Do artykułu został wybrany koder LEU (ang. Lineside Electronic Unit) jako krytyczny element łączący system zależnościowy z systemem ETCS (ang. European Train Control System). Bez dodatkowej diagnostyki wykrycie usterki w LEU lub Eurobalisie przełączalnej odbywa się najczęściej przez przejechanie nad nią pociągu wyposażonego w pokładowe urządzenia ETCS, które pod wpływem niepoprawnego telegramu wymuszają niepotrzebne hamowanie awaryjne.

Klasyczna realizacja kodera LEU funkcjonuje w architekturze rozproszonej, a specyfikacje systemu – sub-sety – nie definiują systemu diagnostyki lokalnej ani centralnej. Także każdy z producentów wdraża wymagany przez siebie poziom diagnostyki i dostęp do niej. W przypadku architektury rozproszonej połączenie z systemem zależnościowym ogranicza się do interfejsu „S”, czyli najczęściej do odczytu stanu światła sygnalizatora. Do zapewnienia diagnostyki w czasie rzeczywistym potrzebne są zewnętrzne urządzenia. W tym zakresie system o architekturze scentralizowanej ma przewagę, ponieważ całość danych z założenia dostępna jest w jednym punkcie i mamy łatwość gromadzenia danych bez budowy specjalistycznych modułów diagnostycznych.

Celem referatu jest porównanie systemu diagnostyki między klasyczną a scentralizowaną realizacją kodera LEU oraz wykazanie, że zapewnienie diagnostyki w czasie rzeczywistym wpływa pozytywnie na płynność ruchu.

**Abstract:** For rail traffic control systems, the key element is to keep traffic flowing smoothly. To achieve this, it is essential to keep equipment in working order and to detect and rectify any faults that occur as quickly as possible. To achieve this, real-time system diagnostics is needed.

For this article, the LEU (Lineside Electronic Unit) encoder was selected as a critical link between the Interlocking and the ETCS (European Train Control System). Without additional diagnostics, the detection of a fault in the LEU or switchable Eurobalise is most often done by passing over it a train equipped with on-board ETCS equipment, which, under the influence of an incorrect telegram, will force unnecessary emergency braking.

The classical implementation of the LEU encoder operates in a distributed architecture, and the system specifications – subsets – do not define a local or central diagnostic system. Also, each manufacturer implements the level of diagnostics and access it requires. In the case of a distributed architecture, the connection to the dependency system is limited to the “S” interface, which is most often the reading of the status of the traffic signal lights. To provide real-time diagnostics, external devices are needed. In this regard, the system with a centralized architecture has an advantage because all the data, by design, is available at a single point, and we have the ease of collecting data without building specialized diagnostic modules.

The purpose of the paper is to compare the diagnostic system between the classical and centralized implementation of the LEU encoder, and to show that the provision of real-time diagnostics has a positive effect on traffic flow.

## 1. Wprowadzenie

Płynność ruchu pociągów jest uzależniona od niezawodnego działania systemów sterowania ruchem kolejowym. Usterka któregośkolwiek elementu systemu srk może spowodować niepotrzebne zatrzymywanie pociągów lub konieczność prowadzenia ruchu na sygnały zastępcze i z ograniczoną prędkością. Takie sytuacje nie wpływają pozytywnie na przepustowość oraz punktualność przewozów. Jest to tym bardziej istotne dla systemu ERTMS/ETCS (ang. European Railway Traffic Management System / European Train Control System). Ruch prowadzony na podstawie tego systemu często jest na liniach dużych prędkości, gdzie każde zatrzymanie pociągu skutkowałoby hamowaniem z 200, a nawet 300 km/h do 0 km/h, gdzie straty energii oraz zużycie hamulców są ogromne, dlatego warto podjąć kroki, aby minimalizować tego typu przypadki.

Przyczyny nieuzasadnionego hamowania pociągów są przedmiotem badań do dnia dzisiejszego. Na przykład w artykule [1] autor przedstawia badania, jak wzajemne oddziaływanie na siebie systemów ETCS oraz GSM-R jako systemów czasu rzeczywistego może spowodować nieuzasadnione hamowanie pociągów.

Uzyskanie tego efektu jest możliwe przez zastosowanie systemu diagnostyki w czasie rzeczywistym, informującym dyżurnego ruchu o występujących usterkach, tak aby monter mógł dokonać naprawy zanim zostanie wyhamowany nadjeżdżający pociąg.

Ogólny sposób przeprowadzania czynności diagnostycznych, m.in. systemu LEU na sieci PKP PLK, został opisany w instrukcji Ie-7 [2].

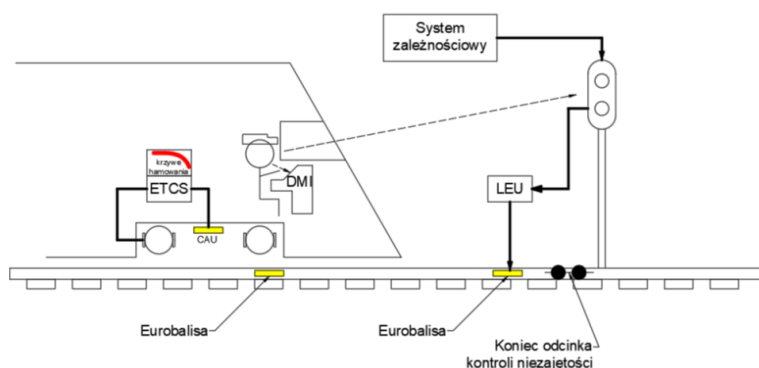
W rozprawie doktorskiej [3] zostały wyszczególnione dwa sposoby kontroli diagnostycznej urządzeń – kontrola okresowa oraz ciągła kontrola funkcjonowania urządzeń, czyli monitorowanie. Kontrola okresowa odbywa się według harmonogramu i może odbywać się na dwa sposoby. Może to być kontrola jakościowa, określająca stan urządzenia na podstawie oględzin i sprawdzenia stanu mocowania lub ilościowa polegająca na konkretnych pomiarach, np. prądów i napięć. Do przeprowadzenia kontroli okresowej konieczne jest wyłączenie badanego urządzenia, co z kolei powoduje zmniejszenie jego dostępności i może zakłócić ruch.

W artykule [4] Autor podkreśla znaczenie diagnostyki dla bezusterkowego działania urządzenia oraz potrzebę instalowania diagnostyki zdalnej, która monitorowałaby stan urządzeń srk w trybie ciągłym.

Podjęta przez Urząd Transportu Kolejowego z Prezesem dr. inż. Ignacym Górą na czele wdrożenia systemu ETCS L1 LS (*ang. Limited Supervision*) w skali całego kraju [5], [6] może spowodować nagły wzrost liczby eksploatowanych urządzeń ETCS na polskiej sieci kolejowej. Przy tak dużej skali projektu posiadanie dobrego systemu diagnostyki może pomóc w utrzymaniu urządzeń w sprawności i zapewnić ciągłość ruchu.

## 2. Umieszczenie kodera LEU w systemie ETCS L1

System ETCS L1 składa się z dwóch głównych elementów. Są to Eurobalisy, które bezpośrednio odpowiadają za przesłanie informacji o sytuacji ruchowej do przejeżdżającego pociągu. Dzieli się one na dwa typy, Eurobalisy nieprzełączalne przesyłające stałe telegramy, niezmiennie w czasie, oraz Eurobalisy przełączalne przesyłające telegramy zależne od sytuacji ruchowej.

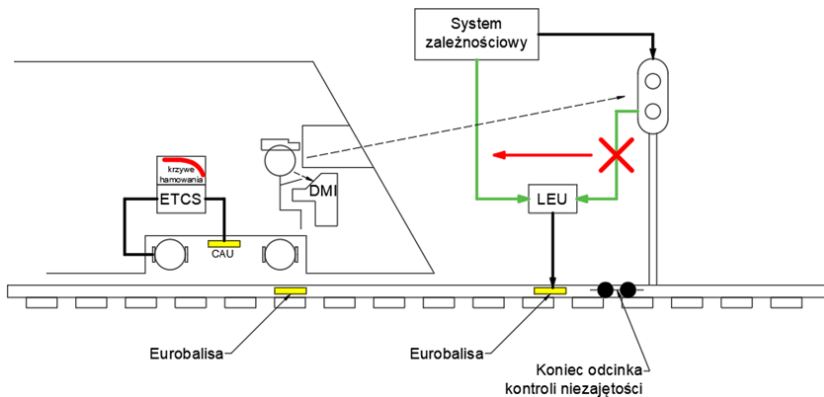


Rys. 1. Umieszczenie kodera LEU w systemie ETCS L1 (rys. własny na podstawie [7])

Drugim elementem systemu jest koder LEU. Pośredniczy on w wymianie informacji między systemem zależnościowym a podłączoną do niego Eurobalisą przełączalną. Logicznie tłumaczy stan systemu zależnościowego na telegram przesłany bezpośrednio do Eurobalisy. W Eurobalisie nie zachodzi już żadne jego przetwarzanie, jest wprost przekazywany do pociągu.

### 3. Porównanie zasady działania w zależności od sposobu realizacji kodera

Zasadniczą różnicą między koderem LEU w architekturze rozproszonej a kodem w architekturze scentralizowanej jest sposób pozyskiwania danych o stanie systemu zależnościowego. W klasycznym rozwiązaniu całość informacji pozyskiwana jest z elementów wykonawczych systemu zależnościowego. Najczęściej są to semafony, ale mogą to być też np. zwrotnice. Tym samym koder nie potrzebuje bezpośredniego połączenia z systemem zależnościowym, co jest jego dużą zaletą, ponieważ omija potrzebę opracowywania interfejsów między systemami. Jednakże taka realizacja opiera się na bardzo ograniczonej ilości informacji, którymi są najczęściej stany świateł sygnalizatora.



Rys. 2. Przedstawienie różnicy w źródle informacji kodera LEU w architekturze scentralizowanej w odróżnieniu od klasycznej

System oparty jest w zasadzie na tych samych danych co maszynista, jednak w przypadku prowadzenia ruchu przez maszynistę jest potrzebny inny poziom informacji niż dla systemu ATP, który ma właśnie zabezpieczyć ruch przed jego pomyłkami. Przykładem sytuacji, w której system ma za mało informacji jest przypadek, gdy jest kilka



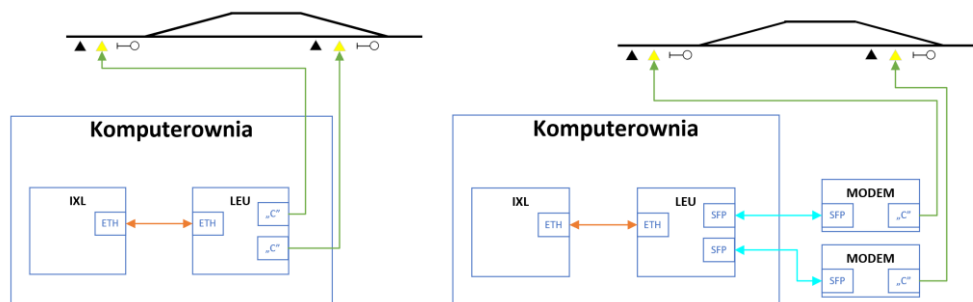
dróg przebiegu o tym samym obrazie sygnalizatora. W takim przypadku koder LEU nie ma jak się dowiedzieć, na jaką odległość dać zezwolenie na jazdę. Konieczne jest wtedy zastosowanie dodatkowych telegramów repozycji umieszczonych w dodatkowych grupach Eurobalis lub jako dodatkowe pakiety w Eurobalisach dla przeciwnego kierunku.

W architekturze rozproszonej najczęściej każdy koder LEU jest instalowany w szafkach przytorowych znajdujących się niedaleko obsługiwanego semafora i Eurobalisy przełączalnej. Zdarza się, że przy małych stacjach kodery są instalowane centralnie, w budynku nastawni, jednak ze względu na sposób działania, czyli brak podłączenia do systemu zależnościowego, nadal w tym artykule będzie przyjmowana jako architektura rozproszona.

System scentralizowanego LEU od strony połączenia z Eurobalisą może wyglądać tak samo lub wykorzystywać dodatkowe elementy pośredniczące, mające na celu wydłużyć zasięg przesyłanego telegramu. Takie elementy się stosuje w przypadku, gdy zasięg oddziaływania wbudowanego interfejsu do Eurobalisy jest za krótki.

Za to od strony współpracy z systemem zależnościowym różnica jest zasadnicza, gdyż w tym przypadku koder jest bezpośrednio z nim podłączony. Wymaga to wypracowanego interfejsu wymiany danych między systemem zależnościowym a LEU, ale dzięki temu możliwe jest przesyłanie znacznie większej ilości danych. Taki sposób podłączenia pozwala na uzależnienie nadawanego telegramu od ustawionego przebiegu zamiast od kombinacji świateł sygnalizatora, co umożliwi lepsze dopasowanie nadawanego telegramu do sytuacji ruchowej.

Charakterystyką tego typu rozwiązania jest konieczność powiązania między systemem LEU a systemem zależnościowym. Każde powiązanie między systemami różnych producentów zajmuje dodatkowy czas i stanowi dodatkowy koszt.



Rys. 3. Umieszczenie kodera LEU w systemie ETCS L1 w przykładowej architekturze scentralizowanej. Dwa przykłady realizacji takiego systemu (opracowanie własne)

## 4. Diagnostyka LEU w architekturze rozproszonej

System kodera LEU w klasycznej, rozproszonej architekturze często posiada własną diagnostykę. Jednakże jest ona dostępna okresowo, w momencie podłączenia się do urządzenia przez specjalistyczny sprzęt obsługujący protokół wymiany danych producenta. Bez zastosowanych dodatkowych urządzeń aby uzyskać z niej informacje, trzeba się fizycznie znaleźć przy urządzeniu i podłączyć do niego komputer diagnostyczny. Dlatego najczęściej o usterce Eurobalisy lub kodera LEU poinformuje przejeżdżający pociąg, który się niepotrzebnie zatrzyma awaryjnie.

Ograniczeniem występującym w diagnostyce wbudowanej w system jest ograniczona pamięć na wydarzenia historyczne. To powoduje, że przy projektowaniu producent raczej będzie ograniczał ich liczbę, aby pamięci wystarczyło na dłużej lub będą zawierały więcej informacji, ale będą przedstawiały krótszy okres. Rozwiązaniem może być instalacja dodatkowego rejestratora, jednak jest to dodatkowy element systemu, który podnosi koszty.

## 5. Diagnostyka LEU w architekturze scentralizowanej

LEU w architekturze scentralizowanej jest bezpośrednio podłączone do systemu zależnościowego i jego budowa jest scentralizowana, dzięki czemu wszelkie dane diagnostyczne kodera mogą być bez problemu przesłane i odebrane w czasie rzeczywistym do serwera, a następnie do dyżurnego ruchu. Umożliwia to zareagowanie zanim uszkodzenie spowoduje niepożądane hamowanie pociągu.

Wizualizacja diagnostyki może być zrealizowana na stałe na komputerze stacjonarnym w pomieszczeniu dyżurnego ruchu lub w centrum utrzymania i diagnostyki CUiD.

Centralizacja pozwala na użycie wspólnego serwera zbierającego dane diagnostyczne dla wszystkich urządzeń wykonawczych, dzięki czemu możliwy jest dowolny czas przechowywania informacji diagnostycznych.

## 6. Uniwersalna diagnostyka LEU

Działanie kodera LEU od strony funkcjonalnej do Eurobalisy zostało zdefiniowane w subset 036 [8], co pozwala na współpracę między sobą koderów oraz Eurobalis nie-

zależnych producentów. Jednak interfejs do systemu zależnościowego, zwany interfejsem „S”, nie jest wyspecyfikowany. Klasyczny koder LEU najczęściej połączony jest z systemem zależnościowym poprzez sygnalizatory. Brak tej standaryzacji powoduje, że nie da się zaprojektować uniwersalnego systemu diagnostyki, który by obejmował całość działania koderu LEU. Jednak możliwe jest uzyskanie uniwersalnego systemu diagnostyki jedynie dla interfejsu „C”, znajdującego się między LEU a Eurobalisą. Ten poziom diagnostyki co prawda nie sprecyzuje przyczyny usterki, jednak umożliwi wykrycie problemu na interfejsie wyjściowym do Eurobalisy.

Do uzyskania pełnej diagnostyki zewnętrznego systemu niezbędne jest uzgodnienie między producentami interfejsu wymiany danych między urządzeniem diagnostyki a koderem LEU. Rozwiązanie to wymaga jednak każdorazowego wypracowania interfejsu z każdym producentem, co jest dodatkowym kosztem inwestycji oraz wymaga czasu.

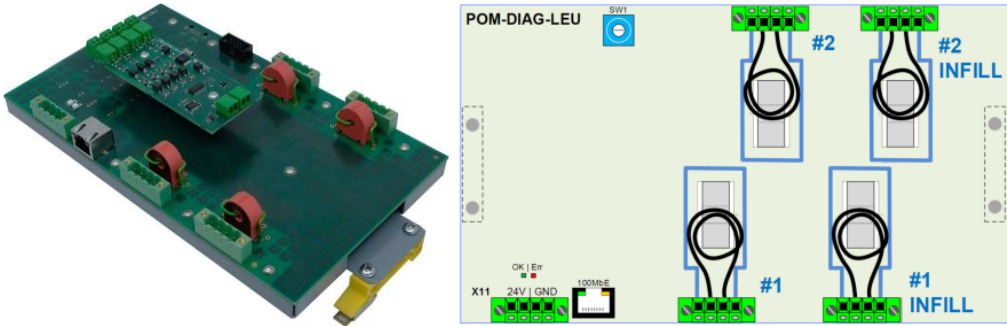
Rozwiązaniem tego problemu byłaby standaryzacja interfejsu do diagnostyki. Taka standaryzacja mogłaby być zdefiniowana i narzucona na etapie przetargu przez zarządcę infrastruktury.

Obecnie istnieje wiele inicjatyw definiujących dużą część popularnych interfejsów, takich jak na przykład między RBC a systemem zależnościowym w inicjatywie EULYNX [9], zwany SCI-RBC, lub interfejs między systemem zależnościowym a blokadą liniową zaproponowany w inicjatywie BRIK [10].

## 7. Uniwersalna diagnostyka LEU – przykład systemu

Przykładem systemu diagnostycznego stanowiącego zewnętrzne urządzenia dla koderu LEU jest system diagnostyki zdalnej LEU firmy Rail-Mil, zastosowane na LK226. Składa się on z dwóch płyt zbierających dane od LEU oraz centralnego komputera diagnostycznego mieszczącego się w CUiD (Centrum Utrzymania i Diagnostyki). System posiada zarówno funkcjonalność badania interfejsu C (lecz w ograniczonym zakresie) jak i zbiera od urzędnika dane diagnostyczne i przesyła je do centralnej diagnostyki.

Za diagnostykę interfejsu „C” odpowiada moduł POM-DIAG-LEU, który w sposób niezakłócający pracy urządzenia mierzy parametry tego interfejsu, jest w stanie wykryć zwarcie na kablu prowadzącym do Eurobalisy, jej brak oraz brak sygnału od LEU. Dodatkową funkcjonalnością jest pomiar temperatury w szafie sterowniczej. Swoje dane diagnostyczne przesyła do modułu POM-DIAG-ETH/RS.



Rys. 4. Widok płyty POM-DIAG-LEU systemu diagnostycznego LEU

Moduł POM-DIAG-ETH/RS odpowiada za zbieranie informacji diagnostycznych przekazywanych przez koder LEU oraz moduł POM-DIAG-LEU i przekazywanie ich do komputera centralnego w CUiD. Pobieranie informacji diagnostycznych z LEU odbywa się jednokierunkowo, co zapewnia brak wpływu modułu diagnostycznego na LEU. Sam system diagnostyki jest uniwersalny, jednak protokół wymiany danych między urządzeniem diagnostycznym a LEU wymaga każdorazowo indywidualnego ustalenia dla każdego typu urządzenia. Daje to potencjalny obszar do standaryzacji. Moduł wyposażony jest również w wyjście przekątnikowe, dzięki któremu możliwy jest zdalny reset kodera.



Rys. 5. Widok płyty POM-DIAG-ETH/RS systemu diagnostycznego LEU

## 7. Podsumowanie

Kodery LEU systemu ERTMS/ETCS poziomu pierwszego nie mają zdefiniowanego systemu diagnostyki na poziomie specyfikacji, dlatego to od producenta zależy, czy dane

urządzenie będzie je miało oraz w jaki sposób zostanie zrealizowane. Standardowo w większości przypadków urządzenia są wyposażone w system diagnostyki dostępnej lokalnie, wymagającej specjalnego sprzętu i/lub oprogramowania do jej odczytania. Dla kodera zrealizowanego w architekturze scentralizowanej możliwe jest wykonanie diagnostyki dostępnej w pomieszczeniu dyżurnego ruchu na bieżąco, dzięki czemu wiadomość o usterce dyżurny otrzymuje w czasie rzeczywistym, co daje możliwość szybkiego zareagowania. Dla systemu o architekturze rozproszonej, gdzie nie ma żadnego bezpośredniego połączenia do nastawni, najprawdopodobniej informacja o usterce kodera lub Eurobalisy zostanie dostarczona przez przejeżdżający pociąg, który wyhamuje awaryjnie. Można tego uniknąć, stosując dodatkowe urządzenia diagnostyczne. Standaryzacja interfejsu diagnostycznego do kodera mogłaby spowodować pojawienie się większej liczby uniwersalnych rozwiązań tego typu na rynku.

## Literatura

- [1] SUMIŁA M., *Disturbance of trains movement under the ERTMS control system*, Journal of Civil Engineering and Transport, 2023, Vol. 5, No. 2, pp. 49–60.
- [2] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., *Ie-7 Instrukcja diagnostyki technicznej i kontroli okresowych urządzeń sterowania ruchem kolejowym*, Warszawa 2017.
- [3] DRÓZD P., *Metoda generowania testów funkcjonalnych urządzeń sterowania ruchem*, 2022.
- [4] KORNASZEWSKI M., *Diagnostyka liniowych urządzeń sterowania ruchem kolejowym*, Autobusy, 2018, nr 12, s. 101–105.
- [5] GÓRA I., SIECZKOWSKI P., *ETCS Limited Supervision sposobem na poprawę bezpieczeństwa systemu kolejowego*, UTK, 09.04.2021. [Online]. Available: <https://utk.gov.pl/pl/aktualnosci/17141,ETCS-Limited-Supervision-sposobem-na-poprawe-bezpieczenstwa-systemu-kolejowego.html> [dostęp: 12.12.2023].
- [6] KOCHAN A., ILCZUK P., KOPER-OLECKA E., KAROLAK J., WÓJCIK M., ZHYHALOV D., POGORZELSKA A., KRYCA B., GIŻYŃSKA O., *Ekspertyza możliwości eksploatacyjno-technicznych wdrożenia w Polsce ETCS poziom 1 LS na liniach kolejowych nieprzewidzianych do wyposażenia w pełną wersję ETCS poziomu 1 lub 2 w obecnym krajowym planie wdrażania TSI Sterowanie*, 2020.
- [7] UNISIG, SUBSET-026. System Requirements Specification 3.6.0, 2016.
- [8] UNISIG, SUBSET-036. FFFIS for Eurobalise 3.1.0, 2015.
- [9] EULYNX Initiative, Interface specification SCI-RBC, Baseline 4 release 1, 2022.
- [10] WONTORSKI P.I., DZIERŻAK M., *Cyfrowe standardowe interfejsy w systemach sterowania ruchem kolejowym*, WUT Journal of Transportation Engineering, 2021, nr 131, s. 17–29.



# Wpływ uszkodzeń i stanu technicznego pojazdów szynowych na bezpieczeństwo transportu kolejowego w Polsce

## The Impact of Damage and Technical Condition of Railway Vehicles on Railway Transport Safety in Poland

PAWEŁ BIEL

Politechnika Krakowska, Szkoła Doktorska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Polska

**Abstrakt:** Pojazdy kolejowe stanowią integralny składnik systemu kolei, w związku z czym ich awarie mogą prowadzić do zdarzeń niebezpiecznych w kontekście bezpieczeństwa całego systemu kolei w Polsce. Na potrzeby artykułu dokonano analizy zdarzeń kolejowych w Polsce w latach 2015–2020 na podstawie danych publikowanych przez Państwową Komisję Badania Wypadków Kolejowych (PKBWK) i Urząd Transportu Kolejowego (UTK). Analizie statystycznej poddano zdarzenia z podziałem na „poważne wypadki”, „wypadki” i „incydenty”, których definicje i kategoryzację przedstawiono w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 16 marca 2016 r. w sprawie poważnych wypadków, wypadków i incydentów w transporcie kolejowym. W ramach każdej z grup zdarzeń wyodrębniono najczęściej występujące kategorie przyczyn zdarzeń bezpośrednich, a następnie wyodrębniono te, których przyczyna bezpośrednia miała swoje źródło w złym stanie technicznym lub awarii pojazdów szynowych, a następnie poddano wnioskowaniu w zakresie wpływu zdarzeń powiązanych ze stanem technicznym taboru kolejowego na bezpieczeństwo transportu kolejowego w Polsce. Z przeprowadzonej analizy wynika, że stan techniczny taboru kolejowego ma istotny wpływ na bezpieczeństwo transportu kolejowego, natomiast ze względu na fakt, że analizowane zdarzenia nie prowadziły do poważnych wypadków, wpływ ten nie jest krytyczny.

