

Problematyka badań oddziaływania taboru kolejowego na urządzenia srk

Łukasz ZAWADKA¹, Dominik ADAMSKI²

Streszczenie

W artykule scharakteryzowano działanie i podstawowe komponenty urządzeń stwierdzania niezajętości torów i rozjazdów, które są obecnie stosowane na sieci PKP PLK S.A. Opisano także badania realizowane w Instytucie Kolejnictwa, które dotyczą oddziaływania taboru kolejowego na obwody torowe i systemy liczników osi oraz pomiary impedancji osi zestawu kołowego dla określonego typu pojazdu trakcyjnego. Do każdej z opisanych metod przedstawiono przykładowe wyniki z wykonanych pomiarów.

Słowa kluczowe: obwody torowe, liczniki osi, zakłócenia, pola magnetyczne, EMC

1. Wstęp

Rosnąca liczba nowoczesnego taboru eksploatowanego na sieci zarządzanej przez PKP PLK S.A. wyraźnie uwidoczniła celowość badań oddziaływania pojazdów na urządzenia sterowania ruchem kolejowym (srk), szczególnie na etapie homologacji. Komponenty tych urządzeń w dużej mierze są instalowane w torach i bezpośrednio są narażone na wpływ zakłóceń pochodzących od poruszających się pociągów. Z punktu widzenia kompatybilności elektromagnetycznej, różnice w budowie nowoczesnych pojazdów (duże moce silników elektrycznych, liczna zabudowa różnorodnych systemów i urządzeń zasilających oraz przetwarzających energię, a także instalacje nowoczesnych systemów kontroli jazdy pociągu) przyczyniają się do wzrostu potencjalnych zaburzeń w kolejowym środowisku elektromagnetycznym, co może wpływać na bezpieczeństwo i płynność ruchu kolejowego [1, 7–10]. Wobec tego, aspekty dotyczące współpracy taboru z urządzeniami srk należy traktować w sposób priorytetowy i kompleksowy. Dodatkowo nowoczesna aparatura pomiarowa zwiększa możliwości badawcze i analityczne, umożliwiając tym samym szersze i dokładniejsze analizowanie otrzymanych wyników.

2. Oddziaływanie na obwody torowe

Obwód torowy można scharakteryzować jako układ elektryczny przeznaczony do kontroli niezajętości

określonego odcinka toru. Zasadniczo wyróżnia się obwody torowe zamknięte, otwarte oraz elektroniczne obwody nakładane. W zależności od typów i zastosowań, obwody torowe są zasilane prądem przemiennym o określonej częstotliwości. Długość obwodu torowego może być zróżnicowana. Typowy obwód torowy składa się (wylączając toki szynowe) z nadajnika i odbiornika, który jest połączony z przekąźnikiem torowym. W stanie zasadniczym a więc, gdy kontrolowany odcinek jest niezajęty, przekąźnik torowy jest w stanie wzbudzenia. Wjazd taboru na kontrolowany obszar powoduje zbocznikowanie toków szynowych, co skutkuje nagłym spadkiem napięcia na odbiorniku, a w dalszej konsekwencji odwzbudzeniem przekąźnika. Stan, w którym znajduje się przekąźnik jest więc zasadniczym parametrem określającym zajętość, bądź niezajętość obwodu torowego.

W związku z tym, aby ocenić współpracę konkretnego obwodu torowego z badanym taborem, należy empirycznie sprawdzić poprawność tego oddziaływania, badając stabilność napięć na przekąźniku. Badania takie wykonuje się w Instytucie Kolejnictwa na Okręgu Doświadczalnym IK w Żmigrodzie [1–3]. Metodyka polega na jednoczesnym pomiarze i rejestracji w czasie napięcia na przekąźniku torowym oraz trakcyjnego prądu powrotnego, płynącego szynami obwodu torowego, podczas zbliżania się taboru do obwodu torowego i w czasie przejazdu po obwodzie torowym. Pozwala to ocenić stabilność napięcia na przekąźniku torowym, gdy obwód torowy

¹ Mgr inż.: Instytut Kolejnictwa, Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki; e-mail: lzawadka@ikolej.pl.

² Mgr inż.: Instytut Kolejnictwa, Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki; e-mail: dadamski@ikolej.pl.