**Abstract:** Railway vehicles are an integral part of the railway system. Therefore their failures may lead to dangerous events in the context of the safety of the entire railway system in Poland. For the purposes of the article, an analysis of railway incidents in Poland was carried out from 2015 to 2020, based on data published by the State Commission for the Investigation of Railway Accidents (PKBWK) and the Office of Rail Transport (UTK). The statistical analysis included events divided into “serious accidents”, “accidents” and “incidents”, the definitions and categorisation of which are presented in the Regulation of the

Minister of Infrastructure and Construction of 16 March 2016 on serious accidents, accidents and incidents in rail transport. Within each of the groups of events, the most common categories of causes of direct events were distinguished, and then events whose direct cause had their origin in the poor technical condition or failure of rail vehicles were distinguished. The analyses conducted show that the technical condition of rolling stock has a significant impact on the safety of rail transport, but due to the fact that the analysed events did not lead to serious accidents, this impact is not critical.

## 1. Wprowadzenie

Transport kolejowy w Unii Europejskiej jest jednym z najbezpieczniejszych środków transportu. Najpopularniejszym wskaźnikiem wykorzystywanym do określania poziomu bezpieczeństwa środków transportu jest wskaźnik śmiertelności wśród pasażerów, wyrażony w zestawieniu z pracą przewozową, tj. ilością przejechanych kilometrów. Z analizy raportu dotyczącego bezpieczeństwa i interoperacyjności kolei Unii Europejskiej, opracowanego przez Europejską Agencję Kolejową (ERA) wynika, że wskaźnik śmiertelności dla transportu lotniczego i transportu kolejowego jest identyczny i wynosi 0,058 miliarda pasażero-kilometrów (dane za lata 2015–2019), co czyni te środki transportu najbezpieczniejszymi spośród poddanych analizie. Na kolejnym miejscu plasuje się transport autobusami/busami, a wskaźnik śmiertelności jest ponadtrzykrotnie wyższy niż dla transportu kolejowego/lotniczego. Najwyższa śmiertelność występuje w odniesieniu do transportu samochodowego, ze wskaźnikiem śmiertelności na poziomie 2,538 miliarda pasażero-kilometrów, a więc ryzyko wystąpienia ofiary śmiertelnej dla tego środka transportu jest ponad 43 razy wyższe niż w przypadku transportu kolejowego lub lotniczego. Wskaźnik śmiertelności wśród pasażerów transportu kolejowego w Polsce jest ponaddwukrotnie wyższy niż średnia unijna (EU-27), a jego uśredniona wartość za lata 2010–2020 wynosiła 0,24 miliarda pasażerokilometrów<sup>1</sup>.

Dane statystyczne publikowane przez Agencję Kolejową UE nie pozwalają na ocenę, jaki wpływ na bezpieczeństwo transportu kolejowego mają zdarzenia, których źródła techniczne znajdują się po stronie taboru kolejowego, a nie po stronie infrastruktury, zaniedbań obsługi pojazdów itp., dlatego na potrzeby niniejszego artykułu dokonano szczegółowej analizy danych statystycznych publikowanych przez Państwową Komisję Badania Wypadków Kolejowych. Komisje powypadkowe w Polsce mają obowiązek dokonania właściwej kwalifikacji zdarzenia kolejowego i przypisania odpowiedzialnej

---

<sup>1</sup> Agencja Kolejowa UE, *Report on railway safety and interoperability in the EU*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022.



kategorii (poważny wypadek, wypadek, incydent), z uwzględnieniem właściwej kwalifikacji przyczyny bezpośredniej zdarzenia. Dla zdarzeń kategoryzowanych jako poważne wypadki skupiono się na analizie ilościowej zdarzeń kategorii A10 i A11, B10 i B11 oraz C53 i C54, a więc takich, gdzie przyczynę bezpośrednią można przypisać do stanu technicznego pojazdu kolejowego biorącego udział w zdarzeniu.

Opis przyczyn bezpośrednich zdarzeń kolejowych wskazanych poniżej został zaczerpnięty z Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Budownictwa, z dnia 16 marca 2016 r. w sprawie poważnych wypadków, wypadków i incydentów w transporcie kolejowym. Poważne wypadki kategorii A10 oraz wypadki kategorii B10 to zdarzenia kolejowe, dla których jako bezpośrednią przyczynę zidentyfikowano uszkodzenie lub zły stan techniczny pojazdu kolejowego z napędem, pojazdu kolejowego specjalnego przeznaczenia (w tym również najechanie na przedmiot stanowiący część konstrukcyjną pojazdu kolejowego z napędem, pojazdu kolejowego specjalnego przeznaczenia) oraz uszkodzenie lub nieprawidłowe działanie części pokładowej urządzeń umożliwiających kontrolę prowadzenia pojazdu kolejowego (ERTMS). Z kolei poważne wypadki kategorii A11 oraz wypadki kategorii B11 to zdarzenia kolejowe, dla których jako bezpośrednią przyczynę zidentyfikowano uszkodzenie lub zły stan techniczny wagonu (w tym także najechanie na część konstrukcyjną wagonu). W przypadku incydentów kategoria C53 powiązana jest ze zdarzeniami, gdzie za przyczynę bezpośrednią uznano uszkodzenie lub zły stan techniczny pojazdu kolejowego z napędem, pojazdu kolejowego specjalnego przeznaczenia powodujące konieczność jego wyłączenia z ruchu na skutek wskazań przez urządzenia detekcji stanu awaryjnego taboru, potwierdzonych w warunkach warsztatowych (gorące maźnice, gorący hamulec skutkujący przesuniętą obręczą), a także innych usterek w pojazdach kolejowych będących w ruchu zauważonych przez personel obsługi (np. pęknięty resor). Incydenty kategorii C54 powiązane są natomiast z uszkodzeniem lub złym stanem technicznym wagonu powodującym konieczność jego wyłączenia z ruchu na skutek wskazań przez urządzenia detekcji stanu awaryjnego taboru, potwierdzonych w warunkach warsztatowych (gorące maźnice, gorący hamulec skutkujący przesuniętą obręczą), a także innych usterek w pojazdach kolejowych będących w ruchu zauważonych przez personel obsługi<sup>2</sup>.

Podział na główne kategorie zdarzeń kolejowych jest uzależniony od skutków zdarzenia kolejowego. Zgodnie z definicjami wskazanymi w Ustawie o transporcie kolejowym za poważny wypadek należy uznać zdarzenie z co najmniej 1 ofiarą śmiertelną

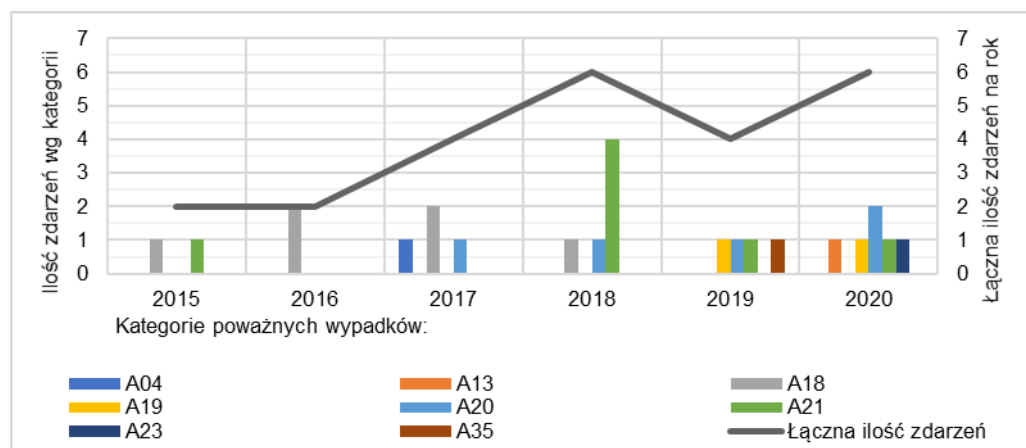
---

<sup>2</sup> Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Budownictwa, z dnia 16 marca 2016 r. w sprawie poważnych wypadków, wypadków i incydentów w transporcie kolejowym, Dz.U. 2016, poz. 369.

lub co najmniej 5 osobami ciężko rannymi lub skutkujący uszkodzeniami przekraczającymi wartość 2 mln euro. Za wypadek uznaje się niezamierzone nagłe zdarzenie lub ciąg takich zdarzeń z udziałem pojazdu kolejowego, powodujące negatywne konsekwencje dla zdrowia ludzkiego, mienia lub środowiska, w którym nie wystąpiły ofiary śmiertelne, a liczba osób ciężko rannych nie przekracza 4. Incydent to każde zdarzenie, inne niż wypadek lub poważny wypadek, mające wpływ na bezpieczeństwo ruchu kolejowego<sup>3</sup>.

## 2. Analiza statystyczna zdarzeń kolejowych w Polsce

Analizę zdarzeń kolejowych w Polsce przeprowadzono z podziałem na poważne wypadki (zdarzenia kategorii A), wypadki (zdarzenia kategorii B) oraz incydenty (zdarzenia kategorii C). Analizowane zdarzenia dotyczą okresu od 2015 do 2020 r.



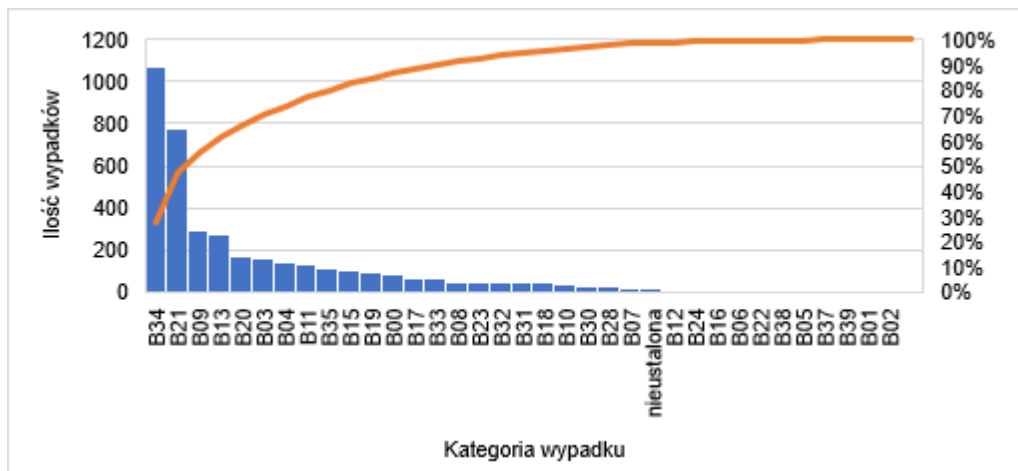
Rys. 1. Zestawienie poważnych wypadków w Polsce w latach 2015–2020<sup>4</sup>

W grupie zdarzeń zakwalifikowanych jako poważne wypadki odnotowano łącznie kilkadziesiąt wystąpień. Szczegóły przedstawiono na rys. 1. W grupie zdarzeń zakwali-

<sup>3</sup> Ustawa z dnia 28 marca 2003 r o transporcie kolejowym, Dz.U. 2003 Nr 86, poz. 789.

<sup>4</sup> P. Biel, D. Dopierała, M. Grzywa, M. Szkoda, *The impact of damage and technical condition of railway vehicles on railway transport safety in Poland*, Rozdział w monografii: *Environmental Protection Transport and Logistic Production Engineering*, red. S. Kowalski, Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych w Nowym Sączu, Nowy Sącz 2023, 57–70.

fikowanych jako wypadki odnotowano łącznie 3915 wystąpień, co odpowiada średnio 625 zdarzeniom na rok. Szczegółowe zestawienie ilościowe wypadków w analizowanym okresie, wraz z podziałem na kategorię przedstawiono w formie diagramu Pareto na rys. 2.

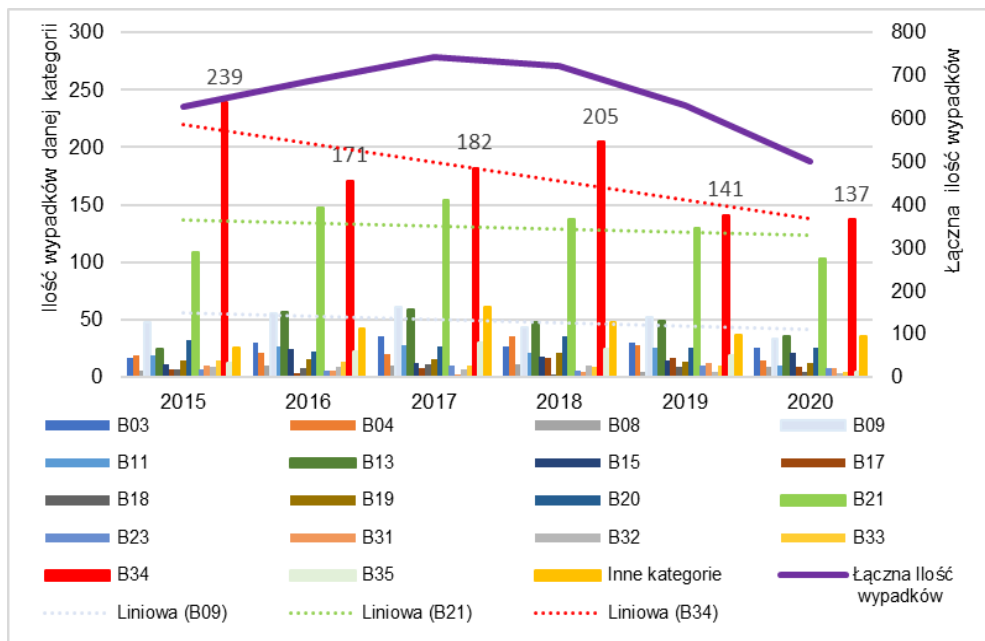


Rys. 2. Diagram Pareto dla wypadków w Polsce w latach 2015–2020<sup>5</sup>

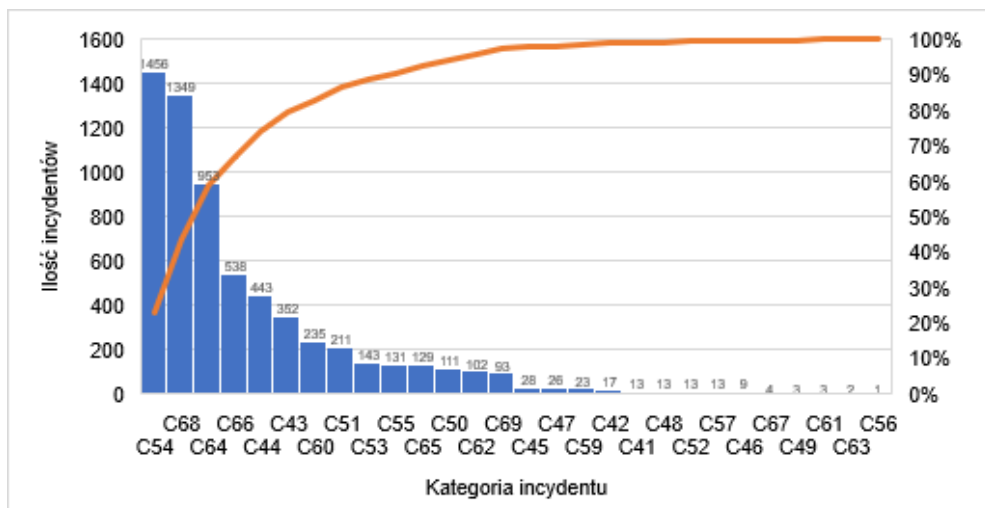
Najczęściej występującą kategorią wypadków były wypadki kategorii B34 (1075 zdarzeń), następnie wypadki kategorii B21 (780 zdarzeń), a na trzeciej pozycji pod względem ilości plasowały się wypadki kategorii B09 (292 zdarzenia). Dla wypadków kategorii B34 zauważa się wyraźną tendencję spadkową liczby zdarzeń w czasie (239 zdarzeń w 2015 r. i 137 zdarzeń w 2020). Analogiczną tendencję spadkową liczby zdarzeń w czasie odnotowano dla wypadków kategorii B21 i B09. Szczegóły przedstawiono na rys. 3.

W grupie zdarzeń zakwalifikowanych jako incydenty najczęściej występowały incydenty kategorii C54 (1456 zdarzeń), C68 (1349 zdarzeń) oraz C64 (953 zdarzenia). W latach 2015 i 2016 odnotowano gwałtowny wzrost liczby incydentów (wzrost z poziomu około 600 zdarzeń rocznie do ponad 1200). Dla incydentów kategorii C54 zauważalny jest pozytywny trend w zakresie bezpieczeństwa, tj. spadek liczby zdarzeń w czasie. Dla incydentów kategorii C68 i C64 w analizowanym okresie trend w zakresie bezpieczeństwa jest negatywny ze względu na wyraźny wzrost liczby zdarzeń w tych kategoriach w czasie. Szczegóły przedstawiono na rys. 4 i 5.

<sup>5</sup> Tamże.



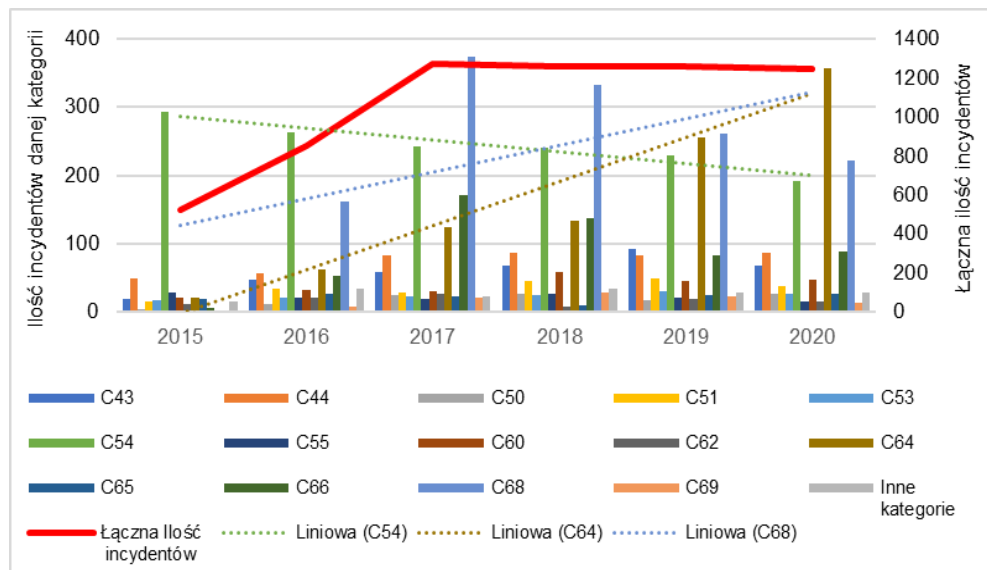
Rys. 3. Zestawienie wypadków w Polsce w latach 2015–2020<sup>6</sup>



Rys. 4. Diagram Pareto dla incydentów w Polsce w latach 2015–2020<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Tamże.

<sup>7</sup> Tamże.

Rys. 5. Zestawienie incydentów w Polsce w latach 2015–2020<sup>8</sup>

### 3. Ocena wpływu stanu technicznego taboru kolejowego na bezpieczeństwo transportu kolejowego w Polsce

Jak zaznaczono we wprowadzeniu, najistotniejsza w analizie wpływu stanu technicznego taboru kolejowego na bezpieczeństwo transportu kolejowego jest ocena ilościowa zdarzeń kolejowych następujących kategorii:

- poważne wypadki kategorii A10 i A11,
- wypadki kategorii B10 i B11,
- incydenty kategorii C53 i C54.

Dla wszystkich wskazanych powyżej kategorii zdarzeń kolejowych za przyczynę bezpośrednią zdarzenia uznaje się bowiem zły stan techniczny taboru kolejowego. Szczegółowy opis kategorii zdarzenia i odpowiadający jej opis przyczyny bezpośredniej opisano w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 16 marca 2016 r. w sprawie poważnych wypadków, wypadków i incydentów w transporcie kolejowym.

<sup>8</sup> Tamże.

W analizowanym okresie nie odnotowano żadnego poważnego wypadku, który można by przypisać do kategorii A10 i A11. Oznacza to, że zły stan techniczny pojazdów kolejowych nie przyczynił się do zwiększenia ryzyka wystąpienia najbardziej krytycznego charakteru zdarzenia w kontekście bezpieczeństwa, co bez wątplenia jest bardzo pozytywną informacją.

Niniejsze dane można wykorzystać w procesie oceny krytyczności komponentów zabudowywanych na pojazdach w celu realizacji obowiązku wynikającego m.in. z Rozporządzenia Wykonawczego Komisji (UE) 2019/779, gdzie wskazano, że „przy projektowaniu nowego typu pojazdu producent powinien określić, w oparciu o analizę ryzyka, krytyczność funkcji i elementów swoich produktów oraz zapisywać je w dokumentacji technicznej”<sup>9</sup>.

Definicja elementu/komponentu krytycznego dla bezpieczeństwa nie została prawnie usankcjonowana i istnieje pewna dowolność w procesie kwalifikacji komponentów do grupy komponentów krytycznych dla bezpieczeństwa systemu kolejowego, niemniej w 2021 r. opracowany został standard techniczny CEN/TR 17696:2021, zgodnie z którym za komponent krytyczny dla bezpieczeństwa (ang. *Safety critical component*) należy uznać komponenty, których pojedyncza awaria ma wiarygodny potencjał, aby doprowadzić do:

- kolizji lub wykolejenia pojazdów skutkującej wystąpieniem co najmniej jednej ofiary śmiertelnej lub co najmniej 5 osób ciężko rannych lub szkody przekraczającej kwotę 2 mln euro oraz
- każde inne zdarzenie o tych samych konsekwencjach mające oczywisty wpływ na bezpieczeństwo systemu kolejowego<sup>10</sup>.

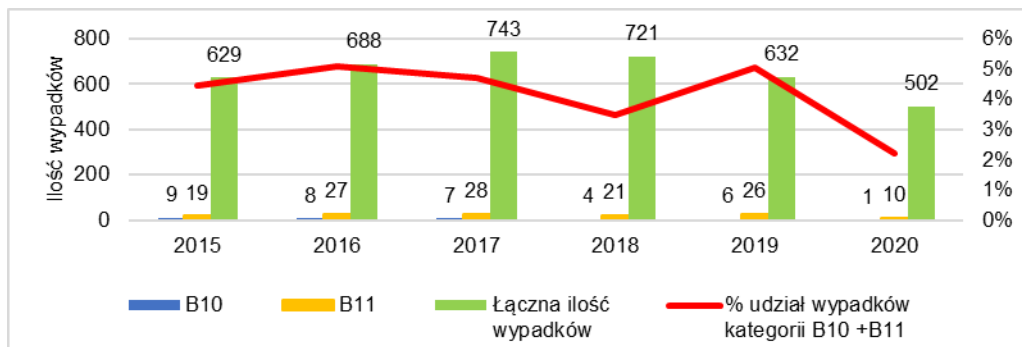
Zgodnie z przywołaną powyżej definicją komponentu krytycznego dla bezpieczeństwa za komponenty krytyczne należy uznać –takie, których awaria może doprowadzić do wiarygodnego scenariusza wystąpienia poważnego wypadku wg definicji wskazanej w Ustawie o Transporcie Kolejowym. Brak poważnych wypadków, których przyczyna bezpośrednia tkwiła w złym stanie technicznym taboru kolejowego, jest jedną z podstawowych informacji, jaka powinna zostać wzięta pod uwagę na etapie oceny ryzyka dla analizowanych systemów technicznych zabudowanych na konkretnym pojeździe.

---

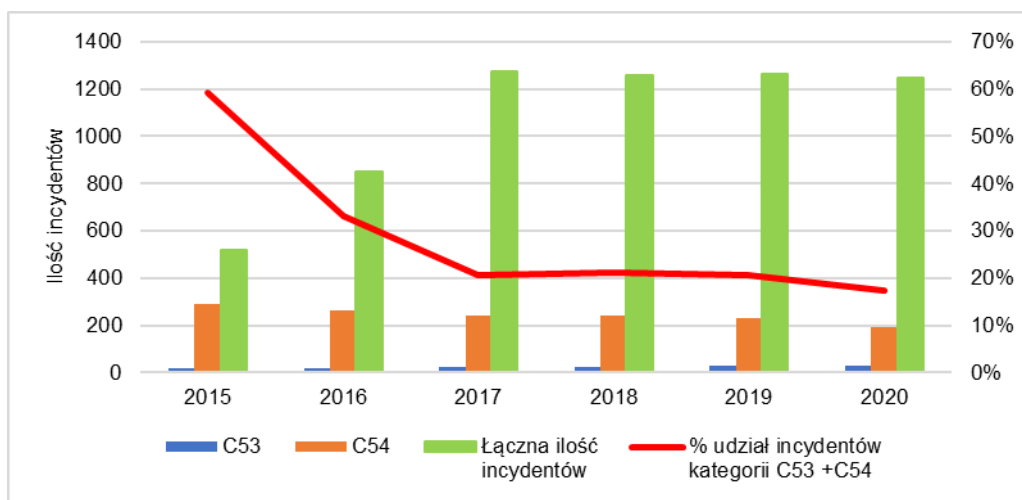
<sup>9</sup> Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2019/779 z dnia 16 maja 2019 r. ustanawiające szczegółowe przepisy dotyczące systemu certyfikacji podmiotów odpowiedzialnych za utrzymanie pojazdów zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/798, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, 2019.

<sup>10</sup> CEN/TR 17696:2021. *Railway applications – Vehicle Maintenance – Guide for identification and management of Safety Critical Components for railway vehicles*, European Committee for Standardization, Bruksela 2021.

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono udział zdarzeń kategorii B10 i B11 oraz C53 i C54 w odniesieniu do wszystkich innych kategorii zdarzeń niepowiązanych bezpośrednio ze złym stanem technicznym taboru kolejowego. Odnotowano pozytywny trend w zakresie bezpieczeństwa zarówno w przypadku liczby wypadków, jak i w odniesieniu do liczby incydentów.



Rys. 6. Udział wypadków kategorii B10 i B11 w odniesieniu do wszystkich wypadków w Polsce w latach 2015–2020<sup>11</sup>



Rys. 7. Udział incydentów kategorii C53 i C54 w odniesieniu do wszystkich incydentów w Polsce w latach 2015–2020<sup>12</sup>

<sup>11</sup> P. Biel, D. Dopierała, M. Grzywa, M. Szkoda, *The impact...*, op. cit.

<sup>12</sup> Tamże.

### 3. Podsumowanie

Stan techniczny taboru kolejowego ma niewątpliwie istotny wpływ na bezpieczeństwo transportu kolejowego w Polsce i jest to związane z kilkuprocentowym udziałem zdarzeń kategorii wypadki, powiązanych ze stanem technicznym taboru (kategorie B10 i B11), w odniesieniu do całkowitej liczby odnotowanych wypadków w Polsce oraz kilkudziesięcioma procentami incydentów kategorii C53 i C54 w odniesieniu do całkowitej liczby incydentów.

Stan techniczny taboru kolejowego nie miał krytycznego wpływu na bezpieczeństwo transportu kolejowego w analizowanym okresie (2015–2020) ze względu na brak poważnych wypadków, odnośnie do których komisje kolejowe uznałyby za przyczynę bezpośrednią zły stan techniczny taboru (kategorie A10 i A11).

Dane statystyczne dotyczące zdarzeń kolejowych i ich przyczyn bezpośrednich, w tym w szczególności dane statystyczne dotyczące poważnych wypadków, powinny być wykorzystywane w procesie oceny ryzyka jako integralnej części procesu oceny krytyczności komponentów zabudowanych w pojazdach szynowych.

### Literatura

- [1] Agencja Kolejowa UE, *Report on railway safety and interoperability in the EU*, Publications Office of the European Union, Luxembourg 2022.
- [2] CEN/TR 17696:2021. *Railway applications – Vehicle Maintenance – Guide for identification and management of Safety Critical Components for railway vehicles*, European Committee for Standardization, Bruksela 2021.
- [3] BIEL P., DOPIERAŁA D., GRZYWA M., SZKODA M., *The impact of damage and technical condition of railway vehicles on railway transport safety in Poland*. Rozdział w monografii: *Environmental Protection Transport and Logistic Production Engineering*, red. S. Kowalski, Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych w Nowym Sączu, Nowy Sącz 2023, 57–70.
- [4] Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Budownictwa, z dnia 16 marca 2016 r. w sprawie poważnych wypadków, wypadków i incydentów w transporcie kolejowym, Dz.U. 2016, poz. 369.
- [5] Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2019/779 z dnia 16 maja 2019 r. ustanawiające szczegółowe przepisy dotyczące systemu certyfikacji podmiotów odpowiedzialnych za utrzymanie pojazdów zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/798, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, 2019.
- [6] Ustawa z dnia 28 marca 2003 r o transporcie kolejowym, Dz.U. 2003 Nr 86, poz. 789.



# Weryfikacja numeryczna przejść redukujących koncentrację naprężeń w połączeniu wciskowym wg normy DIN 7190

## Numerical verification of transitions reducing stress concentration in the interference fit according to DIN 7190 standard

DARIUSZ DOPIERAŁA

Szkoła Doktorska Politechniki Krakowskiej, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków  
NEWAG IP Management Sp. z o.o., ul. Wyspiańskiego 3, 33-300 Nowy Sącz

**Abstrakt:** W pojazdach szynowych pasowania wciskowe umożliwiające łączenie koła z osią zestawu kołowego są poddawane działaniom momentu skręcającego i zginającego o charakterze zmęczeniowym. W rozpatrywanym połączeniu konieczne jest zapobieganie występowaniu zjawiska poślizgu przy równoczesnym utrzymaniu wymaganej wartości ciśnienia w połączeniu wciskowym oraz niedopuszczeniu wystąpienia uplastycznienia w przedmiotowym węźle. Norma DIN 7190 wskazuje zależności dotyczące zasad projektowania przejścia pomiędzy obszarem działania ciśnienia kontaktu i powierzchnią nieobciążoną. Na podstawie wyników analiz numerycznych przedstawiono wpływ różnych konfiguracji przejść pomiędzy średnicami w geometrii osi zestawu kołowego na ciśnienie kontaktu. Na podstawie przeprowadzonych analiz zaobserwowano wpływ kształtu geometrii przejścia pomiędzy średnicami na wartość ciśnienia w połączeniu wciskowym przy zewnętrznych elementach kontaktowych łączonych powierzchni. Projektując geometrię osadzenia koła na osi zestawu kołowego, należy stosować przejścia odcinające końce powierzchni kontaktowych w celu wyrównania ciśnienia w połączeniu wciskowym wzdłuż całego interfejsu. Kompromis między zmniejszeniem wcisku w całym połączeniu a zapewnieniem wystarczająco wysokiego ciśnienia w kontakcie, aby zapobiec korozji frettingowej, można znaleźć za pomocą obliczenia metodą elementów skończonych. Wnioski z niniejszego opracowania mogą przyczynić się do sformułowania kryterium akceptacji przekroczeń numerycznych w obszarze działania wcisku podczas obliczeń koła zgodnie z normą EN 13979-1.

**Abstract:** In rail vehicles, the compression fittings used to attach the wheel to the axle of the wheelset are subjected to fatigue torsional and bending effects. It is necessary to prevent the occurrence of slippage phenomena while maintaining the required pressure value in the press-fit connection and preventing the occur-

rence of plasticization in the joint in question. DIN 7190 indicates the relationship of design rules for the transition between the contact pressure area and the unloaded surface. Based on the results of numerical analyses, the effect of different configurations of transitions between diameters in the geometry of the axle of the wheelset on contact pressure is presented. Based on the analyses, the effect of the shape of the geometry of the transition between diameters on the pressure value in the press-fit connection at the external contact elements of the surfaces to be joined was observed. The compromise between reducing the compression across the interface and ensuring that the contact pressure is high enough to prevent fretting corrosion can be found through finite element calculations. The results of this study may be useful in developing a criterion for admitting numerical exceedances during calculating a wheel in accordance with EN 13979-1.

## 1. Wprowadzenie

W pojazdach szynowych osadzenie koła na osi realizowane jest poprzez pasowanie wciskowe. Węzeł ten w warunkach normalnej eksploatacji wystawiony jest na ekspozycję znaczących obciążeń skręcających i zginających o charakterze zmęczeniowym.

Zapewnienie wymaganego poziomu bezpieczeństwa opisywanego połączenia osiąga się poprzez niedopuszczenie do wystąpienia zjawiska poślizgu oraz uplastycznień przy równoczesnym zachowaniu wymaganej wartości ciśnienia w parze kontaktowej.

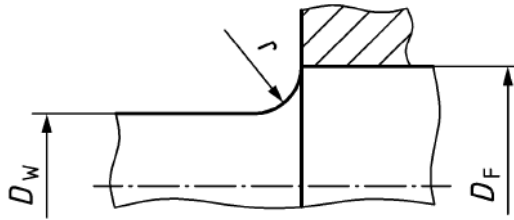
Norma DIN 7190-1:2017-02 [8] wskazuje zależności dotyczące zasad projektowania przejścia pomiędzy obszarem działania ciśnienia kontaktu i powierzchnią nieobciążoną.

Celem pracy jest określenie wpływu różnych konfiguracji przejść pomiędzy częścią, w której występuje wcisk a fragmentem odciążonym na wartość i rozkład nacisków w skrajnych obszarach pasowania. Wnioski z niniejszych rozważań mogą przyczynić się do sformułowania kryterium akceptacji przekroczeń numerycznych w obszarze działania wcisku podczas obliczeń koła zgodnie z normą EN 13979-1:2020 [6].

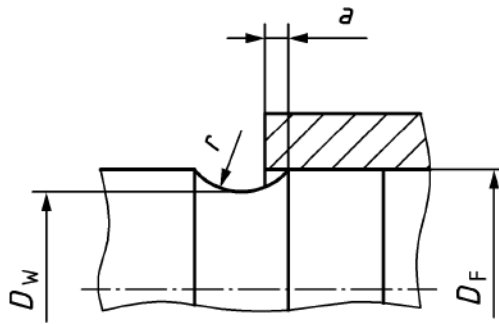
## 2. Geometrie przejścia pomiędzy obszarem działania ciśnienia kontaktu a powierzchnią nieobciążoną wg DIN 7190-1:2017-02

Norma DIN 7190-1:2017-02 [8] wskazuje dwa przykłady ukształtowania geometrii czopa przy skrajnych fragmentach połączenia wciskowego, które są głównie poddawane cyklicznemu zginaniu. Na rysunku 1 przedstawiono optymalizację charakteru przejścia pomiędzy obszarami geometrii o zróżnicowanych wartościach średnic. Na rysunku 2 zobrazowano natomiast przejście w geometrii czopa wykonane w postaci

podcięcia, które powinny być stosowane w przypadku obszarów o zbliżonych wartościach średnic.



Rys. 1. Zoptymalizowane przejście pomiędzy różnymi średnicami [8]



Rys. 2. Przykład optymalizacji przejścia poprzez podcięcie czopa oraz wysunięcie piasty [8]

W niniejszym opracowaniu zweryfikowano zarówno rozwiązanie z rys. 1 (w różnych wariantach), jak i wpływ wysunięcia piasty – wymiar  $a$  pokazany na rys. 2.

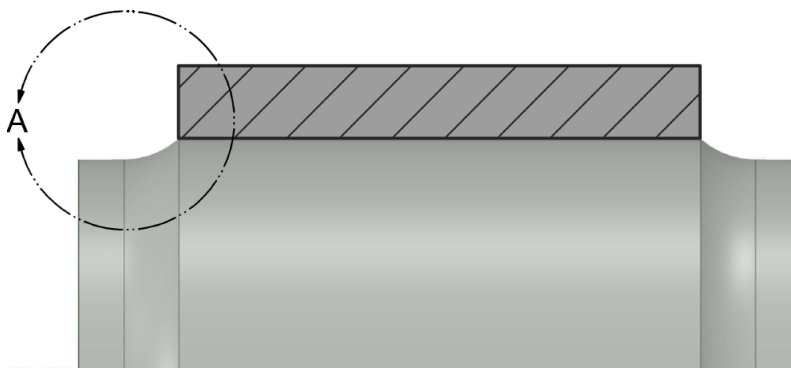
### 3. Dobór wymiarów geometrycznych połączenia oraz wyznaczenie wariantów analizy

W pracy wykonano analizy numeryczne dla 15 kombinacji wariantów przejścia pomiędzy osadzeniem a powierzchnią nieobciążoną przedmiotowego połączenia, zebranych w 4 głównych grupach. W tabeli 1 zawarto szczegółowe informacje dotyczące przyjętych wymiarów geometrycznych.

Na rysunku 3, na przykładzie szczegółu A przedstawiono obszar podlegający dalszym rozważaniom. Na rysunkach 4–7 zobrazowano z kolei warianty wykonania analizowanego obszaru z podziałem na grupy, dla których przeprowadzono obliczenia z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych.

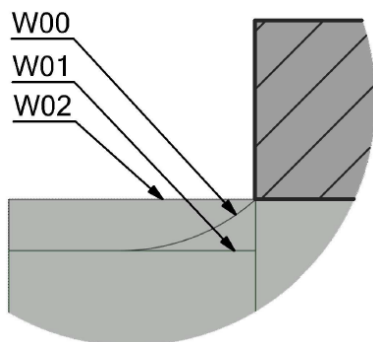
Tabela 1. Zestawienie analizowanych wariantów przejścia pomiędzy połączeniem wciskowym a nieobciążoną powierzchnią

Grupa	Wariant	$D_F/D_W$ [-]	$r/(D_F - D_W)$ [-]	$D_W$ [mm]	$r$ [mm]	$a$ [mm]
0	W00	1,1	2	174,5	35	0
	W01	1,1	-	174,5	-	0
	W02	1	-	192	-	0
1	W1	1,025	2	187,3	9,4	0
	W2	1,05	2	182,9	18,2	0
	W3	1,15	2	167	50	0
	W4	1,2	2	160	64	0
2	W5	1,1	0,5	174,5	8,8	0
	W6	1,1	1,25	174,5	21,9	0
	W7	1,1	2,75	174,5	48,1	0
	W8	1,1	3,5	174,5	61,3	0
3	W9	1,1	2	174,5	35	-8
	W10	1,1	2	174,5	35	-4
	W11	1,1	2	174,5	35	4
	W12	1,1	2	174,5	35	8

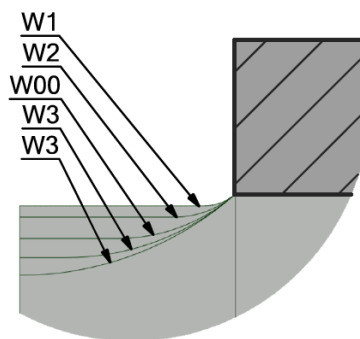


Rys. 3. Przykład optymalizacji przejścia poprzez podcięcie czopa oraz wysunięcie piasty

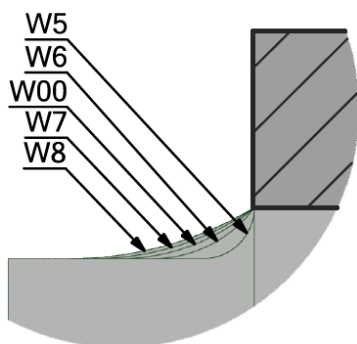
Zgodnie z normą EN 13260:2020 [7] wartość wcisku dla założonej nominalnej średnicy połączenia, wynoszącej 192 mm, powinna mieścić się w zakresie od 0,192 mm do 0,288 mm. Na potrzeby pracy została przyjęta stała wartość wcisku wynosząca 0,2 mm.



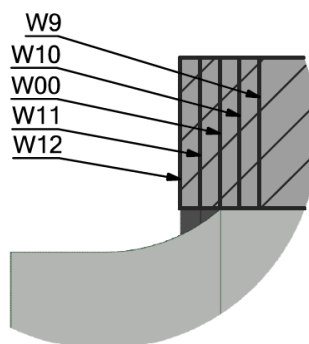
Rys. 4. Graficzne przedstawienie wariantów z grupy 0



Rys. 5. Graficzne przedstawienie wariantów z grupy 1



Rys. 6. Graficzne przedstawienie wariantów z grupy 2



Rys. 7. Graficzne przedstawienie wariantów z grupy 3

Norma DIN 7190-1:2017-02 [8] zaleca spełnienie poniższych zależności między średnicami przejścia i promieniem niwelującym efekt karbu.

$$\frac{D_F}{D_W} \approx 1,1, \quad (1)$$

$$\frac{r}{(D_F - D_W)} \approx 2. \quad (2)$$

Wariant W00 stanowi przykład spełniający powyższe założenia, przez co został przyjęty jako referencyjny dla pozostałych kombinacji wymiarów, które były analizowane w przedmiotowym opracowaniu.

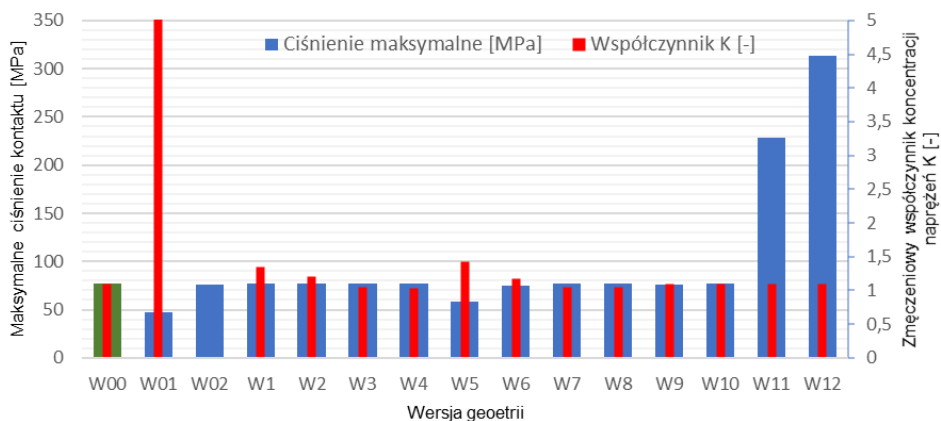
## 4. Weryfikacja rozkładu ciśnienia w przekroju wzdłużnym połączenia wciskowego

Na podstawie przeprowadzonych analiz zaobserwowano wpływ kształtu geometrii przejścia pomiędzy średnicami na wartość ciśnienia w połączeniu wciskowym przy zewnętrznych obszarach pary kontaktowej wraz z uwzględnieniem zmęczeniowego współczynnika koncentracji naprężeń  $K$ , wyliczonym zgodnie z [9]. W wybranych kombinacjach ukształtowania geometrii przejścia istnieje możliwość przekroczenia granicy plastyczności materiału skojarzonych obiektów. W tabeli 2 zawarto zestawienie wyników dla rozpatrywanych przypadków, w tym maksymalną wartość ciśnienia w parze kontaktowej wraz z różnicą procentową w porównaniu do wariantu referencyjnego – W00. Najwyższe wartości ciśnień zaobserwowano na krawędzi kontaktu. W poniższej tabeli dla wariantu W01 otrzymano wartość współczynnika koncentracji naprężeń, który dąży do nieskończoności i symbolicznie zapisano wartość w postaci  $\gg 10$ .

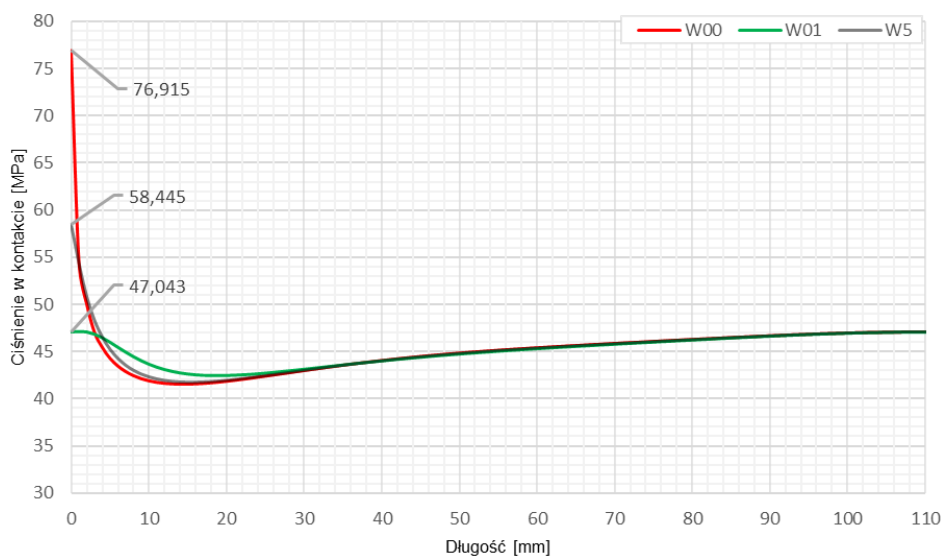
Tabela 2. Zestawienie maksymalnych wartości ciśnień w kontakcie wraz z procentową różnicą względem wariantu referencyjnego oraz z uwzględnieniem zmęczeniowego współczynnika koncentracji naprężeń  $K$

Grupa	Wariant	$p_{\max}$ [MPa]	Różnica [%]	$K$ [-]
0	W00	76,92	0,00	1,1
	W01	47,07	-38,80	$\gg 10$
	W02	76,01	-1,18	0
1	W1	77,09	0,22	1,35
	W2	76,82	-0,12	1,2
	W3	76,91	-0,01	1,05
	W4	76,90	-0,03	1,03
2	W5	58,45	-24,01	1,43
	W6	75,27	-2,14	1,18
	W7	77,58	0,86	1,05
	W8	77,20	0,37	1,04
3	W9	76,06	-1,12	1,1
	W10	76,64	-0,36	1,1
	W11	228,33	196,86	1,1
	W12	313,20	307,20	1,1

Graficzne przedstawienie maksymalnych wartości ciśnienia zamieszczono na rys. 8, zaznaczając kolorem zielonym wartości wyznaczone dla przypadku referencyjnego. Należy zwrócić uwagę na znaczący wzrost ciśnienia na krawędzi kontaktu dla przypadków W11 i W12, w których wartość występu osiowego była dodatnia.

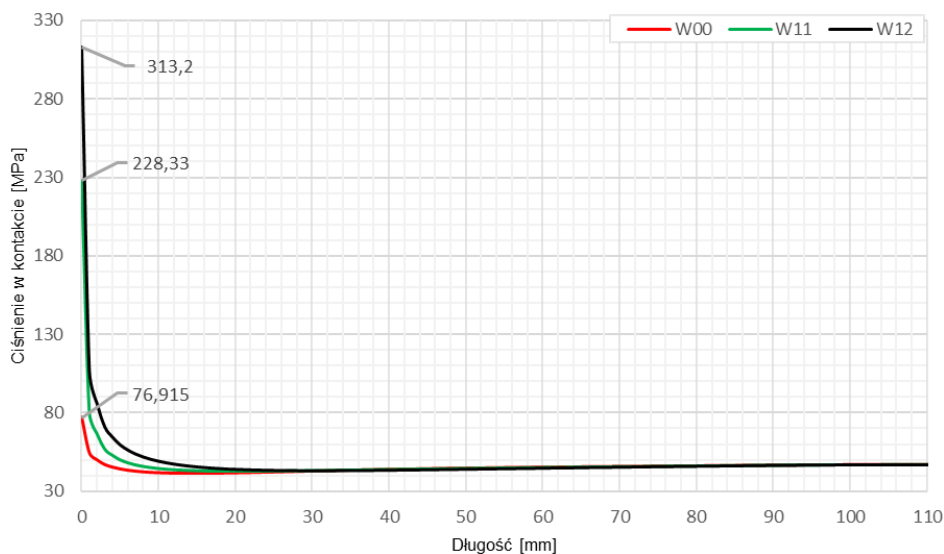


Rys. 8. Maksymalne ciśnienie w kontakcie wraz ze zmęzeniowym współczynnikiem koncentracji naprężeń  $K$  dla wszystkich analizowanych wariantów

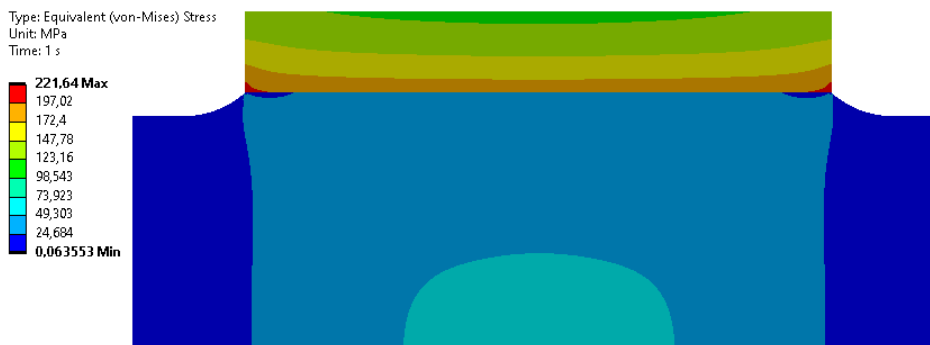


Rys. 9. Rozkład ciśnienia w kontakcie wzdłuż połączenia wciskowego – warianty W00, W01, W5

Na rysunkach 9 i 10 przedstawiają charakterystyczne rozkłady ciśnień spośród wszystkich analizowanych przykładów. Ze względu na symetryczny charakter wykresu przedstawiono wyniki tylko dla połowy długości połączenia wciskowego.