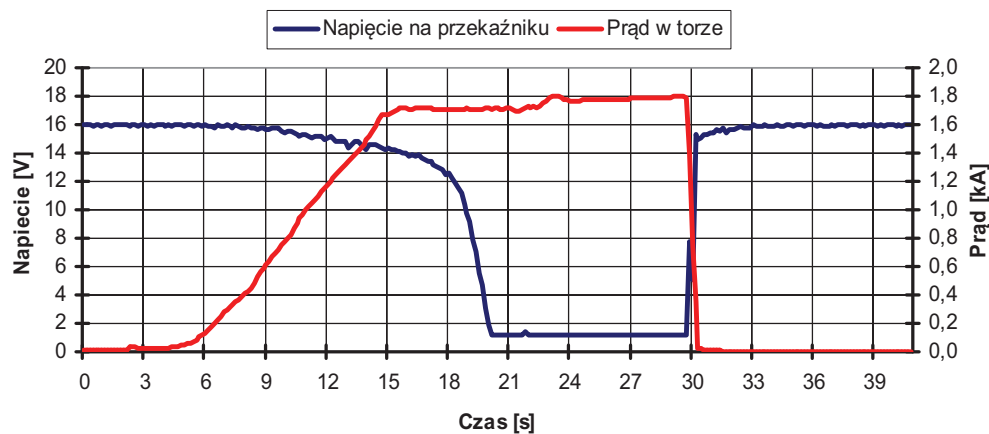
jest niezajęty a tor jest obciążony trakcyjnym prądem powrotnym. W tym przypadku wartość napięcia na przełączniku torowym powinna być wyższa od jego napięcia odwzbudzenia. Przy zajętym obwodzie, wartość napięcia na przełączniku torowym nie może być wyższa niż jego napięcie wzbudzenia, co gwarantuje bezpieczną kontrolę zajętości. Rejestracja trakcyjnego prądu powrotnego stosowana jest pomocniczo w celu udokumentowania, że podczas badania oddziaływania taboru, na obwody torowe płynie prąd trakcyjny tokami szynowymi obwodu torowego.

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy wynik rejestracji oddziaływania pojazdu szynowego na bezzłączowy obwód torowy SOT-1, który charakteryzuje się następującymi parametrami: częstotliwość pracy 1580 Hz, prąd sygnału w szynie 129 mA, napięcie na przełączniku torowym 16 V AC. Kolor czerwony reprezentuje wartości prądu trakcyjnego płynącego tokami szynowymi, a niebieski – wartość napięcia na przełączniku torowym.

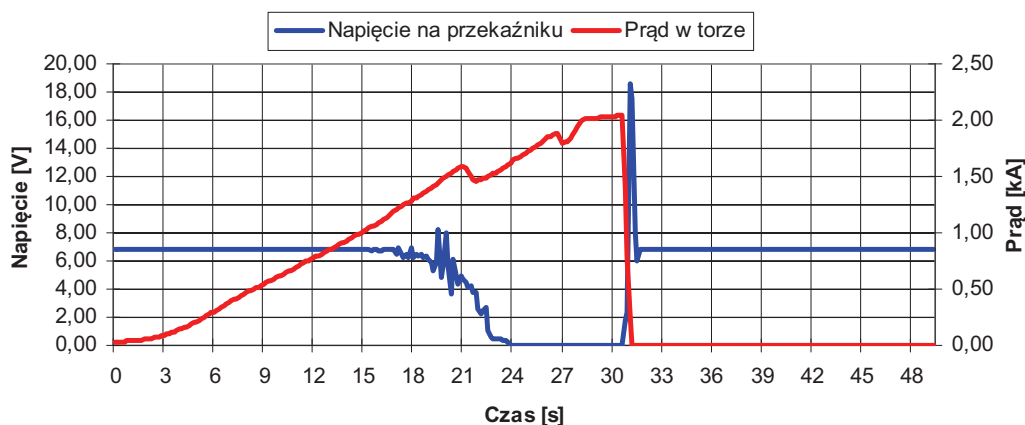
Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy wynik rejestracji oddziaływania pojazdu szynowego na bezzłączowy obwód torowy SOT-2 charakteryzujący się następującymi parametrami: częstotliwość pracy 8000 Hz, prąd sygnału w szynie 90 mA, napięcie na przełączniku torowym 6,8 V AC. Kolor czerwony reprezentuje wartości prądu trakcyjnego płynącego tokami szynowymi, a niebieski – wartość napięcia na przełączniku torowym.

Poruszając problematykę oddziaływania taboru na obwody torowe należy również wspomnieć o pomiarze impedancji osi. Parametr ten ma zasadniczy wpływ na zdolność bocznikowania danego obwodu przez pojazd szynowy [12–14].

Dla obwodów torowych stosowanych na sieci kolejowej zarządzanej przez PKP PLK S.A. przyjmuje się odpowiednie wartości dopuszczalne dla impedancji osi i w związku z tym, konieczne jest zbadanie tej wartości dla każdego nowego pojazdu podczas prób homologacyjnych [12–14]. Badanie to zaleca się



Rys. 1. Wynik rejestracji oddziaływania pojazdu na pracę obwodu torowego z urządzeniami SOT-1 (1580 Hz) [opracowanie własne]



Rys. 2. Wynik rejestracji oddziaływania pojazdu na pracę obwodu torowego z urządzeniami SOT-2 (8000 Hz) [opracowanie własne]

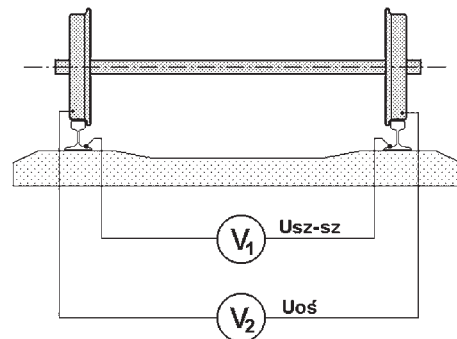
wykonać również dla pojazdów będących bezpośrednio po naprawie lub regeneracji, bądź okresowo (po przeobrózowaniu, lub wymianie koła bezobrózowego i toczeniu profilu tocznego). Pomiary impedancji osi zestawów kołowych pojazdów szynowych, wykonuje się głównie na terenie Instytutu Kolejnictwa w Warszawie oraz na torze doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie. Metoda tych pomiarów polega na jednoczesnym pomiarze spadku napięcia między szynami, spadku napięcia na osi zestawu kołowego taboru oraz prądu zadawanego do układu. Należy podkreślić, iż mierzona oś powinna być odizolowana od innych osi pojazdu. Obliczone z prawa Ohma wartości impedancji szyna – szyna i koło – koło są porównywane z wartościami dopuszczalnymi impedancji bocznikowania przyjętymi dla obwodów torowych stosowanych na PKP Polskich Liniach Kolejowych S.A.

Obwody torowe eksploatowane obecnie na Polskich Liniach Kolejowych są przystosowane do następujących maksymalnych wartości impedancji bocznikowania [12, 13]:

- obwody izolowane zasilane napięciem o częstotliwości 50 Hz – 0,06 Ω,
- obwody torowe bezzłączowe zasilane sygnałem o częstotliwości 1500÷3000 Hz – 0,1 Ω,
- obwody torowe bezzłączowe zasilane sygnałem o częstotliwości 7÷10 kHz – 0,15 Ω,

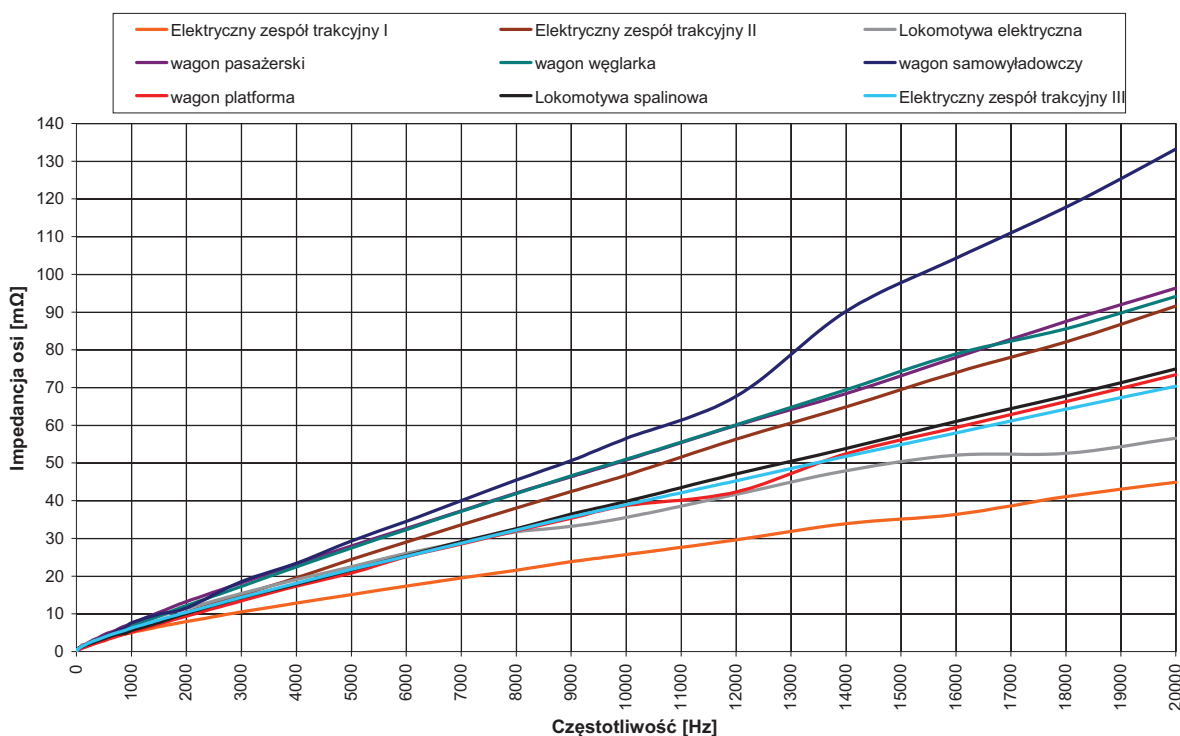
- obwody torowe bezzłączowe zasilane sygnałem o częstotliwości powyżej 10 kHz – 0,2 Ω.