Rys. 10. Rozkład ciśnienia w kontakcie wzdłuż połączenia wciskowego  
– warianty W00, W11, W12



Rys. 11. Rozkład naprężeń w przekroju wzdłużnym połączenia wciskowego  
– wariant W00

Występ osiowy  $a$ , pokazany na rys. 2 i 7 o dodatniej wartości, powoduje wzrost sztywności piasty, co skutkuje większym naciskiem powierzchniowym w połączeniu w obsza-



rze krawędzi piasty [4], [5]. Jest to skuteczna metoda zapobiegania korozji frettingowej bez jednoczesnej konieczności zwiększenia wartości wcisku [1], [3]. W przypadku wysunięcia piasty metodę tę można stosować zarówno w celu zmiany średnicy w przejściu (rys. 1), jak i dla rowka odciążającego (rys. 2). W obu przypadkach obowiązuje zasada  $a \geq 0$  (zgodnie z zapisami DIN 7190-1:2017-02 [8]).

Mapa rozkładu naprężeń zredukowanych w przekroju wzdłużnym referencyjnego połączenia wciskowego pokazano na rys. 11, natomiast rozkład przemieszczeń promieniowych zaprezentowano na rys. 12.



Rys. 12. Rozkład przemieszczeń promieniowych w przekroju wzdłużnym połączenia wciskowego – wariant W00

## 4. Podsumowanie

Projektując geometrię osadzenia koła na osi zestawu kołowego, należy stosować przejścia niwelujące efekt karbu na powierzchni czopa. Należy również zapewnić wymaganą wartość ciśnienia w obszarze krawędzi kontaktowych skojarzonych obiektów w połączeniu wciskowym. W przypadku skomplikowanych przejść zalecane jest wykonanie analizy MES, umożliwiającej szczegółową weryfikację rozkładu naprężeń i ciśnień w całym obszarze złącza.

Kompromis między zmniejszeniem wcisku w całym połączeniu a zapewnieniem wystarczająco wysokiego ciśnienia w kontakcie, aby zapobiec korozji frettingowej, można znaleźć przez obliczenia metodą elementów skończonych.

Wymagane są dalsze badania w przedmiotowym zakresie, aby stworzyć kompletne kryteria akceptacji obszarów zawierających koncentrację naprężeń numerycznych w strefie działania wcisku podczas obliczeń koła zgodnie z normą EN 13979-1:2020.

## Literatura

- [1] KOWALSKI S., *The analysis of fretting fatigue in forced-in joint with the induction-hardened shaft*, Tribologia – Finnish Journal of Tribology, 2021, 38 (1–2), 11–21.
- [2] MADEJ J., *Analiza nośności połączenia wciskowego*, Mechanik, 2018, 91.
- [3] MICHNEJ M., GUZOWSKI S., *Fretting wear simulation in a clamped joint based on the example of a rail vehicle wheel set*, Wear, 2019, 438–439.
- [4] NWE T., PIMSARN M., *Effect of interference on the press fitting of railway wheel and axle assemblies*. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, 2021, 1137, 012051.
- [5] ROMANOWICZ P., SANECKI H., *Wpływ wcisku pomiędzy kołem a czopem osi pojazdu szynowego na stan naprężeń w strefie przejściowej*, Zeszyty Naukowe. Transport, Politechnika Śląska, 2014, 82, 213–223.
- [6] Technical Committee CEN/TC 256. EN 13979-1:2020. *Railway applications – Wheelsets and bogies – Monobloc Wheels – Technical approval procedure. Part 1: Forged and rolled wheels*
- [7] Technical Committee CEN/TC 256. EN 13260:2020. *Railway applications – Wheelsets and bogies – Wheelsets – Product requirements*.
- [8] Working Committee NA 060-34-32 AA. DIN 7190-1:2017-02. *Interference fits. Part 1: Calculation and design rules for cylindrical self-locking pressfits*.
- [9] Technical Committee CEN/TC 256. EN 13103-1:2017. *Railway applications – Wheelsets and bogies. Part 1: Design method for axles with external journals*.

# Wpływ konstrukcji na stabilność charakterystyki statycznej zderzaków kolejowych w różnych temperaturach otoczenia

## The influence of the structure on the stability of the static characteristics of railway buffers at different ambient temperatures

ALEKSANDER BOBERSKI<sup>1</sup>, STANISŁAW MŁYNSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PKP CARGO SERVICE sp. z o.o. Katowice, e-mail: aleksander.boberski@gmail.com

<sup>2</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów Szynowych i Transportu  
e-mail: mlynarski@mech.pk.edu.pl

**Abstrakt:** Pojazdy szynowe eksploatowane są w różnych warunkach otoczenia, a ich podzespoły i elementy urządzeń ciągnowo-zderznych poddawane są zmiennym obciążeniom w postaci sił rozciągających, ściskających i zginających. W skrajnych przypadkach oddziaływania te doprowadzają do przekroczenia dopuszczalnych obciążeń pracujących elementów. Ponieważ urządzenia ciągnowo-zderzne mają bezpośredni związek z bezpieczeństwem jazdy pociągu oraz znacząco wpływają na komfort podróży pasażerów lub jakość przewozu towarów, ważne jest zapewnienie poprawnej i bezpiecznej pracy oraz utrzymanie ich w stanie zdadności w wymaganym przedziale czasu. W pracy przedstawiono wyniki badania wpływu konstrukcji zderzaków kolejowych na stabilność ich charakterystyki statycznej w różnych temperaturach otoczenia oraz analizę uzyskanych wyników w zakresie wymagań stawianych zderzakom kolejowym. Badania przeprowadzono na stanowisku przeznaczonym do kontroli i badań zderzaków kolejowych po naprawie. Przeprowadzona analiza umożliwiła porównanie wartości sił, przy których zderzaki ulegają zablokowaniu oraz ich zdolność pochłaniania energii zderzenia w różnych temperaturach otoczenia. Na podstawie prowadzonych badań wykazano lepsze właściwości robocze zderzaków elastomerowych w porównaniu ze zderzakami z wkładkami gumowymi. Wykazano większą wrażliwość na warunki otoczenia zderzaków z amortyzatorem gumowym, przejawiającą się znacznymi zmianami siły zablokowania zderzaka oraz jego możliwości pochłaniania energii zderzenia. Zaproponowano również korektę metody badania zderzaków o konstrukcji metalowo-gumowej amortyzatora.

**Słowa kluczowe:** zderzak kolejowy, charakterystyka statyczna, pochłanianie energii zderzenia, stabilność charakterystyki

**Abstract:** Rail vehicles are operated in various environmental conditions and their subassemblies and elements of draw-buffer devices are subjected to variable loads in the form of tensile, compressive and bending forces. In extreme cases, these impacts lead to exceeding the permissible loads of working elements. Since the draw-buff devices are directly related to the safety of train operation and significantly affect the comfort of passengers or the quality of goods transport, it is important to ensure correct and safe operation and to maintain them in a working condition for the required period of time. The paper presents the results of the study of the impact of the construction of railway buffers on the stability of their static characteristics at various ambient temperatures and the analysis of the obtained results in the field of requirements for railway buffers. The tests were carried out on a stand intended for inspection and testing of railway buffers after repair. The analysis made it possible to compare the values of the forces at which the bumpers lock and their ability to absorb the impact energy at different ambient temperatures. Based on the conducted tests, better working properties of elastomeric buffers were demonstrated in comparison with buffers with rubber inserts. Bumpers with a rubber shock absorber were shown to be more sensitive to environmental conditions, manifested by significant changes in the bumper locking force and its ability to absorb crash energy. It was also proposed to correct the method of testing bumpers with a metal-rubber structure of the shock absorber.

**Keywords:** *railway buffer, static performance, collision energy absorption, stability characteristics*

## 1. Wstęp

Jednymi z istotnych ze względu na charakter eksploatacji taboru kolejowego są urządzenia cięglowo-zderzne. Do podstawowych funkcji spełnianych w trakcie eksploatacji pojazdów kolejowych jest wzajemne mechaniczne połączenie lokomotywy z ciągniętymi przez nią wagonami i przenoszenie siły pociągowej oraz kompensacja sił wzdłużnych, wynikająca z wzajemnego nabiegania na siebie sprzężonych pojazdów w czasie zmiany prędkości jazdy pociągu. Jednocześnie urządzenia te spełniają rolę polegającą na pochłanianiu części energii powstałej na skutek nabiegania oraz szarpnięć wywołanych działaniem siły pociągowej. Prawidłowe wypełnianie tych zadań umożliwia uformowanie optymalnego składu pociągu przy jednoczesnym zapewnieniu bezpieczeństwa i płynnej, komfortowej jazdy.

W trakcie eksploatacji podzespoły i elementy urządzeń cięglowo-zderznych poddawane są zmiennym obciążeniom w postaci sił rozciągających, ściskających i zginających, w skrajnych przypadkach powodujących przekroczenie naprężeń dopuszczalnych obciążanego elementu (według [5]). Może to być przyczyną rozerwania pociągu lub uszkodzenia innych elementów konstrukcji pojazdu, np. czołownicy ostoi. Między poszczególnymi elementami występuje również współpraca cierna, prowadząca do ich mechanicznego zużycia.

Ponieważ urządzenia ciągnowo-zderzne mają bezpośredni związek z bezpieczeństwem jazdy pociągu oraz znacząco wpływają na komfort podróży pasażerów lub jakość przewozu towarów, niezwykle istotnym zagadnieniem jest ich prawidłowa i bezpieczna eksploatacja oraz utrzymanie ich w stanie zdadności przez możliwie jak najdłuższy czas pracy. Za tym ostatnim przemawiają względy finansowe oraz dążenie do minimalizacji czasu przestołów pojazdu kolejowego, spowodowanych koniecznością wykonywania napraw bieżących. Niniejszy artykuł jest omówieniem wyników przeprowadzonych badań dwóch często stosowanych rozwiązań urządzeń zderznych.

## 2. Charakterystyka i zadania urządzeń zderznych

W krajach Europy (z wyjątkiem krajów dawnego ZSRR) w użyciu są – zwłaszcza w kolejowym transporcie towarowym – urządzenia ciągnowo-zderzne w postaci sprzęgów śrubowych z urządzeniami ciągnowymi i zderzakami tulejowymi. Na rysunku 1 przedstawiono widok współczesnego urządzenia ciągnowo-zderznego ze sprzęgiem śrubowym.



Rys. 1. Urządzenie ciągnowo-zderzne ze sprzęgiem śrubowym

Zadaniem urządzeń zderznych (zderzaków) pojazdu kolejowego jest łagodzenie sił ściskających, wynikających ze wzajemnego nabiegania na siebie sprzęgniętych pojaz-

dów oraz częściowe pochłanianie energii, z jaką zderzają się ze sobą pojazdy w trakcie prowadzonych prac manewrowych.

W zależności od masy pojazdów przy tej samej prędkości zderzenia zmienia się ich energia kinetyczna zderzenia. W związku z tym należałoby więc proporcjonalnie do masy pojazdów zwiększać zdolność do wykonania pracy przez zderzaki. Realizacji tego postulatu można dokonać przez opracowanie konstrukcji zderzaka, którego zakres pracy będzie zawierał skrajne przypadki występujących obciążeń. W praktycznych zastosowaniach siły zderzeniowe nie powinny przekroczyć ustalonych w normach wartości, a naprężenia wynikające z tych sił w dowolnej części pojazdu nie mogą przekraczać granicy plastyczności materiału, z którego jest wykonana konstrukcja (według [14]).

W wagonach kolejowych stosowane są zderzaki z amortyzatorami pierścieniowymi gumowymi oraz nadal zderzaki, w których jako amortyzator zastosowano układ stalowych sprężyn pierścieniowych [13].

Dla wagonów budowanych po 01.01.1963 r. oraz wagonów ze znakiem serii S lub SS, czyli wagonów o prędkości maksymalnej  $\geq 100$  km/h, siła powodująca zblokowanie zderzaka przez zakleszczenie powinna mieścić się w przedziale od 400 do 1000 kN, natomiast energia pochłonięta przez zderzak powinna wynosić co najmniej 50% energii przyjętej. Zderzaki z amortyzatorem ze sprężyn stalowych pierścieniowych spełniają te warunki. Zderzaki wyposażone w amortyzator z pierścieni gumowych także te warunki spełniają, natomiast wykazują mniejszą zdolność pochłaniania przyjętej energii. Konstrukcje stosowanych obecnie zderzaków w przypadku przekroczenia granicznych wartości sił wynikających ze zderzenia mają właściwość trwałego odkształcenia pierścieni gumowych. Podczas długiego czasu eksploatacji jest to przyczyną uszkodzenia zderzaka, a w następstwie konieczności poddania go odnowie. Ponadto zderzaki z pierścieniami gumowymi wykazują dużą niestabilność kompensacji energii w zależności od rodzaju zastosowanej mieszanki gumowej oraz od temperatury otoczenia. Właściwość ta znacznie ogranicza zakres ich stosowania i jakość pracy urządzeń zderznych. W związku z tym poszukiwano rozwiązań, które charakteryzują się większą trwałością oraz lepszymi i bardziej stabilnymi właściwościami kompensacji sił roboczych podczas pracy urządzeń zderznych.

Prowadzone badania polegały na analizie i weryfikacji specyficznych właściwości tworzyw wysokopolimerowych, o szczególnie dużej sprężystości i rozciągliwości, a jednocześnie bardzo małym module sprężystości [3]. Szukane specyficzne właściwości mają wybrane materiały nazywane elastomerami, których ściśliwość przyjmuje wartości rzędu 15% oraz lepkość osiąga wartość do  $25 \cdot 10^6$  cSt. Te dwie cechy ela-

stomeru czynią z niego bardzo dobry materiał amortyzujący. Wykazywana przez niego ściśliwość zapewnia pożądaną sprężystość oraz lepkość niezbędną do pochłaniania energii (według [3], [14], [16]). Efektem tych prac jest konstrukcja amortyzatora elastomerowego, mająca nieliniową charakterystykę sił ściskających, dużą zdolnością przyjmowania i pochłaniania energii [6]. Progresywny charakter pracy zderzaków z amortyzatorem tego typu uzyskuje się przez zastosowanie wraz z elastomerowym amortyzatorem głównym amortyzatora wstępnego o niskiej sile zblokowania i małym skoku, którego wartość jest ułamkiem wartości pełnego skoku zderzaka. Schemat konstrukcji zderzaka elastomerowego przedstawiono w następnym rozdziale.

Do wad tego typu zderzaków należy – podobnie, jak w przypadku zderzaka z amortyzatorem ze sprężyn pierścieniowych – skomplikowana technologia produkcji i regeneracji amortyzatorów. Podstawowymi problemami są w tym przypadku precyzja wykonania elementów i zapewnienie dużej szczelności ich połączeń ruchomych [10], [14].

Wymienione wyżej wady w znacznym stopniu rekompensuje charakterystyka pracy tego typu zderzaka; duża zdolność przyjmowania i pochłaniania energii przy jednocześnie niskich wartościach sił przenoszonych na wagon rejestrowanych przy jego pełnym skoku umożliwia skuteczną ochronę przed zniszczeniem przewożonego w wagonie ładunku oraz ogranicza ryzyko uszkodzenia konstrukcji wagonu [8].

### **3. Badanie wpływu temperatury otoczenia na charakterystykę statyczną wybranych typów zderzaków**

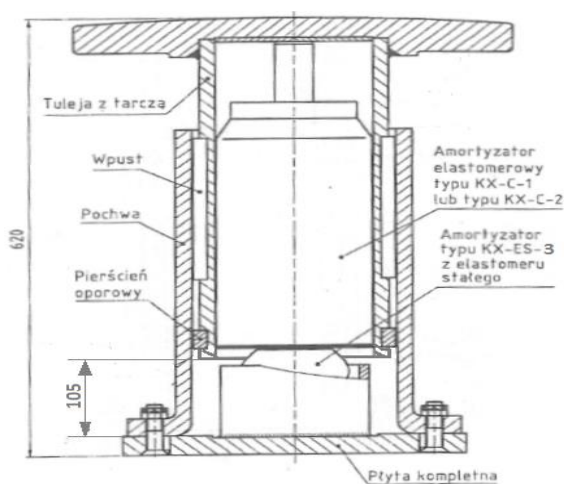
Proces eksploatacji pojazdów szynowych jest mocno zróżnicowany mimo sformalizowanych procedur stosowanych podczas ich użytkowania. Warunki otoczenia wynikające ze stref klimatycznych, w których eksploatowane są pojazdy, wymagają zastosowania specjalnych konstrukcji i materiałów utrzymujących stabilność charakterystycznych cech.

Celem prowadzonych badań jest pomiar i ocena właściwości wybranych konstrukcji zderzaków pracujących w różnych temperaturach otoczenia i różnych obciążeniach. Uzyskane charakterystyki i informacje o właściwościach pracy badanych zderzaków mogą zostać użyte do podjęcia decyzji o produkcji i zastosowaniu wybranej konstrukcji zderzaków.

W rozdziale zawarto opis przeprowadzonych badań stanowiskowych zderzaków tulejowych oraz ich wyniki wraz z analizą.

### 3.1. Opis obiektów badań

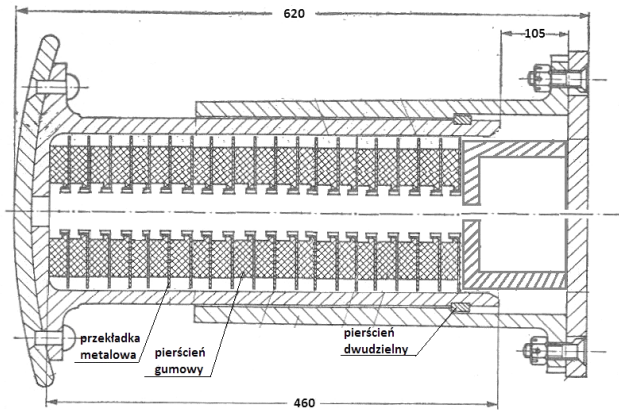
Obiektami przeprowadzonych badań były dwa zderzaki tulejowe o skoku 105 mm, różniące się zastosowanymi do ich budowy amortyzatorami. Pierwszy zderzak oznaczony cyfrą I (rys. 2) to konstrukcja z elastomerowym amortyzatorem głównym i elastomerowym amortyzatorem wstępnym [17]. Drugi oznaczony II stosowany obecnie w niektórych pojazdach wyposażony został w amortyzator złożony z pierścieni gumowych. Badania podjęto w celu wyznaczenia charakterystycznych cech istotnych dla jakości, bezpieczeństwa i ekonomiki ich użytkowania. Badane zderzaki zostały wybrane po przeprowadzonej odnowie i przygotowane w celu przeprowadzenia badań i nie były poddawane żadnym obciążeniom roboczym od ich zmontowania do chwili rozpoczęcia badań.



Rys. 2. Schemat budowy zderzaka nr I [AXTONE]

Zderzak oznaczony cyfrą I został wyposażony w elastomerowy amortyzator główny typu KX-C-2, wyprodukowany przez firmę AXTONE, zawierający elastomer ciekły oraz amortyzator wstępny wykonany z elastomeru stałego, oznaczony typem KX-ES-3, również wyprodukowany przez firmę AXTONE.





Rys. 3. Schemat budowy zderzaków nr II

Zderzak nr II został wyposażony w jednostopniowy amortyzator z pierścieni gumowych 742-A-I z przekładkami metalowymi 2825-A-M. Na rysunku 3 przedstawiono schemat budowy zderzaków nr II.

Powodem przeprowadzenia badań było porównanie charakterystyk pracy zderzaka elastomerowego oraz stosowanych znanych konstrukcji amortyzatorów z pierścieni gumowymi.

### 3.2. Badania oraz analiza wyników

Do badań użyte zostało stanowisko do badania charakterystyk zderzaków wagonowych oraz prób obciążeniowych wózków wagonowych typu PZW-1000 z cyfrową rejestracją wyników, wyprodukowane przez firmę MECHABUD Sp. z o.o. Stanowisko umożliwia statyczne badania zderzaków kolejowych różnego typu. Działanie stanowiska polega na ściskaniu zderzaka ze stałą prędkością 0,01 m/s, z zadanymi wartościami skoku i siły maksymalnej. Osiągnięcie ustawionej wartości skoku lub siły maksymalnej powoduje wsteczny ruch tłoczyska prasy. Umożliwia to uzyskanie wykresu w postaci pętli histerezy, której pole powierzchni jest miarą zdolności badanego zderzaka do pochłaniania przyjętej przez niego energii [9].

Przed montażem zderzaków, które posłużyły jako obiekty badań, wykonano pomiary cech mających wpływ na charakterystykę zderzaków, takich jak:

- wysokość tulei, mierzona od jej dna do krawędzi [mm],
- odległość rowka pierścienia dwudzielnego od krawędzi tulei [mm],

- skok tulei w zmontowanym zderzaku [mm],
- wysokość amortyzatorów (wstępnego i głównego) w stanie niezabudowanym [mm],
- skok amortyzatora wstępnego [mm] (obliczony),
- ugięcie wstępne amortyzatora [mm] (obliczone).

Znajomość wartości tych cech jest niezbędna do prawidłowego montażu zderzaków oraz interpretacji wykresów, stanowiących zapisy przeprowadzonych na zderzakach prób.

Kolejną czynnością po pomiarach części i podzespołów był montaż zderzaków przy użyciu tych podzespołów z zachowaniem parametrów podanych w tabeli 1. Obliczenia skoków amortyzatorów wstępnych wykonano przy założeniu, że ugięcie wstępne (montażowe) występuje przede wszystkim w odniesieniu do amortyzatorów wstępnych, a uginanie amortyzatorów głównych rozpoczyna się w chwili zablokowania amortyzatorów wstępnych.

Tabela 1. Parametry montażowe badanych zderzaków

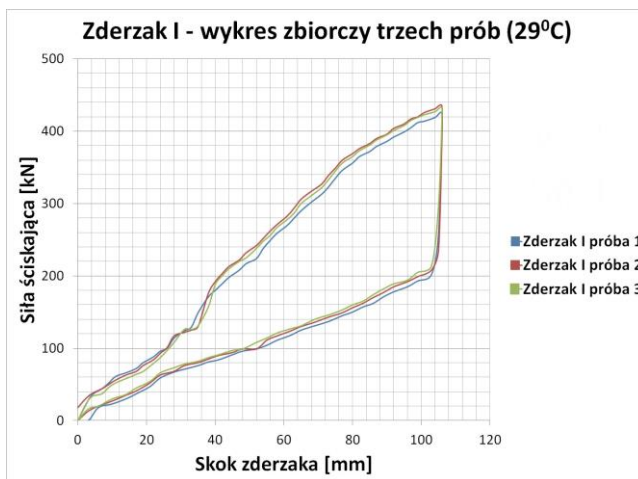
Numer zderzaka	Typ amortyzatora wstępnego	Skok amortyzatora wstępnego (obliczony) [mm]	Typ amortyzatora głównego	Skok amortyzatora głównego [mm]	Siła napięcia wstępnego zderzaka [kN]	Skok zderzaka (zmierzony) [mm]
1	elastomer stały KX-es-3	15,8	elastomerowy KX-C-2	85,2	23	105
2	–	–	z pierścieni gumowych 742-A-I 2825-A-M	105	10	105

Pierwsze badania charakterystyk zmontowanych zderzaków przeprowadzono przy temperaturze otoczenia 29°C, w słoneczny dzień, między godziną 11:00 a 12:00. Temperatura wewnątrz hali, w której wykonywano badania, wynosiła 24°C.

W celu osiągnięcia warunków badań zbliżonych do tych, w jakich zderzaki są eksploatowane, wybrane zderzaki 24 godziny przed badaniem przechowywano, eksponując je na działanie warunków atmosferycznych, łącznie z działaniem promieni słonecznych. Zderzaki transportowano pojedynczo na stanowisko badawcze bezpośrednio przed pomiarami, by do minimum ograniczyć wpływ temperatury urządzeń pomiarowych i wnętrza hali na wyniki badań. Po przeprowadzeniu pomiarów każdy zderzak nie-

zwłocznie powracał w miejsce przechowywania, gdzie zderzaki przebywały do momentu następnego badania. Przyjęta metodyka przeprowadzania badań zachowana była również w trakcie kolejnych badań.

Na rysunku 4 przedstawiono zbiorczy wykres prób zderzaka nr I, zmontowanego z użyciem elastomerowego amortyzatora głównego KX-C-2 oraz amortyzatora wstępnego KX-ES-3, wykonanego z elastomeru stałego. W trakcie badania wykonano trzy próby, w odstępach co 180 s, tego typu procedura obowiązuje przy badaniu zderzaków z amortyzatorami elastomerowymi. Na rysunku widać, że wykresy drugiej i trzeciej próby niemal w całości wzajemnie się pokrywają, a jednocześnie tylko nieznacznie różnią się od wykresu pierwszej próby, co może świadczyć o wysokiej stabilności pracy zderzaka tego typu. Nieznaczne różnice występują przede wszystkim w początkowej fazie ściskania amortyzatora głównego, spowodowane są zmianą lepkości i sprężystości elastomeru w amortyzatorze głównym oraz zmianą współczynnika sprężystości elastomeru stałego, z którego wykonany został amortyzator wstępny [15].



Rys. 4. Zbiorczy wykres trzech prób zderzaka elastomerowego

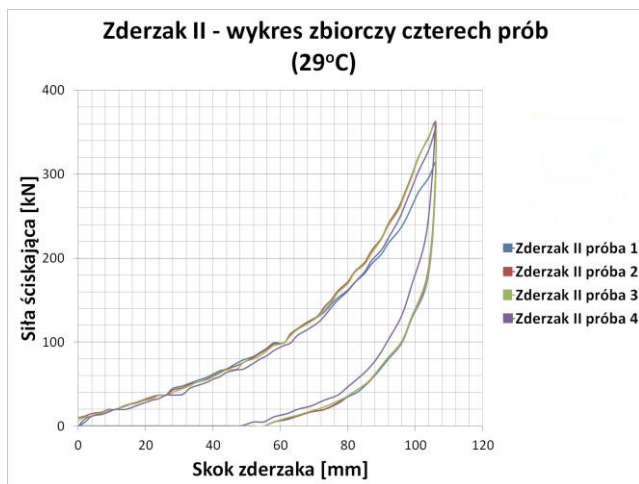
Przyczyną tego zjawiska jest wzrost temperatury elastomeru w wyniku zamiany pochłoniętej przez niego energii mechanicznej na energię cieplną.

Kolejnym zbadanym zderzakiem był zderzak nr II, którego budowa opisana została w rozdziale 3.1 i tabeli 1.

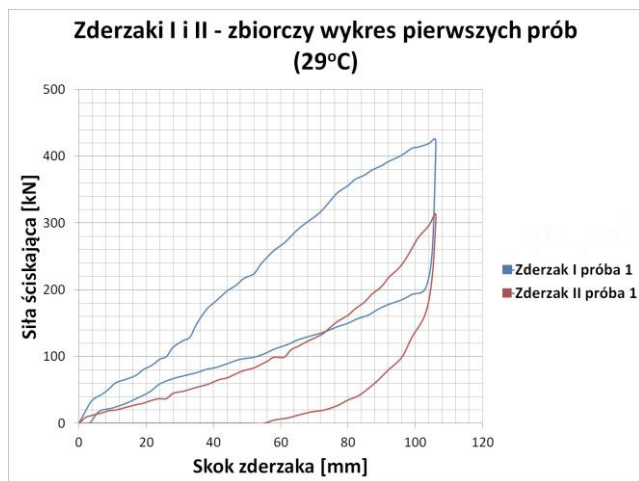
Zgodnie z zasadami badania zderzaków z amortyzatorami złożonymi z pierścieni gumowych badanie polegało na pięciokrotnym obciążeniu zderzaka siłą ścisnąjącą w odstępach co 60 s między kolejnymi próbami. Z uwagi na konstrukcję

(brak amortyzatora wstępnego) badany zderzak nie wykazuje progresywnej charakterystyki pracy.

Wykres zbiorczy czterech prób przedstawiono na rys. 5. Widać na nim, że charakterystyka zderzaka z amortyzatorem złożonym z pierścieni gumowych znacząco różni się od charakterystyki zderzaka z głównym amortyzatorem elastomerowym. W celu lepszego wykazania tej różnicy zestawiono ze sobą wykresy pierwszych prób zderzaków I i II, a zestawienie wykresów przedstawiono na rys. 6.



Rys. 5. Zbiorczy wykres czterech prób zderzaka z pierścieniami gumowymi



Rys. 6. Zbiorczy wykres pierwszych prób zderzaków I i II

Na wykresie zbiorczym widać, że oba typy zderzaków znacząco różnią się wartościami siły końcowej (zblokowania), duże różnice występują również w zakresie zdolności pochłaniania przyjętej energii. Warto również zwrócić uwagę na różnice między zapisami fazy stopniowej redukcji siły ściskającej (rys. 6). Zapis siły w funkcji drogi podczas powrotu tłoczyska prasy przedstawia w rzeczywistości zapis siły, z jaką oddziałuje rozprężający się zderzak. W przypadku zderzaka nr I, czyli elastomerowego, wartość siły spada do zera po 103 mm drogi powrotnej tulei zderzaka, natomiast w przypadku zderzaka nr II (z amortyzatorem z pierścieni gumowych) siła osiąga wartość zerową już po przebyciu przez tuleję 51 mm drogi powrotnej. Ma to wprawdzie istotny wpływ na zdolność pochłaniania energii, świadczy jednak o mniejszej sprężystości tego typu amortyzatora w porównaniu z amortyzatorem elastomerowym.

Na rysunku 5 zobrazowano również gorszą niż w przypadku zderzaków z amortyzatorami elastomerowymi stabilność charakterystyki pracy zderzaka z amortyzatorem z pierścieni gumowych. Można na nim dostrzec wyraźny wzrost siły końcowej (zblokowania) oraz spadek zdolności pochłaniania energii podczas kolejnych, następujących po sobie cykli pracy.

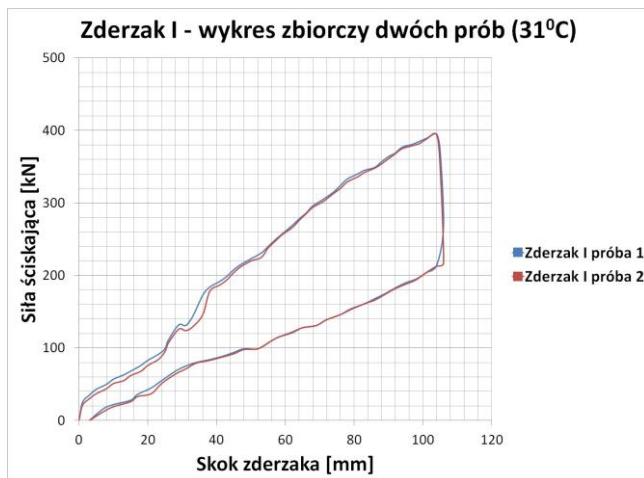
Zauważalny jest również wzrost współczynnika sprężystości. Różnice te, podobnie jak w przypadku zderzaka elastomerowego, są spowodowane wzrostem temperatury amortyzatora, będącym wynikiem zamiany pochłoniętej energii mechanicznej na energię cieplną. Stabilność charakterystyki tego zderzaka jest gorsza niż zderzaków elastomerowych, na uwagę zasługuje również stosunkowo szybki spadek siły oddziaływania amortyzatora do wartości zerowej, rejestrowanej podczas ruchu powrotnego tulei zderzaka.

Kolejne serie badań zderzaków przeprowadzono z zachowaniem procedury opisanej wyżej, badania różniły się temperaturą otoczenia, w którym były przetrzymywane zderzaki przez minimum 20 h poprzedzających badanie. Wyniki prób w różnych temperaturach przedstawiono w postaci wykresów zbiorczych, gdzie pokazano zmiany parametrów poszczególnych zderzaków wraz ze zmianą temperatury otoczenia oraz wykazanie ich różnice.

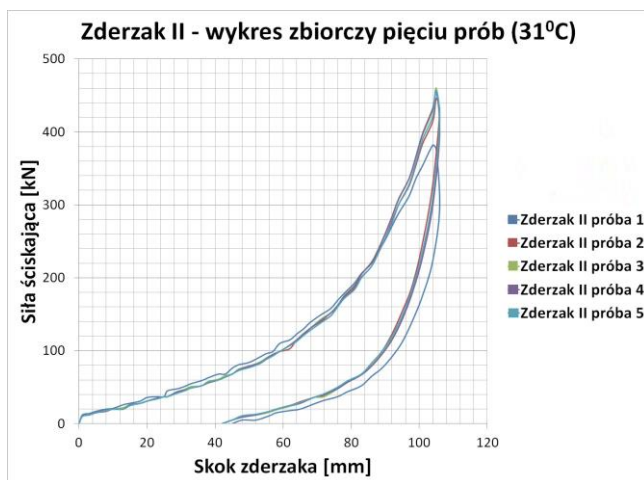
Na rysunku 7 przedstawiono zbiorczy wykres dwóch następujących kolejno po sobie prób zderzaka nr I, przeprowadzonych po pobycie zderzaków w temperaturze otoczenia 31°C. Można na nim zauważyć niewielki spadek siły zblokowania – z 433 do 394 kN w stosunku do badań po pobycie zderzaków w temperaturze 29 °C, przy zachowanej dużej stabilności charakterystyki.

Zderzak z amortyzatorem z pierścieni gumowych (nr II), podobnie jak podczas próby po pobycie w temperaturze otoczenia 29°C, w temperaturze 31°C również wy-

kazał się mniejszą stabilnością charakterystyki niż zderzak z amortyzatorami elastomerowymi. Na rysunku 8 przedstawiono zbiorczy wykres prób zderzaka nr II.

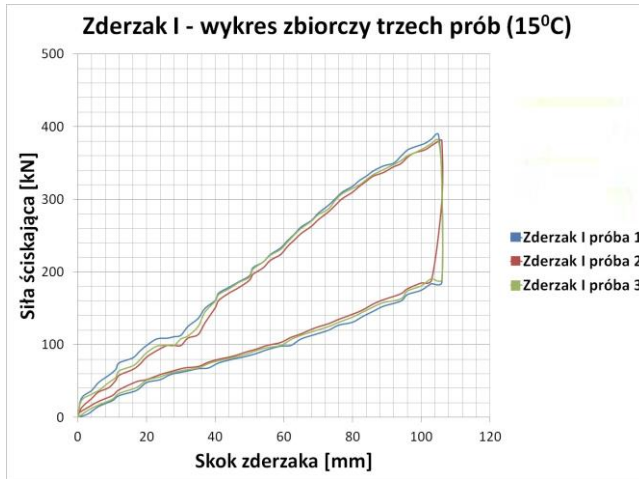


Rys. 7. Zbiorczy wykres prób zderzaka nr I (temperatura otoczenia 31°C)

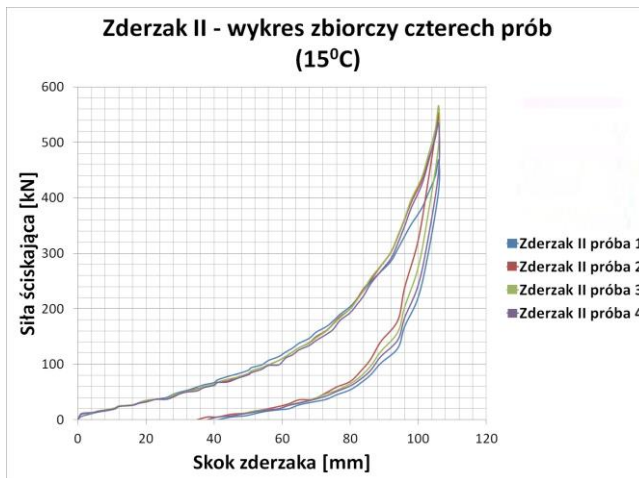


Rys. 8. Zbiorczy wykres prób zderzaka nr II (temperatura otoczenia 31°C)

Kolejne próby zostały przeprowadzone po pobycie zderzaków w temperaturze otoczenia 15°C. Zapisy prób w postaci zbiorczych wykresów zaprezentowano na rys. 9 i 10.



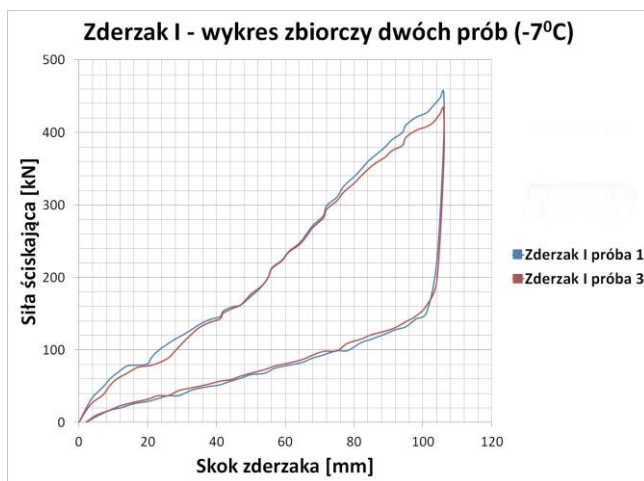
Rys. 9. Zbiorczy wykres prób zderzaka nr I temperatura otoczenia 15°C



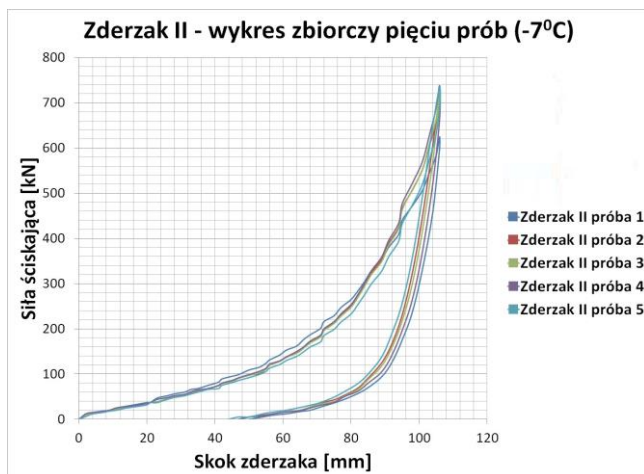
Rys. 10. Zbiorczy wykres prób zderzaka nr II (temperatura otoczenia 15°C)

Na rysunkach tych widać, że w aspekcie stabilności charakterystyk w kolejnych, następujących po sobie w krótkich odstępach czasu próbach zderzak z elastomerowymi amortyzatorami cechuje większa stabilność charakterystyki niż zderzak z amortyzatorem gumowym – podobnie jak podczas prób po pobycie zderzaków w temperaturach otoczenia 29 i 31°C. Zauważalny jest natomiast znaczny wzrost siły zblokowania zderzaków z amortyzatorami gumowymi – o ponad 100 kN w porównaniu do prób przeprowadzonych w temperaturach 29 i 31°C.

Ostatnie próby przeprowadzono po pobycie badanych zderzaków w temperaturze  $-7^{\circ}\text{C}$ . Również w temperaturze ujemnej stabilność charakterystyki zderzaka z amortyzatorami elastomerowymi jest większa niż zderzaka z amortyzatorem gumowym. Jednak w porównaniu do próby po pobycie zderzaków w temperaturze  $31^{\circ}\text{C}$  stabilność ta w zauważalny sposób pogorszyła się. Wzrosła również znacząco siła zblokowania, jednakże jej przyrost jest mniejszy niż w przypadku zderzaka z amortyzatorem gumowym. Wykresy prób po pobycie badanych zderzaków w temperaturze  $-7^{\circ}\text{C}$  przedstawiono na rys. 11 i 12.



Rys. 3.11. Zbiorczy wykres prób zderzaka nr I (temperatura otoczenia  $-7^{\circ}\text{C}$ )

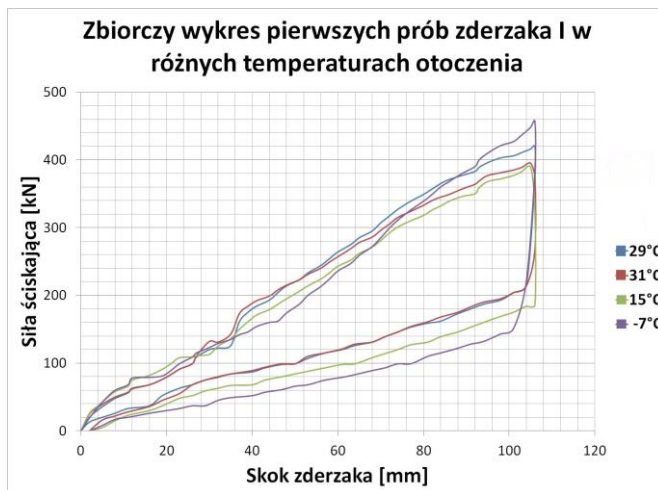


Rys. 12. Zbiorczy wykres prób zderzaka nr II (temperatura otoczenia  $-7^{\circ}\text{C}$ )

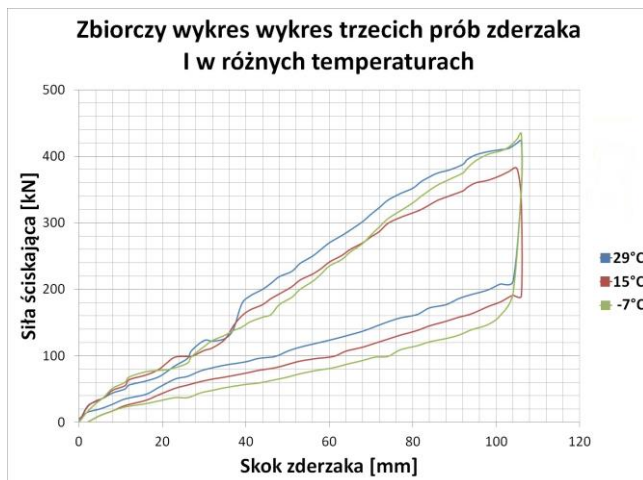


Warto również zwrócić uwagę na tendencje zmian wartości siły zblokowania w ramach serii prób przeprowadzonych w identycznej temperaturze. W przypadku zderzaka z amortyzatorami elastomerowymi siła zblokowania w trakcie kolejnych, następujących po sobie prób ma tendencję malejącą, natomiast w przypadku zderzaka z amortyzatorem gumowym siła zblokowania w trakcie kolejnych, następujących po sobie prób znacząco rośnie. Wyraźnie widać to na rys. 11 i 12 przedstawiających zbiorcze wykresy prób.

Na kolejnych rysunkach przedstawiono zbiorcze wykresy pierwszych i ostatnich prób przeprowadzonych w różnych temperaturach. Zestawienia te wykonano w celu zobrazowania wpływu temperatury otoczenia na charakterystyki zderzaków z różnymi typami amortyzatorów. Szczególne znaczenie mają zapisy pierwszych prób, gdyż stanowią one symulację pracy zderzaka po dłuższym okresie bezczynności, w warunkach ekspozycji na zróżnicowane warunki pogodowe. Zgodnie z metodyką badań zderzaków opisaną w [10], [14], [17], temperatura 15°C jest minimalną, przy której powinno się przeprowadzać próby zderzaków w celu określenia ich charakterystyki. Na rysunku 13, przedstawiającym zbiorczy wykres pierwszych prób zderzaka nr I przeprowadzonych w różnych temperaturach, można zauważyć, że wraz ze wzrostem temperatury otoczenia powyżej 15 °C siła zblokowania rośnie w niewielkim stopniu, wyraźnie spada natomiast zdolność pochłaniania energii przyjętej przez zderzak. Zbiorczy wykres trzecich prób przeprowadzonych w różnych temperaturach (rys. 14) wykazuje wzrost różnicy sił zblokowania w porównaniu do prób pierwszych. Zdolność pochłaniania energii rośnie, odmiennie niż w przypadku prób pierwszych.



Rys. 13. Zbiorczy wykres pierwszych prób zderzaka nr I (różne temperatury)



Rys. 14. Zbiorny wykres trzech prób zderzaka nr I (różne temperatury)

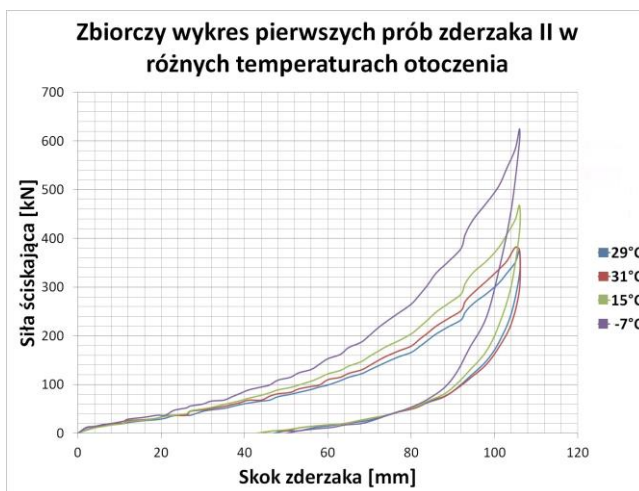
Warto zwrócić uwagę na zapisy w przedziale  $[0, 26]$  mm skoku zderzaka, będące zapisami pracy elastomerowego amortyzatora wstępnego. Wyraźnie widać zmiany wykresu siły w funkcji skoku w zależności od temperatury otoczenia oraz znaczne zmiany zdolności pochłaniania przyjętej energii przez amortyzator wstępny. Zmiany te wykazują tendencję podobną do wykazywanej przez amortyzator główny.

Różnica wartości sił zblokowania, uzyskanych w minimalnej i maksymalnej temperaturze, w przypadku zderzaka nr I przy pierwszych próbach wynosi 62 kN, co stanowi 15,7% siły uzyskanej w temperaturze 31°C, a dla prób trzecich 40 kN, czyli 10,1%. Świadczy to o tendencji do stopniowej stabilizacji charakterystyki w miarę przyrostu liczby kolejnych cykli pracy zderzaka.

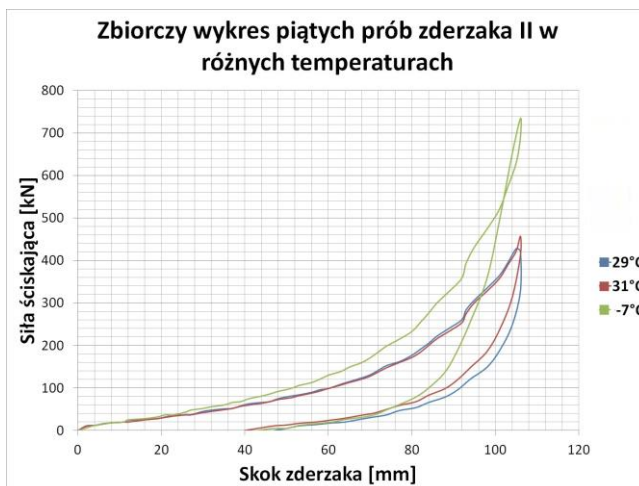
Na rysunkach 15 i 16 przedstawiono zbiorcze zapisy pierwszych i piątych prób zderzaka nr II. Uwagę zwraca tu większa niż w przypadku zderzaków elastomerowych różnica siły zblokowania między próbami przeprowadzonymi w temperaturach minimalnej i maksymalnej. W przypadku pierwszych prób różnica wyniosła 249 kN, natomiast w próbach piątych 277 kN, czyli odpowiednio 66,2% i 60,6% przyrostu wartości siły zblokowania w miarę obniżania się temperatury.

Jak już napisano w rozdziale 2 niniejszego artykułu, siła zblokowania współcześnie eksploatowanych zderzaków powinna zawierać się w przedziale od 400 do 1000 kN. Według prac [14] i [7] rzeczywiste charakterystyki zderzaków z amortyzatorami z pierścieni gumowych najczęściej znacznie różnią się od teoretycznej charakterystyki tego typu zderzaka, przedstawionej na rys. 17 niniejszego artykułu. Opinię tę potwierdzono

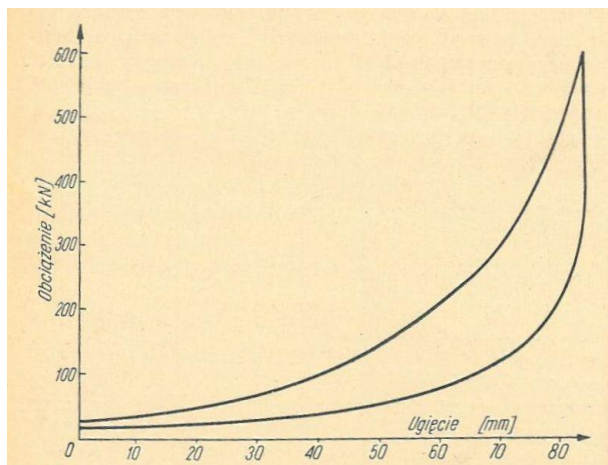
na rys. 16. Dotyczy to przede wszystkim kształtu pętli histerezy (stosunkowo szybki całkowity zanik siły oddziaływania zderzaka podczas drogi powrotnej tulei – 40 mm przed całkowitym rozprężeniem uprzednio ściśniętego zderzaka) oraz wartości siły zblokowania, która w temperaturach wyższych niż 15°C spadała poniżej wymaganych 400 kN, natomiast po obniżeniu temperatury otoczenia z 31°C do -7 °C jej wartość wzrosła o ponad 60%. Może to świadczyć o dużej wrażliwości amortyzatora gumowego na zmiany temperatury.