Na rysunku 3 przedstawiono miejsca pomiaru spadków napięć, natomiast na rysunku 4 zaprezentowano, wykonane w Instytucie Kolejnictwa przykładowe wyniki pomiarów impedancji osi dla różnych rodzajów taboru kolejowego.



Rys. 3. Miejsca pomiaru spadków napięcia [opracowanie własne]

Na podstawie wyników przedstawionych na rysunku 4 oraz dotychczas przeprowadzonych badań impedancji osi wynika, że uzyskanie w warunkach eksploatacyjnych wartości zgodnych z wartościami normatywnymi nie stanowi problemu dla producentów zestawów kołowych.

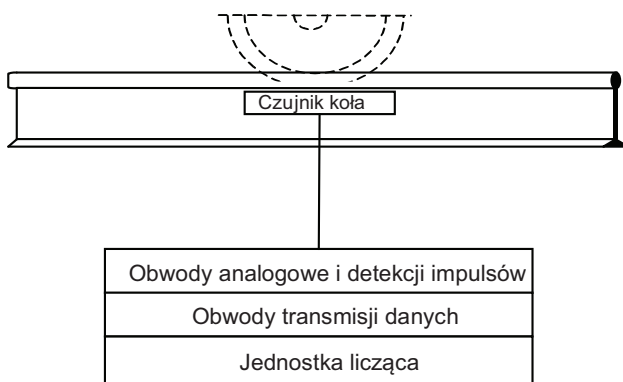


Rys. 4. Wyniki pomiaru impedancji osi w paśmie częstotliwości 0÷20 kHz [opracowanie własne]

3. Oddziaływanie na liczniki osi

Systemy liczników osi zawierają podobne komponenty, które w zależności od typu licznika (producenta) mogą być inaczej zlokalizowane. Do podstawowych podzespołów licznika osi zaliczyć należy (rys. 5):

- czujnik szynowy,
- obwody analogowe i obwody detekcji impulsów czujnika,
- obwody transmisji danych,
- jednostkę liczącą.



Rys. 5. Schemat budowy typowego licznika osi [opracowanie własne]

Z podziału licznika osi na podzespoły wynika, że czujnik szynowy jest tym elementem, od którego rozpoczyna się proces liczenia osi. Czujnik szynowy licznika osi jest połączony z szyną mechanicznie, a jego obwód elektryczny jest od niej odseparowany. Czujnik szynowy systemu licznikowego musi spełniać wymagania dotyczące czułości, aby w niezawodny sposób wykrywać fakt przejazdu koła (osi) taboru przez punkt oddziaływania. Zatem możliwość niewykrycia wjazdu taboru na odcinek, którego stan niezajętości jest kontrolowany przez ten system licznikowy, musi być wyeliminowana. Czułość czujnika szynowego należy jednak równocześnie ograniczyć, gdyż konieczne jest zapewnienie określonej odporności czujnika szynowego na zakłócenia zewnętrzne, które mogą powodować błędne, nadmiarowe zliczenie osi pomimo braku przejazdu taboru przez punkt oddziaływania.