Rys. 15. Zbiorczy wykres pierwszych prób zderzaka nr II (różne temperatury)



Rys. 16. Zbiorczy wykres piątych prób zderzaka nr II (różne temperatury)



Rys. 17. Teoretyczna charakterystyka amortyzatora z pierścieni gumowych z uwzględnieniem tłumienia [14]

W tabeli 2 zestawiono wyniki przeprowadzonych prób.

Tabela 2. Zestawienie wyników badań charakterystyki zderzaków

Symbol rodzaju zderzaka	Minimalna, zarejestrowana podczas prób siła zblokowania [kN]	Maksymalna, zarejestrowana podczas prób siła zblokowania [kN]	Przyrost wartości siły zblokowania po obniżeniu temperatury z 31°C do -7°C		Zmiana wartości siły zblokowania dla kolejnych prób w temperaturze 15 °C wraz z określeniem tendencji zmiany [%]
			pierwsze próby w seriach [%]	ostatnie próby w seriach [%]	
I	381 (15)**	** 457 (-7)**	15,7	10,1	↓ 2,1*
II	314 (29)**	** 738 (-7)**	66,2	60,6	↑ 13,9*

\* ↑ – wartość rosła, ↓ – wartość maleje; \*\* – w nawiasach podano temperaturę w [°C], przy której dokonano rejestracji wartości siły.

Analizując wyniki przeprowadzonych badań, można dostrzec, że spośród przebadanych zderzaków jedynie zderzak wyposażony w amortyzatory elastomerowe spełnia wymagania stawiane współcześnie eksploatowanym zderzakom zarówno pod względem siły zblokowania, wielkości przyjmowanej i pochłanianej energii, jak i pod względem stabilności charakterystyki; podczas serii następujących po sobie prób maksymalna różnica sił zblokowania zderzaka z amortyzatorem elastomerowym wyniosła 2,1%; w przypadku zderzaków z amortyzatorem gumowym różnica przekroczyła 13%. O większej

odporności zderzaków elastomerowych na zmiany temperatury otoczenia świadczą wyniki przyrostu wartości siły zblokowania po obniżeniu temperatury otoczenia, wyrażone w % wartości siły zmierzonej w temperaturze najwyższej.

Szczególnie niekorzystna, w aspekcie ryzyka odkształcenia elementów ostoi wagonowej, jest mała wartość siły zblokowania w połączeniu z małą wartością pochłanianej energii, gdyż oznacza ona jednocześnie małą wartość energii zderzenia, którą zdolny jest przyjąć zderzak do momentu jego zblokowania. W sytuacji, gdy ilość energii zużytej na pełne odkształcenie amortyzatora zderzaka jest zbyt mała, pozostała część energii zderzenia zostanie zużyta na odkształcenie elementów ostoi; może wówczas dojść do przekroczenia granicy odkształcenia sprężystego elementów ostoi, czego efektem będzie jej trwała deformacja lub uszkodzenie.

W tym kontekście warto zwrócić uwagę na wyjątkowo małe wartości siły zblokowania zarejestrowane podczas badania zderzaka nr II, czyli wyposażonego w amortyzator gumowy. Mały wynik (314 kN) odnotowano podczas pierwszej próby w serii po pobycie zderzaków w temperaturze 29°C. W warunkach eksploatacji wagonów odpowiada to sytuacji, w której wagon po długim okresie bezczynności, w warunkach ekspozycji na działanie wysokiej temperatury otoczenia, zostaje stoczony z górkę rozrządowej i najeżdża na inny pojazd (według [11], [12]). Przy tak małych wartościach siły zblokowania zderzaków i stosunkowo dużej energii kinetycznej swobodnie przemieszczającego się wagonu ryzyko uszkodzenia ostoi wagonu znacząco rośnie.

Z autorskich obserwacji dokonanych w okresie trzech lat praktyki zawodowej wynika, że bardziej podatne na zużycie i uszkodzenie są zderzaki z amortyzatorami gumowymi. Z liczby 432 eksploatowanych zderzaków, z których jedna połowa to zderzaki z amortyzatorem gumowym, a druga zderzaki z elastomerowym amortyzatorem głównym, w okresie trzech lat uszkodzeniu uległy 23 zderzaki z amortyzatorem gumowym i 12 z elastomerowym amortyzatorem głównym. W przypadku tych ostatnich uszkodzeniu ulegały amortyzatory wstępne (z elastomeru stałego lub sprężyny śrubowej), nie odnotowano natomiast uszkodzenia amortyzatora głównego. Obserwacje te znajdują potwierdzenie w bibliografii [1], [7], [14].

Po analizie wyników badań zderzaków nasuwają się również pewne spostrzeżenia odnośnie do samej metody badań. Metoda ta zakłada przeprowadzenie po sezonowaniu badanych zderzaków w temperaturze minimum 15°C, przez co najmniej 20 h pięciu prób w przypadku zderzaków z amortyzatorem gumowym lub trzech przy badaniu zderzaków z amortyzatorem elastomerowym w określonych odstępach czasu, a za reprezentatywny uznaje się wynik ostatniej próby. Zgodnie z tymi regułami próba przeprowadzona po sezonowaniu zderzaków w temperaturze 15°C jest w pełni miarodajną.

Zdaniem autora artykułu w świetle wyników przeprowadzonych badań zasady te wydają się słuszne jedynie w przypadku zderzaków z elastomerowym amortyzatorem głównym.

Przesłankami do takiego wniosku są tendencje zmian wartości siły zblokowania oraz ich skala. W przypadku zderzaków z amortyzatorem elastomerowym wartość siły zblokowania wraz z kolejnymi, następującymi po sobie cyklami pracy zderzaka spada o stosunkowo niewielką wartość, zasadnym jest więc ustalenie w toku badań, czy wartość ta nie spadnie poniżej wymaganych 400 kN. Badania prowadzone według wyżej opisanych zasad mogą to wykazać.

Inaczej jest w przypadku zderzaków z amortyzatorami gumowymi. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań wykazano, że siła zblokowania znacząco rośnie wraz z liczbą cykli pracy zderzaka następującymi po sobie w krótkich odstępach czasu; ponadto wykazano ich dużą wrażliwość na zmianę temperatury otoczenia, przejawiającą się znacznym spadkiem siły zblokowania wraz ze wzrostem temperatury otoczenia. Biorąc to pod uwagę, można z wysokim prawdopodobieństwem założyć, że zderzak badany w temperaturze 15°C i według zasad opisanych wyżej zostanie zakwalifikowany jako spełniający wymagania (rys. 10). Tak zakwalifikowany zderzak zamontowany do wagonu i poddany dużemu obciążeniu po długim czasie bezczynności, z jednoczesną ekspozycją na wysoką temperaturę może stać się przyczyną uszkodzenia czołownicy, gdyż w tym momencie jego siła zblokowania będzie znacząco niższa (rys. 5 i 8). Obserwacje i doświadczenie eksploatacyjne potwierdzają, że uszkodzenia czołownicy dotyczą najczęściej wagonów wyposażonych w zderzaki z amortyzatorami gumowymi.

## 4. Podsumowanie i wnioski

Podsumowując zebrany na potrzeby pracy materiał oraz wyniki przeprowadzonych badań, można stwierdzić, że ze względu na właściwości eksploatacyjne i efekty ekonomiczne korzystne jest zastosowanie w wagonach zderzaków z amortyzatorami elastomerowymi. Za takim rozwiązaniem przemawia duża niezawodność konstrukcji, większa stabilność charakterystyki i większa ochrona konstrukcji wagonu przed uszkodzeniem oraz lepsze zabezpieczenie przed uszkodzeniem przewożonego ładunku. Szczególnie znaczenie ma to w przypadku przewozu ładunków niebezpiecznych oraz ładunków o dużej podatności na uszkodzenia mechaniczne.

Lepsza ochrona przed uszkodzeniem konstrukcji wagonu ma również wpływ na wskaźnik zdadności eksploatowanego taboru i koszt przeprowadzanych napraw okreso-

wych wagonów, gdyż np. wymiana uszkodzonej czołownicy wagonu jest operacją technologicznie skomplikowaną i czasochłonną.

Odnosnie do badań zderzaków po naprawie nasuwa się wniosek dotyczący niepewności wyników badań zderzaków z amortyzatorami gumowymi. W związku z dużą niestabilnością charakterystyki tego typu zderzaków zasadne wydaje się uwzględnienie wyników ostatniej i pierwszej próby w serii oraz dążenie do przeprowadzania prób po sezonowaniu zderzaków w temperaturze znacząco wyższej niż wymagana przy tego rodzaju próbach. Nie należy również kwalifikować zderzaków, których wyniki pomiaru siły zblokowania w niewielkim stopniu przekraczają wymagane minimum, tj. 400 kN, jako zdadne do użytku, gdyż istnieje duże prawdopodobieństwo, że w temperaturze otoczenia powyżej 30°C taki zderzak może być przyczyną uszkodzenia ostoi wagonu. Rozwiązaniem tego problemu może być stopniowa rezygnacja z użytkowania zderzaków z amortyzatorami gumowymi i zastępowanie ich zderzakami z amortyzatorami elastomerowymi w ramach przeprowadzanych napraw głównych wagonów, będących jednocześnie okazją do ich modernizacji.

## Literatura

- [1] Boltech Sp. z o.o., *Dokumentacja Systemu Utrzymania Wagonów-Cystern typu 408 R i 434 R*, nr 01/408R-434R/2017.
- [2] CRACIUN C., DUMITRIU M., *The Use of Rubber as Elastic and Damping Elementat Buffers Equipping Railway Vehicles*, University Politechnica of Bucharest, 313 Splaiul Independenței, 0600042, Bucharest, Romania, *Materiale Plastice (Mater. Plast.)*, 2016, Vol. 53, Iss. 2, pp. 295–297.
- [3] JIN-XIAN ZHAI, ZHENG-YANG QU, YE-CHENG ZOU, XIAO-YAN GUO, RONG-JIE YANG, *Study on preparation and properties of polyether polytriazole elastomers*, *Chinese Journal of Polymer Science*, 2015, 33 (4), 597–606, <https://doi.org/10.1007/s10118-015-1610-6>
- [4] LOBEZ J.M., SWAGER T.M., *Disassembly of Elastomers: Poly(olefin sulfone)-Silicones with Switchable Mechanical Properties*, *Macromolecules*, 2010, 43 (24), 10422–10426. <https://doi.org/10.1021/ma101980j>
- [5] KRZYŻAK D., Łagoda T., *Analiza przyczyn rozerwań pociągów towarowych spowodowanych zerwaniem drąga haka ciągowego*, *Przegląd Komunikacyjny*, 2014, 3.
- [6] MANASHKIN L., MYAMLIN S., PRIKHODKO V., *Oscillation Dampers and Shock Absorbers in Railway Vehicles (Mathematical Models)*, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Ministry of Transport and Communication of Ukraine, Monograph, 2009.
- [7] MARCZEWSKI R., PŁOŃCZAK Z., PODEMSKI J., *Wagony towarowe. Poradnik techniczny*, WKŁ, Warszawa 1978.
- [8] MARCZEWSKI R., PODEMSKI J., *Wagony kolejowe. Odsprężynowanie*, WKŁ, Warszawa 1978.
- [9] PIECHOWIAK T., *Longitudinal dynamics of the rail vehicles*, *Journal of Mechanical and Transport Engineering*, 2017, Vol. 69, No. 4, DOI: 10.21008/j.2449-920X.2017.69.4.04.
- [10] PKP CARGO S.A. Biuro Wsparcia Technicznego, *Proces Technologiczny Naprawy Wagonu Węglarki Budowy Normalnej Grupa 11 Urządzenia Ciągłowe*, Poznań 2014.

- [11] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., *Instrukcja o prowadzeniu ruchu pociągów Ir-1. Tekst ujednolicony.*
- [12] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., *Instrukcja o technice wykonywania manewrów Ir-9.* Załącznik do zarządzenia nr 6/2012 Zarządu Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 24 stycznia 2012 r., Warszawa 2012.
- [13] PODEMSKI J., MARCZEWSKI R., *Wagony kolejowe. Hamulce*, WKŁ, Warszawa 1984.
- [14] PODEMSKI J., MARCZEWSKI R., *Wagony kolejowe. Urządzenia ciąglowe i zderzakowe*, WKŁ, Warszawa 1979.
- [15] ROBERT E., SINGLER R.E., GARY L., HAGNAUER G.L., RICHARD W., SICKA R.W., *Polyphosphazene Elastomers: Synthesis, Properties, and Applications, Elastomers and Rubber Elasticity*, ACS Symposium Series, (b.r.w.), Vol. 193, Chapter 11, pp. 229–242.
- [16] SINGLER R.E., GARY L., HAGNAUER G.L., RICHARD W., SICKA R.W., *Polyphosphazene Elastomers: Synthesis, Properties, and Applications, Elastomers and Rubber Elasticity*, ACS Symposium Series, 1982, Vol. 193, Chapter 11, pp. 229–242, DOI: 10.1021/bk-1982-0193.ch011.
- [17] [http:// https://www.transportszynowy.pl/Kolej/kolsprzegi](http://https://www.transportszynowy.pl/Kolej/kolsprzegi) [dostęp: 18.02.2022].



# Proces hamowania pociągów towarowych. Badania na symulatorze hamulca pneumatycznego pociągu należącym do Instytutu Kolejnictwa

The freight train's braking process.  
Tests on the IK's (Railway Institute's) Static Train Brake Simulator

PAWEŁ URBAŃCZYK

Pracownia Hamulców, Instytut Kolejnictwa, ul. Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa, Polska

**Abstrakt:** Proces hamowania pociągów towarowych wydaje się być już dobrze opisany i opracowanym teoretycznie. Jednakże ta wiedza teoretyczna dostępna i zrozumiała jest dla stosunkowo wąskiego grona specjalistów zajmujących się zjawiskami i problemami występującymi podczas hamowania pociągu. Z tego powodu w Pracowni Hamulców Instytutu Kolejnictwa zrodził się pomysł stworzenia praktycznego narzędzia służącego do oceny skuteczności hamulca pociągu, które byłoby pomocne dla maszynistów podczas ich codziennej pracy, a także podczas szkoleń służących podnoszeniu kwalifikacji. Narzędzie to musi uwzględniać szczególnie skomplikowane zjawiska hamowania pociągów o składzie mieszanym, czyli wyposażonych zarówno we wstawki hamulcowe żeliwne, jak i kompozytowe. Pracę podzielono na kilka etapów, a w niniejszym artykule opisano etap badań wykonywanych na znajdującym się w Pracowni Hamulców Instytutu Kolejnictwa w Krakowie symulatorze hamulca pneumatycznego pociągu.

**Abstract:** The freight train braking process seems to be already well described and theoretically analysed. However, this theoretical knowledge is available and understandable to a relatively narrow group of specialists dealing with the phenomena and problems that occur during the process of train braking. For this reason, the Brake Laboratory of the Railway Institute came up with the idea of creating a practical tool for evaluating the efficiency of a train's brake, which would be an aid to train drivers during their daily work, as well as during training to improve their skills. This tool should take into account the complex phenomena of mixed-trains braking process (the trains equipped with both cast-iron and composite/organic brake inserts). The project has been divided into several steps. In this this article the

tests performed on the Static Train Brake Simulator (located at the Brakes Laboratory of the Railway Institute in Kraków has been described.

## 1. Wprowadzenie

W Europie przyjęto, że dla tzw. klasycznych pojazdów kolejowych (którymi są zarówno pociągi pasażerskie i towarowe, jak też zespoły trakcyjne, pociągi zespolone i lekkie pojazdy szynowe służące do przewozu pasażerów oraz wiele innych pojazdów), jeżeli ich prędkość maksymalna nie przekracza 200 km/h, skuteczność hamulca wyrażana jest za pomocą masy hamującej  $B$  [t] oraz procentu masy hamującej  $l$ .

Wartości  $B$  i  $l$  wyznaczane są podczas badań wykonywanych przed dopuszczeniem do eksploatacji pojazdu nowego lub modernizowanego, a następnie wartość masy hamującej opisywana jest na pojeździe w sposób ściśle znormalizowany.

Metoda oceny skuteczności hamulca pojazdów kolejowych z wykorzystaniem obydwu opisanych wyżej parametrów okazała się bardzo praktyczna i dość prosta w stosowaniu przez wykwalifikowany personel. Najważniejszym dokumentem dotyczącym tej metody jest karta UIC 544-1 [1].

Niestety, ze względu na fakt, że metoda ta została wprowadzona w czasach, gdy dominującym na kolei rozwiązaniem był hamulec klockowy ze wstawkami żeliwnymi, a obecnie w pojazdach pasażerskich dominują hamulce tarczowe, z kolei w wagonach towarowych hamulce klockowe wyposażone we wstawki z materiałów innych niż żeliwo (np. organiczne lub ze spieków metali), w pewnych sytuacjach zaobserwować można wady tego powszechnie stosowanego sposobu oceny skuteczności hamulca.

Co ważne, wady te mogą prowadzić do błędów w ocenie skuteczności hamulca, szczególnie dla:

- zespołów trakcyjnych, w których skuteczność hamulca jest samoczynnie dostosowywana do masy pojazdu,
- pociągów towarowych, w których składzie znajdują się zarówno wagony z hamulcem klockowym ze wstawki żeliwnymi, jak i wagony ze wstawkami nieżeliwnymi.

W sposób szczegółowy powyższe problemy omówione zostały m.in. w pracy [2]. Warto jednak przypomnieć, że najistotniejszą przyczyną ograniczeń i niedoskonałości metody oceny skuteczności hamulca kolejowego za pomocą masy hamującej i procentu masy hamującej jest trudność w uwzględnieniu istotnych przeciw różnic w charak-

terystykach materiałów ciernych (zależność współczynnika tarcia od prędkości) stosowanych we współczesnych pojazdach.

## 2. Cel pracy

Problemy związane z wyznaczaniem skuteczności hamulca pociągów, których wagony wyposażone są zarówno we wstawki hamulcowe żeliwne, jak i wykonane z innych materiałów (nazywane dalej w tym artykule „pociągami o składzie mieszanym”), znane są już od kilkudziesięciu lat i nie są zaskoczeniem dla osób profesjonalnie zajmujących się zagadnieniami związanymi z procesem hamowania.

Niepokojącym natomiast jest fakt, że osoby codziennie posługujące się hamulcem, czyli maszyniści, mają dość słabo ugruntowaną wiedzę na temat zachowania się pociągu o składzie mieszanym podczas hamowania, a obowiązujące ich przepisy, m.in. [3] oraz [4], nie zawierają zbyt wielu szczegółów dotyczących tego tematu.

Aby pomóc w podniesieniu kwalifikacji maszynistów, postawiono sobie za cel opracowanie praktycznego, prostego w użyciu narzędzia, służącego do szacowania skuteczności hamulca pociągu w funkcji:

- prędkości początkowej,
- procentowego udziału wagonów ze wstawkami niezeliwnymi w pociągu.

## 3. Etapy pracy

Kolejnymi etapami pracy są:

- opracowanie programu symulującego proces hamowania pojedynczego wagonu,
- rozwój programu do wersji symulującej proces hamowania pociągu,
- wykonanie badań podczas hamowania,
- weryfikacja poprawności działania programu w oparciu o wyniki badań,
- udoskonalenie programu symulującego,
- stworzenie narzędzia przydatnego dla maszynistów.

Pierwszy etap, czyli stworzenie programu symulującego proces hamowania pojedynczego wagonu, został zakończony. W tym artykule nie będzie on szczegółowo omawiany, natomiast na rys. 1 przedstawiono zrzut ekranu z danymi wejściowymi, a na rys. 2 przykład uzyskiwanych wyników.

Etap drugi (program umożliwiający symulację dla pociągu) jest w trakcie realizacji.

Etap trzeci, czyli wykonanie badań służących do oceny poprawności działania programowych „symulatorów” procesu hamowania do ich udoskonalenia jest obecnie również realizowany. Zostanie on szczegółowo opisany w tym artykule.

Dane wejściowe:	Dane pociągu:	STOP
v.pocz [km/h] 100	masa pociągu m [t] 80	Przerwanie obliczeń STOP
Przedział czasowy delta t [s] 0.1	Max całkowita siła nac. klocków F.c.kloc.max [kN] 480.0	
Czas martwy t.m [s] 2.0	liczba wagonów pociągu n.w 1	
	liczba osi pociągu n.o 4	

Rys. 1. Program symulujący proces hamowania pojedynczego wagonu (wprowadzanie danych)

Wyniki:					
t.o [s]	u.F.ham	F.oporu [kN]	v.o [km/h]	delta s [m]	a [m/s <sup>2</sup> ]
0.0	0.00	0.1	0.0	0.0	0.15
t.F [s]	mi	F.c.kloc.o [kN]	v.k	S [m]	
0	0.000	0.1	0.0	0	
		F.ham [kN]			
		0.1			
		F.opozn [kN]			
		0.1			

Rys. 2. Program symulujący proces hamowania pojedynczego wagonu (ekran wyników)

## 4. Symulator hamulca pneumatycznego pociągu

Instytut Kolejnictwa posiada stanowisko badawcze (rys. 1 i 2) zbudowane z elementów układu hamulca pneumatycznego rzeczywistych wagonów – zarówno pasażerskich, jak i towarowych.

Stanowisko to nazywane dalej „symulatorem hamulca pneumatycznego pociągu” znajduje się na terenie Pracowni Hamulców IK w Krakowie, na ul. Półnanki 1.

Powyższej opisane stanowisko umożliwia symulowanie zarówno pociągu złożonego z bardzo różnorodnych wagonów, jak i skonfigurowanie składu jednorodnego.

Możliwa jest na nim symulacja:

- pociągu pasażerskiego złożonego z maksymalnie 25 wagonów,
- pociągu towarowego złożonego z maksymalnie 125 wagonów,
- pociągu złożonego z wagonów towarowych i pasażerskich (maks. 150 wagonów).

Sterowanie hamulcem symulowanego pociągu możliwe jest:

- „ręcznie” za pomocą pneumatycznego zaworu głównego maszynisty,
- „automatycznie” za pomocą skomputeryzowanego systemu sterowania,
- za pomocą lokomotywy (bezpośrednio obok symulatora znajduje się tor).

Najważniejszymi elementami prawdziwych wagonów, które tworzą symulator hamulca pociągu, są:

- przewód główny o średnicy 1" dla wagonów pasażerskich i 5/4" dla towarowych,
- zawory rozrządzące systemu Oerlikon ESt (zamontowane na stanowisku),
- zawory rozrządzące dowolnego systemu (zamontowane na mobilnych ramach),
- zbiorniki pomocnicze o pojemności 52–260 litrów,
- cylindry hamulcowe o średnicy 12–16" (skok tłoka regulowany: 70–170 mm).

Symulator podzielony jest na następujące segmenty, z których każdy obejmuje 25 wagonów o zbliżonej konstrukcji:

- Segment I (wagony pasażerskie),
- Segmenty II–VI (wagony towarowe).

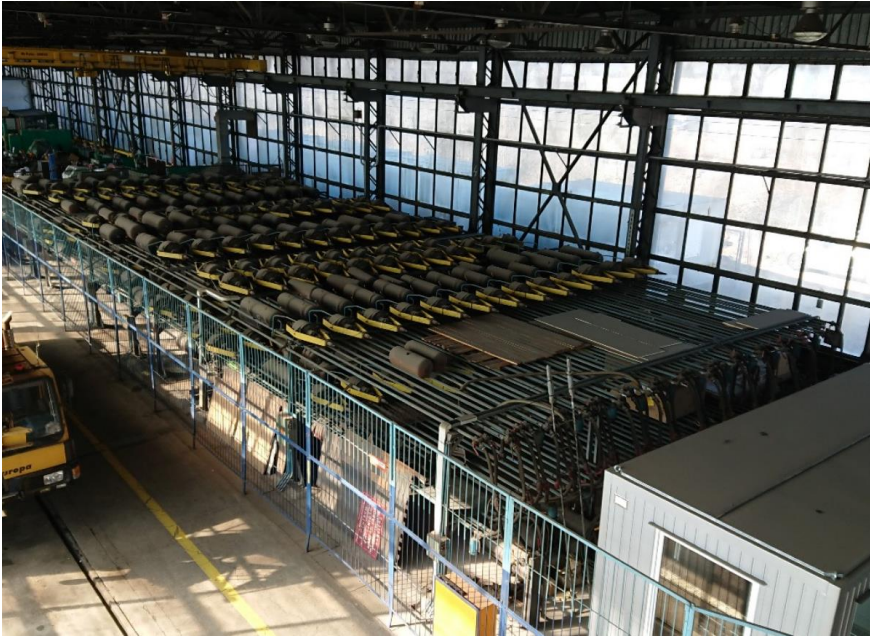
W tabeli 1 przedstawiono szczegółowo dane wagonów znajdujących się w poszczególnych segmentach, natomiast na rysunkach 3–5 zdjęcia stanowiska.