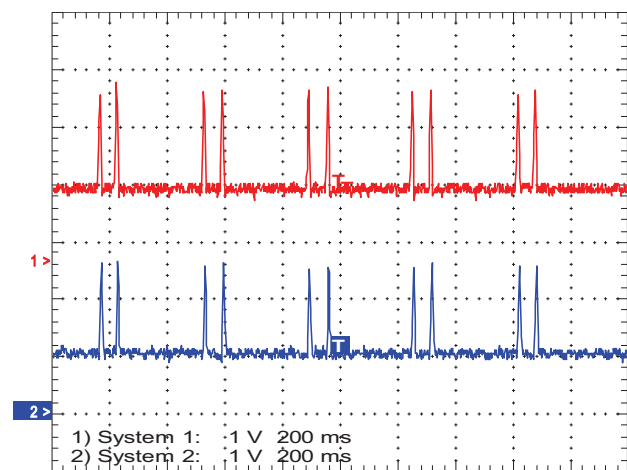
Czujniki szynowe pracują w pasmach częstotliwości charakterystycznych dla poszczególnych typów tych urządzeń. Prąd płynący w szynie (o częstotliwości pracy czujnika lub zewnętrzne pole magnetyczne o tej częstotliwości), silnie wpływa na pracę czujnika. Wektor pola magnetycznego od prądów szynowych ma przewidywalny kierunek, natomiast wektor pola magnetycznego od pojazdu ma kierunek zależny od miejsca lokalizacji źródła zakłóceń w stosunku do czujnika szynowego. Wpływ zakłóceń będzie inny dla stanu czujnika, gdy w pobliżu nie ma osi a inny, gdy w strefie działania czujnika znajduje się oś, w związku

z tym, zakłócenia ze względu na pochodzenie można podzielić na:

- prądy płynące w tokach szynowych (powrotny prąd trakcyjny i prądy wynikające z rezonansów w sieci trakcyjnej),
- pola magnetyczne (stałe i zmienne) generowane przez elementy taboru (np. hamulce szynowe, hamulce wiroprowadowe, elektryczne silniki trakcyjne, przetwornice trakcyjne).

Konsekwencją oddziaływania pól magnetycznych, których poziomy natężenia przekraczają wartości dopuszczalne, jest negatywny wpływ na pracę liczników osi. Może to objawiać się między innymi: przechodzeniem liczników w stany awaryjne wymagające manualnych restartów, niezbilansowaniem się osi przejeżdżającego taboru, a w ostateczności błędnym wskazaniem niezajętości / zajętości toru. Każde z wymienionych zagrożeń będzie miało negatywny wpływ na prowadzenie ruchu pociągów, a w skrajnych przypadkach może prowadzić nawet do wypadków.

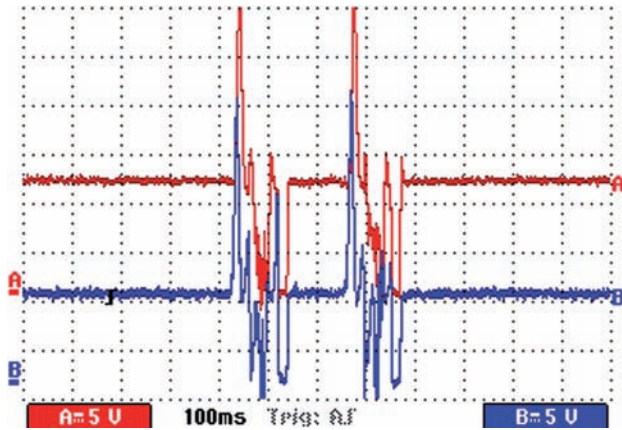
W związku z tym konieczne jest przeprowadzanie badań poziomów natężeń emisji pól magnetycznych w przypadku wprowadzania do eksploatacji nowego, jak również modernizowanego taboru. Ma to na celu wyeliminowanie źródeł zakłóceń pochodzących od pojazdów już na etapie badań homologacyjnych. Na rysunkach 6 i 7 zaprezentowano przykładowy wpływ zakłóceń i jego brak na działanie czujnika koła.



Rys. 6. Poprawny sygnał analogowy przesłany przez czujnik koła (10 osi, 2 kanały) [opracowanie własne]

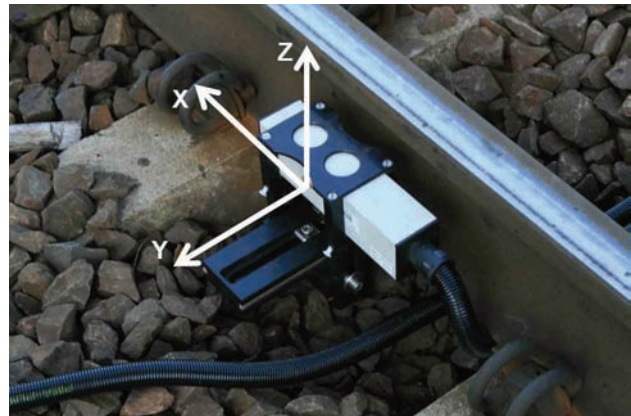
Mając na względzie tę problematykę, w Instytucie Kolejnictwa zbudowano stanowisko do badania pól magnetycznych generowanych przez tabor w paśmie pracy liczników osi. Struktura stanowiska jest zgodna z obecnie obowiązującymi standardami europejskimi [5, 6] i obejmuje dwie anteny pomiarowe typu MFS-3D-100 wraz z zewnętrznymi kartami pomiarowymi, okablowaniem oraz komputerem przenośnym

ze specjalistycznym oprogramowaniem. Elementami uzupełniającymi stanowisko są przyrządy pomiarowe służące do jego kalibracji, w tym oscyloskop, generator sygnałowy i multimetry.



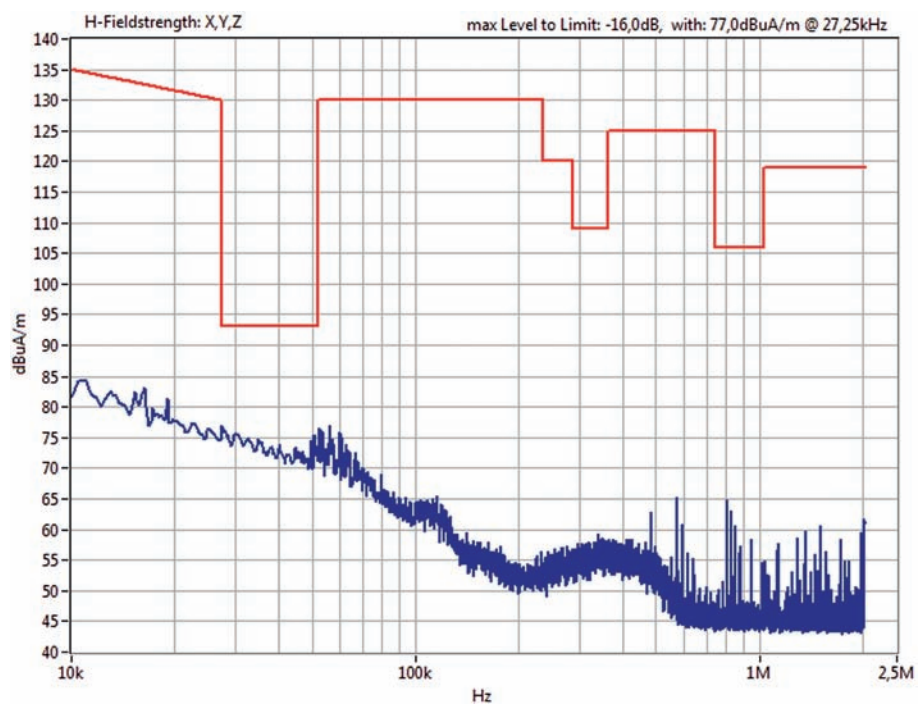
Rys. 7. Zakłócony sygnał analogowy przesłany przez czujnik koła (2 osie, 2 kanały) [opracowanie własne]

Badanie odbywa się podczas przejazdu taboru szynowego i polega na pomiarze wartości natężenia pola magnetycznego (i jego rejestracji) w miejscu mocowania anten pomiarowych. Dzięki zastosowaniu jednocześnie dwóch anten pomiarowych istnieje możliwość symultanicznego pomiaru obu stron badanego taboru. Natężenie pola magnetycznego jest mierzone w trzech kierunkach X, Y, Z za pomocą specjalnych anten mocowanych do szyn (rys. 8), w zakresie częstotliwości 10 kHz–2 MHz [7–11].