Maksymalna długość symulowanego pociągu wynosi:

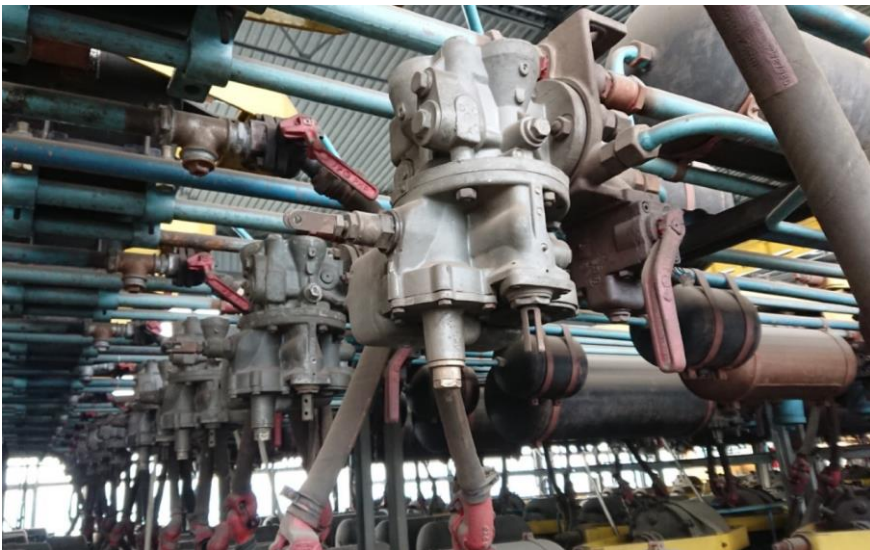
- 587,5 m dla pociągu pasażerskiego,
- 1712,5 m dla pociągu towarowego,
- 2300,0 m dla pociągu złożonego z wagonów pasażerskich i towarowych.

Tabela 1. Segmenty symulatora hamulca pneumatycznego pociągu należącego do IK w Krakowie

Segment	Długość wagonu [m]	Długość pociągu [m]
I	23,5	587,5
II	13,5	337,5
III	9,0	225,0
IV	23,5	587,5
V	12,0	300,0
VI	10,5	262,5



Rys. 3. Symulator hamulca pneumatycznego pociągu należący do IK  
(Pracownia Hamulców w Krakowie)



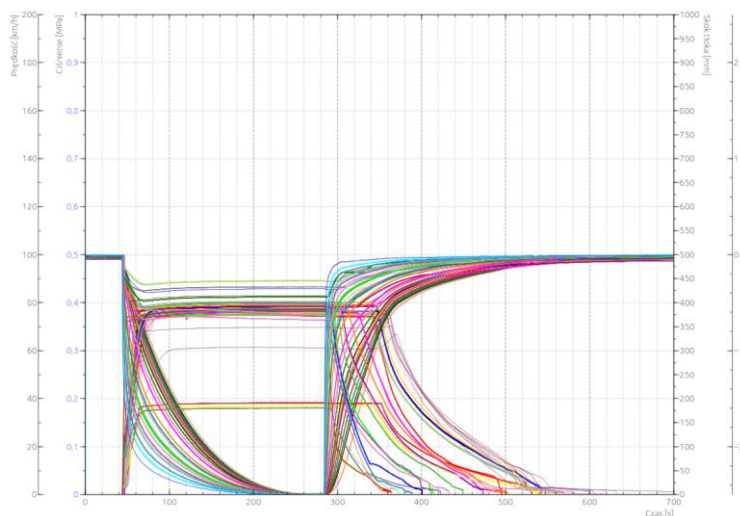
Rys. 4. Symulator hamulca pneumatycznego pociągu należący do IK Kraków.  
Zawory rozrządne symulowanych wagonów



Rys. 5. Symulator hamulca pneumatycznego pociągu należący do IK Kraków. Cylindry hamulcowe

## 5. Badania na symulatorze hamulca pneumatycznego pociągu

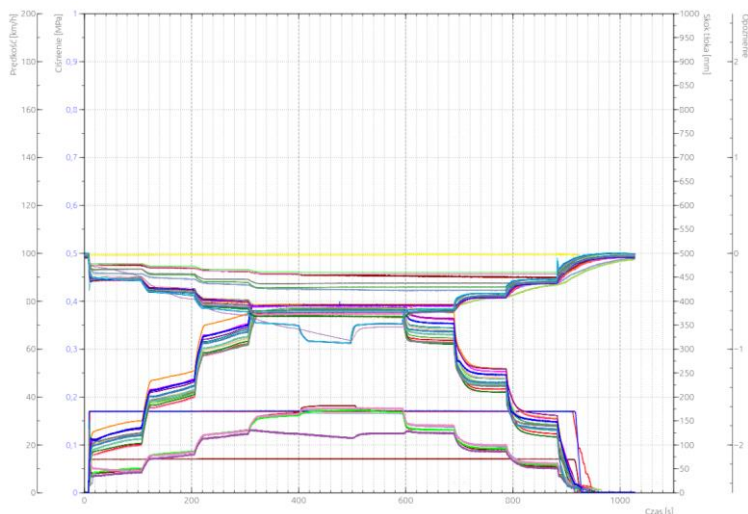
Badania, których wyniki mają posłużyć do weryfikacji poprawności działania programu symulującego proces hamowania pociągu, są obecnie w fazie początkowej.



Rys. 6. Hamowanie nagle 50-wagonowego pociągu towarowego. Wyniki próby przeprowadzonej na symulatorze hamulca pneumatycznego pociągu należącym do IK Kraków. Ciśnienia w cylindrach hamulcowych i przewodzie głównym w funkcji czasu



Z tego powodu przedstawienie szczegółowych wyników badań nie jest jeszcze możliwe. Niemniej na rysunkach 6 i 7 przedstawiono przykładowe wyniki.



Rys. 7. Hamowanie stopniowe i odhamowanie stopniowe 20-wagonowego pociągu towarowego. Wyniki próby przeprowadzonej na symulatorze hamulca pneumatycznego pociągu należącym do IK Kraków.  
Ciśnienia w cylindrach hamulcowych i przewodzie głównym w funkcji czasu

## 6. Podsumowanie – stan realizacji pracy

Osiągnięcie postawionego w Pracowni Hamulców IK w Krakowie celu, którym jest stworzenie praktycznego, przeznaczonego dla maszynistów, narzędzia służącego do szacowania skuteczności hamulca pociągu złożonego z wagonów wyposażonych w hamulce klockowe ze wstawkami żeliwnymi i nieżeliwnymi wymaga jeszcze:

- dokończenia badań prowadzonych na opisanym w tym artykule symulatorze hamulca pneumatycznego pociągu (stanowisku badawczym),
- dopracowania programu symulującego proces hamowania pociągu,
- stworzenia praktycznego narzędzia dla maszynisty.

Docelowym narzędziem dla maszynisty może być:

- podręczny wykres,
- tabela,
- aplikacja na tablet lub smartfon.



## Literatura

- [1] UIC 544-1. *Brakes – Braking performance*, Ed. no. 6, October 2014.
- [2] URBAŃCZYK P., *Skuteczność hamulca pojazdów kolejowych. Problemy eksploatacyjne i badawcze*, XXIV Konferencja Naukowa Pojazdy Szynowe 2020 – 24th Scientific Conference Rail Vehicles 2020, Arłamów, 25–28 października 2020, ISBN 978-83- 907623-2-6.
- [3] Cw-1. *Instrukcja obsługi i utrzymania w eksploatacji hamulców taboru kolejowego*, PKP Cargo Spółka Akcyjna, wyd. 2016.
- [4] *Instrukcja dla Maszynisty Pojazdu Trakcyjnego Ct-1 (Mt-1)*, PKP Cargo Spółka Akcyjna, Warszawa 2008.



# Niektóre skutki drgań pojazdów z uwzględnieniem układów hydraulicznych i otoczenia

## Some effects of vehicle vibration with consideration of hydraulic systems and surroundings

MICHAŁ STOSIAK<sup>1</sup>, MYKOLA KARPENKO<sup>2</sup>, JUSTAS NUGARAS<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Wydział Mechaniczny, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska, ORCID: 0000-0002-6111-1332, e-mail: [michal.stosiak@pwr.edu.pl](mailto:michal.stosiak@pwr.edu.pl)

<sup>2</sup> Wydział Inżynierii Transportu, Wileński Uniwersytet Techniczny im. Giedymina, Wilno, Litwa, ORCID: 0000-0002-1915-5219, e-mail: [mykola.karpenko@vilniustech.lt](mailto:mykola.karpenko@vilniustech.lt)

<sup>3</sup> Wydział Przemysłów Kreatywnych, Wileński Uniwersytet Techniczny im. Giedymina, Wilno, Litwa, ORCID: 0000-0002-2270-6472, e-mail: [justas.nugaras@vilniustech.lt](mailto:justas.nugaras@vilniustech.lt)

**Abstrakt:** W pracy omówiono zakres częstotliwościowy drgań występujący w pojazdach i maszynach mobilnych. Podkreślono fakt rosnących wymagań stawianych nowoczesnym układom hydraulicznym, w które wyposażone są pojazdy i maszyny mobilne. Zauważono, że pojazd, maszyna może być zarówno źródłem, jak i odbiornikiem drgań mechanicznych. Uwaga skupiona została na oddziaływaniu drgań na układ hydrauliczny, w który wyposażony jest pojazd lub maszyna mobilna. Wpływ ten analizowano na podstawie zmian w widmie pulsacji ciśnienia układu hydraulicznego, w którym zewnętrznym drganiom poddano zawór hydrauliczny. Wykazano, że w niektórych przypadkach zewnętrzne drgania mechaniczne mogą wzbudzać drgania elementów sterujących zaworów. W pracy dokonano również identyfikacji składowych harmonicznych widma pulsacji ciśnienia. Taka identyfikacja pomocna jest w poszukiwaniu sposobów redukcji amplitud pulsacji ciśnienia w wybranych zakresach częstotliwości. Wskazano na częstotliwości drgań szczególnie niebezpieczne w kontekście oddziaływania na zawory hydrauliczne. Podkreślono negatywne skutki zmian w widmie pulsacji ciśnienia zarówno dla elementów układu hydraulicznego, jak i dla otoczenia, w tym dla człowieka. W pracy wskazano, że w szczególnych przypadkach w przewodach hydraulicznych może dochodzić do zjawiska rezonansu hydraulicznego, tj. amplifikacji amplitudy pulsacji ciśnienia. Podano warunki, w których zachodzi takie zjawisko.

**Abstract:** The paper discusses the frequency range of vibrations occurring in mobile vehicles and machines. It emphasises the fact that increasing demands are placed on modern hydraulic systems with which

mobile vehicles and machines are equipped. It was noted that a vehicle or machine can be both a source and receiver of mechanical vibrations. Attention was focused on the effect of vibrations on the hydraulic system with which the vehicle or mobile machine is equipped. This influence was analysed on the basis of changes in the pressure pulsation spectrum of a hydraulic system in which an external vibration was applied to a hydraulic valve. It was shown that, in some cases, external mechanical vibrations can induce vibrations in the valve controls. The paper also identifies the harmonic components of the pressure pulsation spectrum. Such identification is helpful in finding ways to reduce pressure pulsation amplitudes in selected frequency ranges. Vibration frequencies particularly dangerous from the point of view of their impact on hydraulic valves were identified. The negative effects of changes in the pressure pulsation spectrum on the components of the hydraulic system as well as on the environment, including man, were highlighted. The paper points out that in special cases, hydraulic resonance, i.e., amplification of the pressure pulsation amplitude, may occur in hydraulic lines. The conditions under which such a phenomenon occurs are given.

## 1. Wprowadzenie

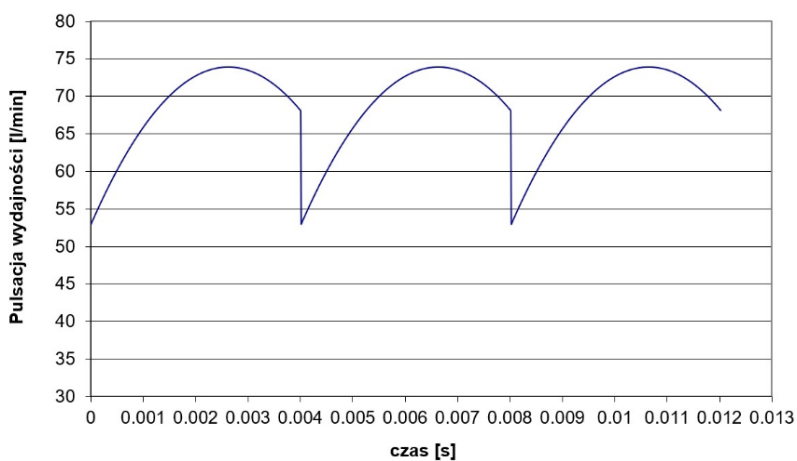
Rozpatrując układ hydrauliczny, szczególną uwagę musimy zwrócić na elementy sterujące podstawowymi wielkościami układu, takimi jak ciśnienie, natężenie przepływu czy kierunek przepływu czynnika roboczego, które mają decydujący wpływ na pracę odbiornika energii w układzie, a także na cały układ hydrauliczny. Specyficzną cechą układów hydraulicznych jest zależność ich pracy od warunków zewnętrznych oraz wyżej wymienionych parametrów [1]. Pracujący element hydrauliczny, jakim jest np. zawór sterujący kierunkiem przepływu czy ciśnieniem, poddany jest niestannie złożonym wymuszeniom różnego pochodzenia. Należy mieć świadomość, iż przykładając wymuszenie do jakiegokolwiek punktu układu hydraulicznego, jest ono przekazywane na elementy tego układu poprzez elementy lepkie lub sprężyste, a skutki tego są uzależnione od miejsca działania wymuszenia, jego amplitudy, częstotliwości oraz cech fizycznych elementów przenoszących owe wymuszenia, konfiguracji układu hydraulicznego [2]. Biorąc pod uwagę element układu hydraulicznego, którego zasadniczą częścią jest element sterujący w postaci suwaka, kulki, stożka, blaszki itp., należy zwrócić uwagę na fakt, iż jest on poddawany zmiennym obciążeniom wynikającym ze zmiany parametrów eksploatacyjnych: natężenia przepływu medium, ciśnienia jako wyniku nierównomierności wydajności pompy wporowej czy zmiennego obciążenia zewnętrznego. Obciążenia te często mają charakter stochastyczny, a w szczególnym przypadku mogą być harmoniczne. W ogólności wymuszenia działające na zawór hydrauliczny można podzielić na wymuszenia celowe i zakłócające. W grupie wymuszeń celowych znajdują się sygnały sterujące pracą

zaworów będących w strukturze układu sterowania bądź regulacji. Do grupy wymuszeń zakłócających pracę zaworów zaliczyć można m.in. drgania działające na zawór. Problem wpływu wymuszeń na pracę elementu sterującego zaworu dotyczy wszystkich układów hydraulicznych pracujących w warunkach rzeczywistych, a w szczególności tych, którym stawiane są podwyższone wymagania odnośnie do wytwarzania czy odpowiedzi na sygnał sterujący. Z tego względu należy się spodziewać istotnego wpływu sygnałów zewnętrznych na pracę nowoczesnych elementów proporcjonalnych. Dziś już można zauważyć silną tendencję rozwoju techniki sterowania proporcjonalnego w różnego typu elementach hydraulicznych [3–5], które wypierają dotychczas stosowane elementy konwencjonalne, dając nowe możliwości dotyczące czasu odpowiedzi na sygnał sterujący i pasma przenoszonych częstotliwości. Nowoczesne urządzenia medyczne, roboty przemysłowe lub pojazdy powszechnie wyposażone są w elementy proporcjonalne, takie jak: proporcjonalny rozdzielacz, zawór przelewowy proporcjonalny, wzmacniacz elektrohydrauliczny. W tych elementach występuje funkcyjna zależność między położeniem elementu sterującego a natężeniem prądu [6].

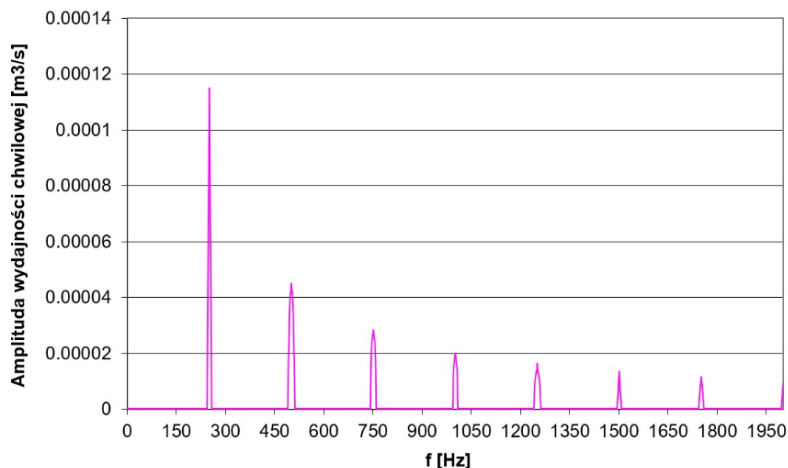
W warunkach rzeczywistych występują również drgania będące skutkiem poruszania się maszyny mobilnej, zawierającej układ hydrauliczny, po nierównościach podłoża [7] lub drgań pochodzących od elementów wirujących, takich jak wał, które przekazywane są na konstrukcję maszyny mobilnej i poprzez nią na każdy element. Jeżeli generatorem tych drgań jest element wirujący, to jego funkcja opisująca może być rozłożona w szereg Fouriera. W takim przypadku maszyna mobilna lub poruszający się pojazd staje się nie tylko źródłem, ale i odbiornikiem drgań mechanicznych. Drgania te przenoszone na element sterujący komponentu hydraulicznego stają się wymuszeniem kinematycznym przyłożonym do korpusu owego komponentu i dalej w zależności od konstrukcji przenoszone są na element sterujący.

Korzystne jest zatem ustalenie wpływu wymuszeń zewnętrznych występujących na elementach maszyny, takich jak np. rama maszyny (gdzie występują drgania mechaniczne oraz odnotowywane są pulsacje wydajności). Nowoczesne zawory hydrauliczne, a zatem napędy hydrostatyczne, aby sprostać coraz silniejszej konkurencji ze strony napędów elektrycznych, muszą wykazywać się szeregiem cech, które dotychczas nie były rozpatrywane. W procesie projektowania napędu hydrostatycznego należy więc mieć świadomość istotnego oddziaływania warunków pracy, w postaci wymuszeń pochodzących od pulsacji wydajności pompy (rys. 1 i 2) oraz drgań przejmowanych z ramy urządzenia (rys. 3 i 4), na pracę elementu hydraulicznego zainstalowanego na tej ramie, a w rezultacie na cały napęd hydrostatyczny.

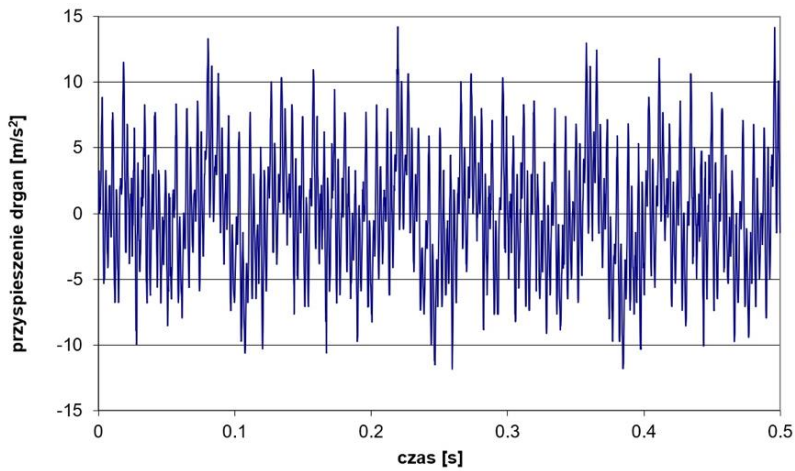
Nowe wymaganie dotyczące elementów hydraulicznych pracujących w warunkach rzeczywistych powinno się koncentrować wokół warunku inwariantności pracy tego elementu od wymuszeń zewnętrznych lub wskazania częstotliwości zewnętrznych drgań mechanicznych, przy których obserwuje się wzrost amplitudy pulsacji ciśnienia.



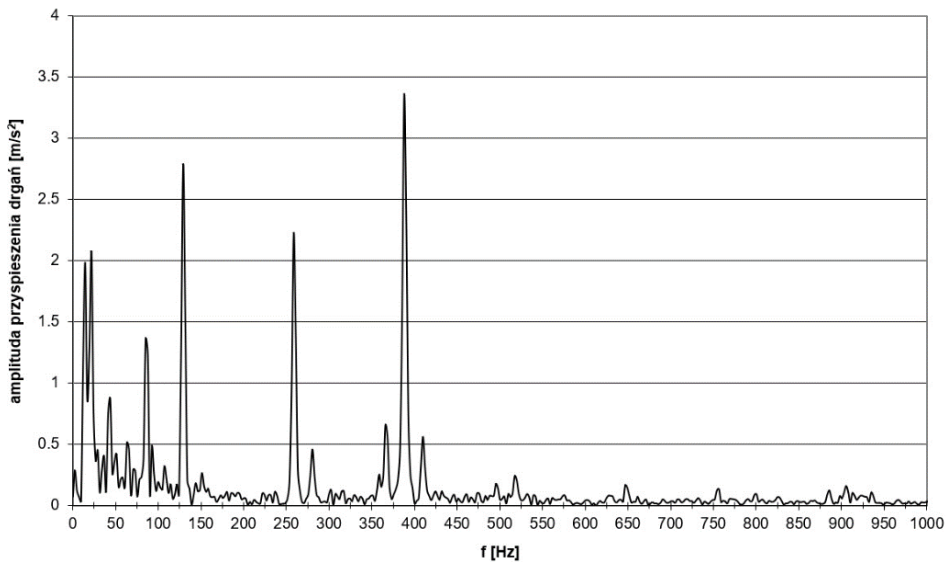
Rys. 1. Przebieg pulsacji wydajności pompy zębatej zewnętrznym.  
Prędkość obrotowa 1500 obr/min [8]



Rys. 2. Widmo amplitudowo-częstotliwościowe wydajności chwilowej pompy zębatej o zewnętrznym ząbieniu [8]



Rys. 3. Zarejestrowane przyspieszenie drgań płyty, na której zamontowano sterujące elementy hydrauliczne wózka widłowego. Prędkość obrotowa silnika napędowego 800 obr/min [8]



Rys. 4. Widmo amplitudowo-częstotliwościowe przyspieszenia drgań płyty montażowej wózka widłowego. Prędkość obrotowa silnika napędowego 800 obr/min [8]

Oprócz drgań towarzyszących pracy wózka widłowego również inne pojazdy wyposażone w układy hydrauliczne są źródłem drgań mechanicznych [9–11]:

- Karoseria samochodu na resorach: 2–5 Hz, wartość maksymalnego przyspieszenia  $78,5 \text{ m/s}^2$ ;
- Osie kół wraz z kołami na oponach: 12–17 Hz, wartość maksymalnego przyspieszenia  $24,5 \text{ m/s}^2$ ;
- Karoseria jako układ odkształcalny: 60–120 Hz, wartość maksymalnego przyspieszenia  $24,5 \text{ m/s}^2$ ;
- Uderzenia wagonów przy ich łączeniu (drżania poziome): 6–9 Hz, wartość maksymalnego przyspieszenia  $143,2 \text{ m/s}^2$ ;
- Drżania pionowe obciążonego wagonu przy prędkości 50 km/h: 3–8 Hz, wartość maksymalnego przyspieszenia  $29,4 \text{ m/s}^2$ ;
- Ciągnik – przednia oś (drżania pionowe): 9–10 Hz, wartość maksymalnego przyspieszenia  $49,1 \text{ m/s}^2$ ;
- Samochód ciężarowy – bez ładunku na nawierzchni betonowej, przy prędkości 60 km/h: 5–15 Hz, wartość maksymalnego przyspieszenia  $14,7 \text{ m/s}^2$ ;
- Czołg – drżania pionowe w płaszczyźnie siedzenia kierowcy i przy ruchu w terenie: 4–8 Hz, wartość maksymalnego przyspieszenia  $122,6 \text{ m/s}^2$ .

Przedstawione powyżej zakresy częstotliwości oraz wartości maksymalnych amplitud drgań wybranych pojazdów i urządzeń oraz rys. 4 jednoznacznie wskazują na występowanie w tych pojazdach drgań o częstotliwości od kilku do ponad 100 Hz i amplitudzie ponad 10 g.

Drżania poprzez mechanoreceptory skóry przenoszą do ośrodkowego układu nerwowego określone informacje, powodując odruchowe reakcje całego organizmu. W wyniku długotrwałego oddziaływania drgań mechanicznych dochodzi do powstania nieodwracalnych zmian w różnych narządach i układach. Zmiany te można podzielić na [12]:

- Ostre, występujące w czasie trwania ekspozycji i niedługo po jej zakończeniu; polegają one na określonych zmianach zachowania się całego organizmu traktowanego jako układ mechaniczny;
- Chroniczne, występujące na skutek długotrwałego działania drgań o dużym natężeniu.