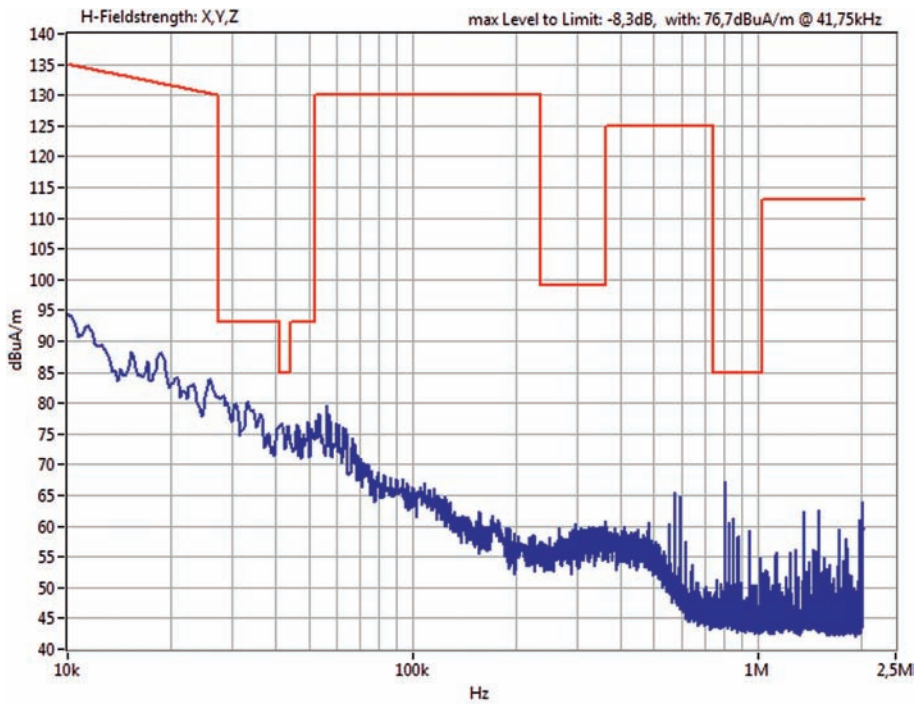


Rys. 8. Widok anteny pomiarowej zamontowanej w torze z naniesionymi kierunkami płaszczyzn pomiarowych [opracowanie własne]

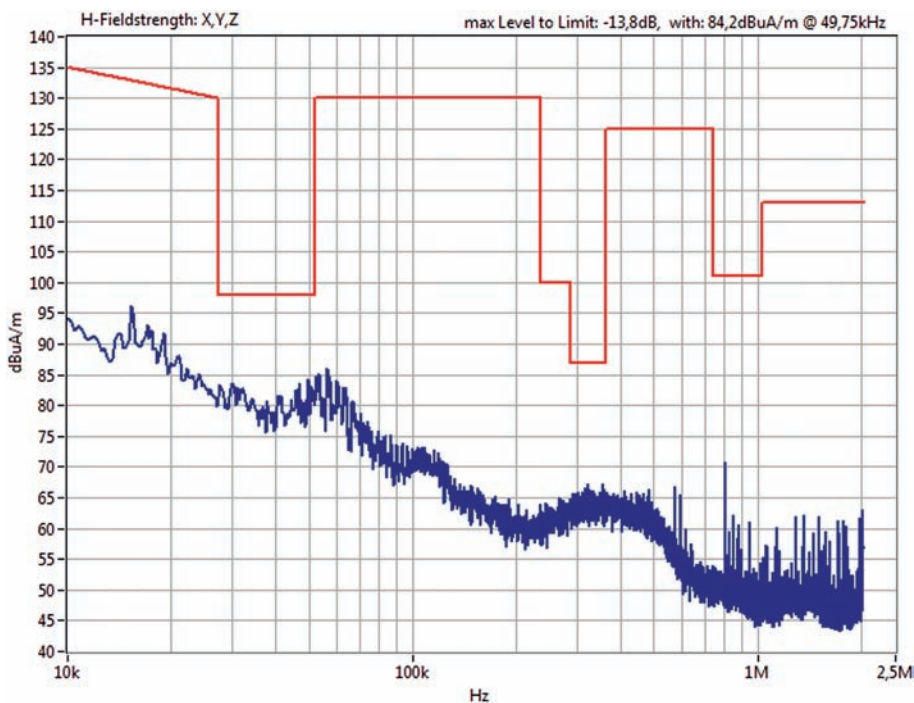
Zmierzone i zarejestrowane wartości są porównywane z wartościami dopuszczalnymi [4–6]. Na tej podstawie dokonywana jest ocena oddziaływania pola elektromagnetycznego na czujniki koła. Dzięki charakterystykom pól elektromagnetycznych generowanych przez tabor, dobiera się odpowiednie typy czujników koła i następnie bada oddziaływanie taboru. Na rysunkach 9–11 zaprezentowano przykładowe wyniki pomiarów natężenia pola magnetycznego zarejestrowane na torze doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie. Kolor czerwony reprezentuje wartości dopuszczalne zakłóceń zgodnie z techniczną specyfikacją TS 50238-3 oraz dokumentem ERA/ERTMS/033281 [5, 6], a niebieski natężenie pól generowanych przez badany pojazd.



Rys. 9. Natężenie pola magnetycznego generowanego przez elektryczny zespół trakcyjny w płaszczyźnie X [opracowanie własne]



Rys. 9. Natężenie pola magnetycznego generowanego przez elektryczny zespół trakcyjny w płaszczyźnie Y [opracowanie własne]



Rys. 9. Natężenie pola magnetycznego generowanego przez elektryczny zespół trakcyjny w płaszczyźnie Z [opracowanie własne]

W przypadku przekroczenia wartości dopuszczalnej pola elektromagnetycznego badanego taboru szynowego, 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.