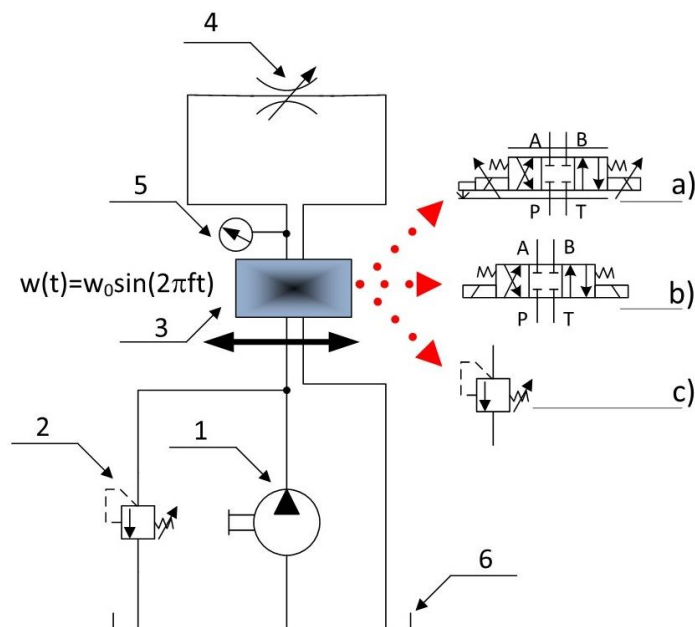
Najbardziej niekorzystnym przypadkiem jest sytuacja, w której zewnętrzne drżania mechaniczne (pochodzące np. od drgającej ramy pojazdu) pokrywają się z częstotliwością rezonansową organów wewnętrznych człowieka. Jeśli organizm człowieka opisać przybliżonym modelem wielomasowym, to poszczególnym organom i partiom ciała ludzkiego można przypisać ich częstotliwości rezonansowe: głowa – 20–30 Hz, gałka oczna 20–90 Hz, masa brzuszna 4–8 Hz, ściana piersiowa 10–50 Hz, przedra-



mię 16–30 Hz, dłóń 30–50 Hz. Są to zatem również częstotliwości, które znajdują się w spektrum wymuszeń, jakie występują w maszynach mobilnych lub pojazdach.

## 2. Badania oddziaływania drgań na zawory hydrauliczne

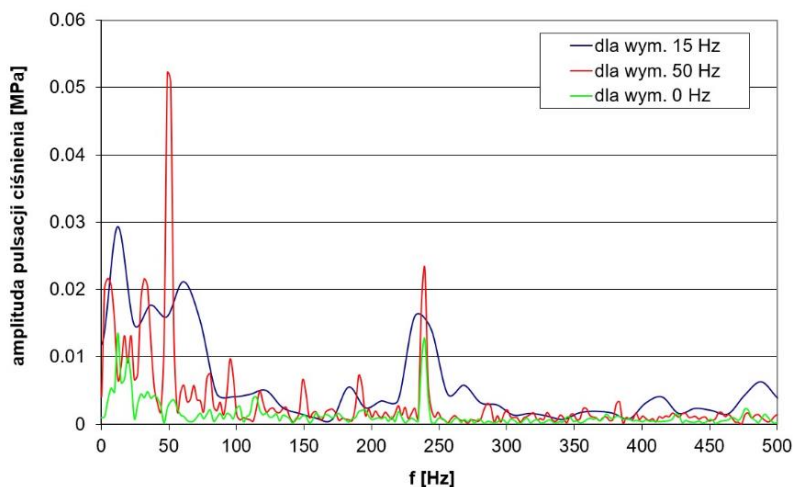
Użytkownik maszyny z napędem hydrostatycznym powinien mieć świadomość występowania drgań konstrukcji nośnej również o częstotliwościach do 100 Hz, które to mogą powodować wzbudzenie się elementów sterujących zaworów hydraulicznych, takich jak zawory przelewowe, rozdzielcze proporcjonalne. Wzbudzenie się elementów sterujących zaworów hydraulicznych jest konsekwencją pokrywania się częstości zewnętrznych drgań mechanicznych z częstością drgań własnych tychże elementów sterujących w postaci m.in. kulki, stożka czy suwaka. Wzbudzenie się elementów sterujących zaworów hydraulicznych znajduje swoje odbicie w widmie amplitudowo-częstotliwościowym pulsacji ciśnienia pracującego układu hydraulicznego. Aby to potwierdzić,



Rys. 5. Schemat hydrauliczny układu badanego elementu: 1 – pompa zasilająca, 2 – zawór maksymalny, 3 – badany zawór, 4 – nastawny zawór dławiący, 5 – punkt pomiaru ciśnienia:  
a) rozdzielacz proporcjonalny, b) rozdzielacz konwencjonalny 4/3, c) zawór maksymalny

przeprowadzono badania doświadczalne na specjalnie zestawionym stanowisku, którego schemat obrazuje rys. 5. Badany zawór 3 umieszczony został w specjalnie wykonanym uchwycie zmodernizowanego symulatora liniowego napędu hydrostatycznego, który generował drgania mechaniczne postaci  $w(t) = w_0 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$ , gdzie  $w_0$  to amplituda wymuszenia [m],  $f$  to częstotliwość wymuszenia [Hz],  $t$  oznacza czas [s]. Zawór 3 zasilany był przez pompę zębatą 1, a obciążenie układu hydraulicznego zadawano nastawnym zaworem dławiącym 5.

Na rysunku 6 przedstawiono wyniki, w postaci widma amplitudowo-częstotliwościowego, badań eksperymentalnych pomiaru pulsacji ciśnienia w układzie hydraulicznym z wymuszonym kinematycznie rozdzielaczem proporcjonalnym, średnie natężenie przepływu w układzie hydraulicznym wynosiło  $6,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ , a średnia wartość ciśnienia w punkcie pomiaru wynosiła 2 MPa.

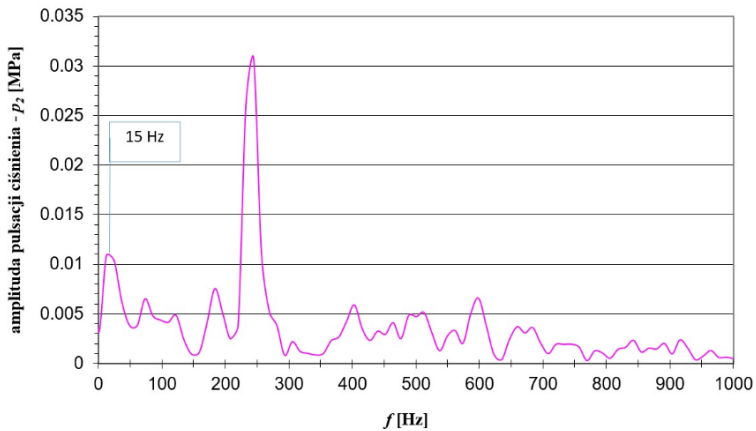


Rys. 6. Widmo amplitudowo-częstotliwościowe pulsacji ciśnienia w układzie hydraulicznym z kinematycznie wymuszonym rozdzielaczem proporcjonalnym

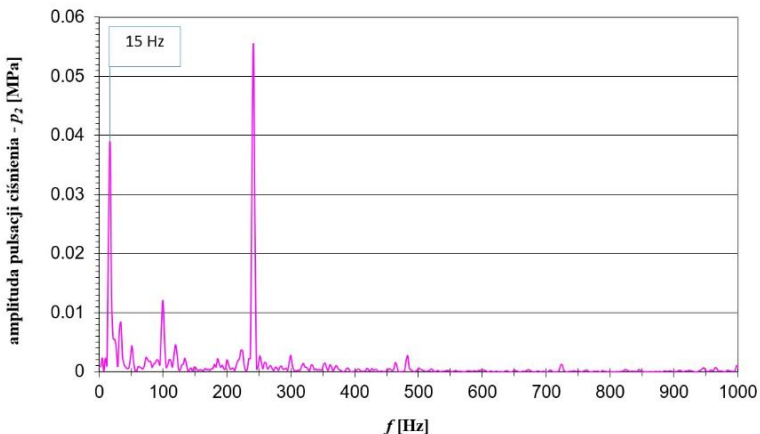
Badaniom poddano również układ, w którym drgał rozdzielacz 4/3 sterowany konwencjonalnie oraz jednostopniowy zawór maksymalny, a wyniki przedstawiono na rys. 7 i 8. Średnie natężenie przepływu w układzie hydraulicznym wynosiło  $6,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ , a średnia wartość ciśnienia w punkcie pomiaru wynosiła 2 MPa.

Na zamieszczonych widmach pulsacji ciśnienia można wyraźnie zaobserwować poszczególne składowe. Na rysunku 6 widać pojawienie się w widmie pulsacji ciśnienia składowych harmonicznych odpowiadających częstotliwościom zewnętrznych drgań me-

chanicznych (15 i 50 Hz). Na rysunku tym pokazano również widmo pulsacji ciśnienia dla układu, w którym na zawór nie działały zewnętrzne drgania mechaniczne. Również w widmach przedstawionych na rys. 7 i 8 pojawiają się składowe, których częstotliwości odpowiadają częstotliwościom zewnętrznych drgań mechanicznych działających odpowiednio na zawory: rozdzielacz 4/3 i maksymalny.



Rys. 7. Widmo amplitudowo-częstotliwościowe pulsacji ciśnienia w układzie hydraulicznym z rozdzielaczem 4/3 sterowanym elektrycznie konwencjonalnie, wymuszonym częstotliwością  $f = 15$  Hz



Rys. 8. Widmo amplitudowo-częstotliwościowe pulsacji ciśnienia w układzie hydraulicznym z zaworem maksymalnym, wymuszonym częstotliwością  $f = 15$  Hz

### 3. Pulsacja wydajności pompy powodująca pulsację ciśnienia

We wszystkich prezentowanych widmach występuje składowa o częstotliwości około 242 Hz. Tłumaczy się to nierównomiernością wydajności pompy wyporowej wynikającej z jej kinematyki.

Zależność między harmonicznymi zmianami wydajności i ciśnienia określana jest przez impedancję hydrauliczną  $Z_m$ , definiowaną wg zależności:

$$Z_m = \frac{\tilde{p}_m}{\tilde{q}_m}, \quad (1)$$

gdzie  $\tilde{p}_m$  i  $\tilde{q}_m$  – odpowiednio chwilowa wartość ciśnienia i natężenia przepływu,  $m$  – kolejne harmoniczne.

Impedancja hydrauliczna  $Z_m$  jest wielkością zespoloną zależną od struktury układu hydraulicznego. Zakładając harmoniczne wymuszenie na początku przewodu w postaci sinusoidalnej zmiany wydajności, można zapisać związek między amplitudami zespolonymi harmonicznymi zmian wydajności i ciśnienia na początku i końcu przewodu [13]:

$$Q_p^m = Q_k \cdot \cos\left(\frac{l}{c_0} \cdot m \cdot \omega_1\right) + j \cdot \frac{p_k \cdot A}{\sqrt{\rho \cdot E}} \cdot \sin\left(\frac{l}{c_0} \cdot m \cdot \omega_1\right), \quad (2)$$

$$p_p^m = p_k \cdot \cos\left(\frac{l}{c_0} \cdot m \cdot \omega_1\right) + j \cdot Q_k \cdot \frac{\sqrt{\rho \cdot E}}{A} \cdot \sin\left(\frac{l}{c_0} \cdot m \cdot \omega_1\right), \quad (3)$$

gdzie:  $Q_p^m$  – harmoniczna składowa zespolona wydajności na początku układu (w króćcu tłocznym pompy),  $p_p^m$  – harmoniczna składowa zespolona ciśnienia na początku układu,  $p_k$  – harmoniczna składowa ciśnienia na końcu układu,  $Q_k$  – harmoniczna składowa natężenia przepływu na końcu przewodu,  $l$  – długość przewodu,  $A$  – średnica wewnętrzna przewodu,  $c_0$  – prędkość rozchodzenia się dźwięku w oleju,  $\rho$  – gęstość oleju,  $E$  – zastępczy moduł sprężystości objętościowej.

Uwzględniając zależności (2) i (3) oraz dokonując linearyzacji, można zapisać postać impedancji w sposób bardziej szczegółowy, uwzględniający sposób obciążenia układu (zaworem dławiącym) [13]:

$$Z_m = \frac{R \left[ 1 + \tan^2 \left( \frac{1}{c_0} \cdot m \cdot \omega_1 \right) \right] + j \cdot \left( \frac{\sqrt{\rho \cdot E}}{A} - \frac{R^2 \cdot A}{\sqrt{\rho \cdot E}} \right) \cdot \tan \left( \frac{1}{c_0} \cdot m \cdot \omega_1 \right)}{1 + \left[ \frac{R \cdot A}{\sqrt{\rho \cdot E}} \cdot \tan \left( \frac{1}{c_0} \cdot m \cdot \omega_1 \right) \right]^2}. \quad (4)$$

Impedancja hydrauliczna określona zależnością (4) jest wielkością zespoloną, której moduł i argument można określić zależnościami [14]:

$$|Z_m| = \sqrt{(\operatorname{Re}(Z_m))^2 + (\operatorname{Im}(Z_m))^2}, \quad (5)$$

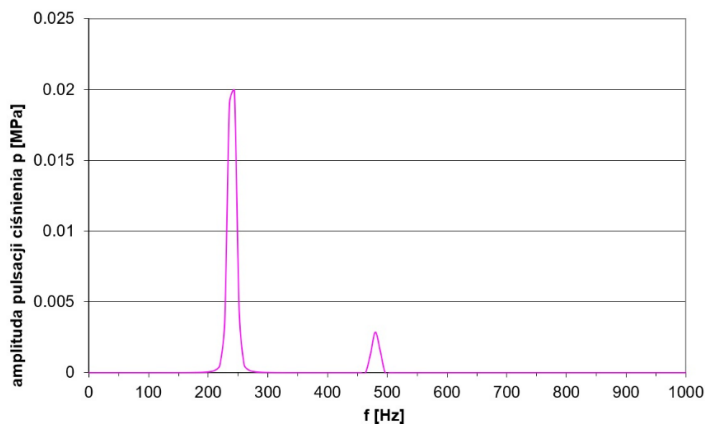
$$\Psi_m = \arg Z_m = \arctan \frac{\operatorname{Im}(Z_m)}{\operatorname{Re}(Z_m)}. \quad (6)$$

Na podstawie przedstawionych zależności określono amplitudy zespolone poszczególnych przebiegów harmoniczných pulsacji ciśnienia:

$$|p_m| = |c_m| \cdot |Z_m|, \quad (7)$$

gdzie  $|c_m|$  – moduł  $m$ -tej składowej harmoniczných pulsacji wydajności, a  $|Z_m|$  – moduł  $m$ -tej składowej harmoniczných impedancji hydrauliczných.

Po uwzględnieniu powyższych zależności oraz po parametryzacji równań można otrzymać składową harmoniczną widma pulsacji ciśnienia jako skutku pulsacji wydajności. Na rysunku 9 przedstawiono pierwszą i drugą składową harmoniczną widma pulsacji ciśnienia spowodowanej pulsacją wydajności.



Rys. 9. Widmo amplitudowo-częstotliwościowe pulsacji ciśnienia spowodowanej nierównomiernością wydajności pompy

Z zależności (4) wynika, że istnieją częstotliwości wymuszeń  $\omega$ , przy których moduł impedancji  $Z_m$  osiąga maksymalną wartość, a to oznacza, że amplituda pulsacji ciśnienia będzie wówczas również maksymalna. Częstotliwość wymuszeń, przy których występuje maksimum  $|Z_m|$ , można określić z warunku:

$$\tan\left(\frac{l}{c_0} \cdot m \cdot \omega_1\right) = 0, \quad (8)$$

$\frac{l}{c_0} \cdot m \cdot \omega_1 = k \cdot \pi$ , gdzie  $k = 1$  oraz  $m = 1$ , zatem:

$$\omega_{1rez} = \frac{\pi \cdot c_0}{l}, \quad (9)$$

natomiast rezonansowa długość przewodu wynosi:

$$l_{rez} = \frac{c_0}{2 \cdot f}, \quad (10)$$

przy czym  $f$  oznacza częstotliwość wymuszeń.

Jeśli przyjąć, że częstotliwość wymuszeń (pulsacji ciśnienia) wynosi 250 Hz, a prędkość propagacji fali ciśnienia dla przewodów stalowych  $c_0 = 1288$  m/s, to długość przewodu, przy której nastąpi pierwszy rezonans hydrauliczny, wynosi  $l_{rez} = 2,57$  m.

Częstotliwość wymuszenia, przy której dla określonej długości przewodu wystąpi minimalna wartość amplitudy pulsacji ciśnienia, określona jest na podstawie zależności:

$$\tan\left(\frac{l}{c_0} \cdot m \cdot \omega_1\right) = \infty, \quad (11)$$

$$\frac{l}{c_0} \cdot m \cdot \omega_1 = N \cdot \frac{\pi}{2}, \quad (12)$$

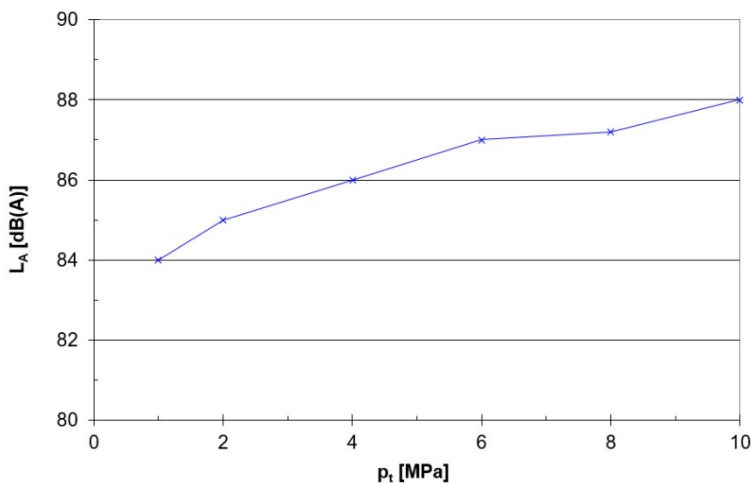
gdzie  $N$  – dowolna liczba całkowita.

Dla pierwszej składowej ( $m = 1$ ) i  $N = 1$  długość przewodu, przy której wystąpi minimalna wartość amplitudy pulsacji ciśnienia, określona jest zależnością:

$$l_{min} = \frac{c_0}{4 \cdot f}. \quad (13)$$

Opisana pulsacja ciśnienia rozpoznawana jest również jako istotne źródło hałasu generowanego przez pompę. Ponadto w pracującym układzie hydraulicznym najbar-

dziej hałaśliwym elementem jest pompa wyporowa, której poziom generowanego hałasu zależy od jej odmiany konstrukcyjnej i obciążenia. Na rysunku 10 przedstawiono zależność poziomu korygowanego ciśnienia akustycznego  $L_A$  [dB(A)] od wartości ciśnienia w króćcu tłocznym pompy zębatej o zazębieniu zewnętrznym dla prędkości na wałku napędowym równej 1500 obr/min.



Rys. 10. Zależność korygowanego poziomu ciśnienia akustycznego od wartości ciśnienia w króćcu tłocznym pompy zębatej o zazębieniu zewnętrznym,  $q = 22,5 \text{ cm}^3/\text{obr}$ ,  $z_1 = z_2 = 12$

Wraz ze wzrostem wartości ciśnienia w króćcu tłocznym pompy wzrasta znacząco poziom hałasu generowanego do otoczenia. Może to skutkować przekroczeniem wartości maksymalnych dopuszczonych przez regulacje prawne (dokumenty Unii Europejskiej) oraz w konsekwencji do wykluczenia z eksploatacji pojazdu wyposażonego w układ hydrauliczny o nadmiernej hałaśliwości.

## 4. Wnioski

Z przeprowadzonej analizy wynika, że podczas pracy maszyn z napędem hydrostatycznym w całym spektrum częstotliwości drgań mechanicznych możemy wyodrębnić również te, których częstotliwości zawierają się poniżej 100 Hz (rys. 3 i 4). Częstości wymuszeń (pochodzenia zewnętrznego) pokrywać się mogą w takim przypadku z częstością drgań własnych elementów sterujących w podstawowych komponentach układu hydraulicznego. Kolejnym źródłem zakłóceń jest pulsacja ciśnienia będąca

skutkiem pulsacji wydajności, która wynika z kinematyki pracy elementów wyporowych pompy (rys. 1 i 2). Wymienione zakłócenia mogą powodować nierównomierny ruch odbiorników, kłopoty z osiągnięciem założonej dokładności pozycjonowania i wzmożoną hałaśliwość. Biorąc pod uwagę rezonans ciśnienia w przewodzie (układzie) hydraulicznym, istotne jest właściwe dobranie jego długości oraz materiału, z którego jest wykonany (przewód stalowy bądź elastyczny). Jak wykazano w pracy, długość rezonansowa przewodu po przyjęciu modelu przepływu bezstratnego wynosi

$l_{rez} = \frac{\lambda}{2}$ , gdzie  $\lambda = \frac{c_0}{f}$  – długość fali. Zatem aby uniknąć rezonansu na początku przewodu (przy pompie), należy tak dobrać długość przewodu hydraulicznego, aby  $l \neq l_{rez}$ .

## Literatura

- [1] WANG S., TOMOVIC M., LIU H., *Requirements for the Hydraulic System of a Flight Control System*, [in:] S. Wang (Ed.), *Aerospace Engineering, Commercial Aircraft Hydraulic Systems*, Academic Press, 2016, 1–52.
- [2] KOLLEK W., KUDŹMA Z., MAGA K., STOSIAK M., *Zakłócenia pracy hydrostatycznych układów sterowanych w technice proporcjonalnej: Identyfikacja wymuszeń, Napędy i Sterowanie*, 2004, vol. 6, nr 5, 53–57.
- [3] WRAT G., BHOLA M., RANJAN P., MISHRA S.K., DAS J., *Energy saving and Fuzzy-PID position control of electro-hydraulic system by leakage compensation through proportional flow control valve*, *ISA Transactions*, 2020, Vol. 101, 269–280.
- [4] ACUÑA-BRAVO W., CANUTO E., AGOSTANI M., BONADEI M., *Proportional electro-hydraulic valves: An Embedded Model Control solution*, *Control Engineering Practice*, 2017, Vol. 62, 22–35.
- [5] AMIRANTE R., DISTASO L., TAMBURRANO P., *Experimental and numerical analysis of cavitation in hydraulic proportional directional valves*, *Energy Conversion and Management*, 2014, Vol. 87, 208–221.
- [6] BURY P., STOSIAK M., URBANOWICZ K., KODURA A., KUBRAK M., MALESIŃSKA A., *A Case Study of Open- and Closed-Loop Control of Hydrostatic Transmission with Proportional Valve Start-Up Process*, *Energies*, 2022, Vol. 15, No. 5, 1–17.
- [7] AUERSCH L., SAID S., MÜLLER R., *Measurements on the Vehicle-Track Interaction and the Excitation of Railway-Induced Ground Vibration*, *Procedia Engineering*, 2017, Vol. 199, 2615–2620.
- [8] STOSIAK M., *Identyfikacja oddziaływania drgań i metody ich redukcji w wybranych zaworach hydraulicznych*, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 2015, 1–168.
- [9] LUO R., YU Z., WU P., HOU Z., *Analytical solutions of the energy harvesting potential from vehicle vertical vibration based on statistical energy conservation*, *Energy*, 2023, Vol. 264, 2–11.
- [10] BESKOPYLNY A., CHUKARIN A., KURCHENKO P., ISAIEV A., *Substantiation of systems for reducing noise and vibrations of grinding wheels in the processing of bodies of transport vehicles*, *Transportation Research Procedia*, 2022, Vol. 63, 2529–2534.



- 
- [11] STOSIAK M., KARPENKO M., PRENTKOVSKIS O., DEPTUŁA A., SKAČKAUSKAS P., *Research of vibrations effect on hydraulic valves in military vehicles*, Defence Technology, 2023, 1–15 (in Press).
  - [12] ENGEL Z., ZAWIESKA M., *Hałas i drgania w procesach pracy: źródła, ocean, zagrożenia*, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2010, 1–608.
  - [13] KUDŹMA Z., *Tłumienie pulsacji ciśnienia i hałasu w stanach przejściowych i ustalonych*, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 2012, 1–261.
  - [14] GAZI O., *Principles of Signals and Systems*, Springer, Berlin 2022, 1–371.







**Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej  
są do nabycia w sprzedaży wysyłkowej:  
zamawianie.ksiazek@pwr.edu.pl**

**ISBN 978-83-7493-263-9**