4. Podsumowanie

W ogólnej tendencji wprowadzania coraz powszechniej liczników osi oraz dużej liczby obwodów torowych, badania oddziaływania pojazdów szynowych na urządzenia sterowania ruchem kolejowym są zagadnieniem kluczowym i powinny być

wykonywane dla całego taboru poruszającego się po polskiej sieci kolejowej. Badania takie wyeliminują z eksploatacji tabor, który może negatywnie wpływać na pracę tych urządzeń, a tym samym ograniczenie zakłóceń w ruchu pociągów, co umożliwi łatwiejsze zarządzanie ruchem kolejowym a przede wszystkim utrzymanie bezpieczeństwa na odpowiednim poziomie.

Zaprezentowana metoda badania natężeń pól magnetycznych spełnia najnowsze standardy europejskie i pozwala na jednoznaczne określenie czy badany pojazd może negatywnie wpływać na działanie czujników koła, a w konsekwencji samych liczników osi.

Instytut Kolejnictwa, jako pierwsza jednostka badawcza w Polsce, miała wykwalifikowaną kadrę i odpowiednie zaplecze techniczne, umożliwiające kompleksową realizację i ocenę wyników badań taboru kolejowego pod względem jego oddziaływania na urządzenia sterowania ruchem kolejowym. Opracowane i realizowane przez pracowników Instytutu Kolejnictwa metody badawcze wielokrotnie przyczyniły się do wykrycia błędów projektowych oraz montażowych na etapie badań homologacyjnych, jak również w taborze eksploatowanym.

Literatura

1. Massel A. et.al.: *Rola okręgu doświadczalnego Instytutu Kolejnictwa w badaniach taboru i infrastruktury kolejowej*, Warszawa, Żmigród, 2021.
2. Białoń A., Furman J., Ortel K.: *Badania zgodności taboru kolejowego i systemów wykrywania pociągu wykonywane przez Instytut Kolejnictwa na podstawie wymagań krajowych*, XXV Konferencja Naukowa Pojazdy Szynowe 2023, 10–13.09.2023.
3. Białoń A., Furman J., Ortel K.: *Charakterystyka badań EMC realizowanych na Okręgu Doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie*, XXV Konferencja Naukowa Pojazdy Szynowe 2023, 10–13.09.2023.
4. Lista Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwi spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei z dnia 05 listopada 2021 r.
5. Techniczna specyfikacja CLC/TS 50238-3:2022: Zastosowania kolejowe – Kompatybilność taboru kolejowego z systemami detekcji pociągów – Część 3: Kompatybilność z licznikami osi.
6. Dokument ERA/ERTMS/033281 wersja 4.0.
7. Adamski D., Ortel K., Zawadka Ł.: *Jednolita metoda badania kompatybilności elektromagnetycznej pomiędzy taborem a systemami detekcji*, Prace Instytutu Kolejnictwa, 2019, z. 161.
8. Adamski D. et.al.: *Influence of magnetic field of a rolling stock on axle-counters used on Polish railway lines*, Infrastruktura Transportu, 2014, nr 4.
9. Adamski D. et.al.: *Wpływ pola magnetycznego generowanego przez pojazdy trakcyjne na urządzenia srk w odniesieniu do obowiązujących standardów*, Problemy Kolejnictwa, 2015, z. 168.
10. Adamski D. et.al.: *Wpływ pojazdów różnej generacji na poziomy emisji pól magnetycznych*, Logistyka, 2015, nr 4.
11. Adamski D., Ortel K., Zawadka Ł.: *Unified verification method of electromagnetic compatibility between rolling stock and train detection system*, Konferencja UIC, Global Debate on Mobility Challenges for the Future Society, Warszawa 15–16.11.2018.
12. Adamski D. et.al.: *Impedancja osi zestawu kołowego a bezpieczeństwo ruchu kolejowego, cz. I*, Infrastruktura Transportu, 2013, nr 4.
13. Białoń A. et.al.: *Rezystancja osi zestawu kołowego pojazdu trakcyjnego jako jeden z czynników decydujących o bezpieczeństwie ruchu kolejowego*, Autobusy, 2013, nr 3.
14. Adamski D. et.al.: *Impedancja osi zestawu kołowego a bezpieczeństwo ruchu kolejowego, cz. II*, Infrastruktura Transportu, 2013, nr 5.