

## Badania wybranych parametrów pól elektromagnetycznych generowanych przez lokomotywę spalinowo-elektryczną

Dominik ADAMSKI<sup>1</sup>, Krzysztof ORTEL<sup>2</sup>, Juliusz FURMAN<sup>3</sup>

### Streszczenie

Powszechne stosowanie przez różne zarządy kolejowe licznikowych systemów stwierdzania niezajętości torów uwidocznilo problematykę odporności tych urządzeń na zaburzenia generowane przez tabor kolejowy. Innym aspektem związanym z tą tematyką jest również wyposażanie pojazdów szynowych w urządzenia elektryczne i elektroniczne o rozbudowanej strukturze. Z doświadczenia wielu zarządów kolejowych wynika, że nowoczesne pojazdy mogą powodować zakłócenia w pracy liczników osi. Z tego względu od wielu lat trwają prace normalizacyjne na poziomie europejskim, mające na celu ujednoczenie i uproszczenie procedur związanych z dopuszczaniem poszczególnych typów taboru kolejowego do eksploatacji na europejskiej sieci kolejowej. Przedstawione w artykule przykładowe wyniki badań potwierdzają konieczność wykonywania pomiarów zarówno w trakcji elektrycznej, jak i spalinowej, ze względu na podobny charakter emisji i wartości mierzonych poziomów. Wykonywanie pomiarów wpływu pól magnetycznych emitowanych przez pojazdy trakcyjne jest istotnym składnikiem badań kompatybilności elektromagnetycznej taboru poruszającego się po torach kolejowych, wyposażonych w urządzenia wykrywania obecności pociągu.

**Słowa kluczowe:** kompatybilność elektromagnetyczna, liczniki osi, tabor kolejowy

### 1. Wstęp

Obecnie można zaobserwować powszechne stosowanie na polskich liniach kolejowych licznikowych systemów stwierdzania niezajętości torów. Praca tych urządzeń może być narażona na negatywne działanie urządzeń elektrycznych i elektronicznych o rozbudowanej strukturze, będących wyposażeniem nowoczesnych pojazdów szynowych, poruszających się po torach kolejowych. Ewentualne zagrożenie wystąpienia zakłócenia w pracy liczników osi, uwidocznilo problematykę odporności tych urządzeń na zaburzenia generowane przez tabor kolejowy. Z tego powodu od wielu lat trwają prace normalizacyjne na poziomie europejskim, które mają na celu ujednoczenie i uproszczenie procedur, związanych z dopuszczaniem poszczególnych typów taboru kolejowego do eksploatacji na europejskiej sieci kolejowej. Starania te w dużej mierze są również ukierunkowane na tzw. proces zarządzania częstotliwościami, którego efektem będzie ustalenie dopuszczalnych poziomów zakłóceń dla poszczególnych zakresów częstotliwości.

Uwarunkowania prawne w zakresie interoperacyjności kolei nakazują producentom taboru spełnie-

nie wymagań, określonych w Technicznych Specyfikacjach Interoperacyjności (TSI) [15]. W zakresie tematyki opisanej w niniejszym artykule, głównym dokumentem określającym wymagania dla taboru, jest dokument ERA/ETRS/033281 [11], w którym przedstawiono m.in. limity natężeń pól magnetycznych dla trakcji AC i metodę pomiaru tych pól. Warto zaznaczyć, iż obecnie brakuje jednolitych wymagań europejskich dotyczących limitów pól magnetycznych dla systemu trakcji prądu stałego – są to tzw. punkty otwarte, których wymagania są definiowane na poziomie prawa krajowego. Dopuszczalne poziomy emitowanych zaburzeń elektromagnetycznych w zakresie wymagań krajowych określono w pracy Instytutu Kolejnictwa [13] i obowiązują one jako oficjalny załącznik Listy Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego [9], natomiast w zakresie prawa europejskiego są zawarte w technicznej specyfikacji CLC/TS 50238-3:2010 [12] oraz w normie PN-EN 50592:2017-04 [12].

Zagadnienia związane z tematyką kompatybilności, dotyczące współpracy taboru z urządzeniami detekcji pociągów, określa także norma PN-EN 50238:2003 [11] oraz norma PN-EN 50617-2:2015-12 [13].

<sup>1</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki; e-mail: dadamski@ikolej.pl.

<sup>2</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki; e-mail: kortel@ikolej.pl.

<sup>3</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki; e-mail: jfurman@ikolej.pl.

## 2. Czujniki koła – rodzaje zaburzeń i warunki oddziaływania pola magnetycznego

Jak wspomniano we wstępie, systemy licznikowego wykrywania osi pociągu wykorzystujące obwody z czujnikami koła (czyli elementy wrażliwe) są narażone na działanie pola magnetycznego. Dzieje się tak dlatego, że ze względu na krótki obszar działania (długość anteny zamontowanej przy szynie kolejowej około 15 cm), wymagany czas reakcji czujników koła na zmiany pola magnetycznego powinien być jak najkrótszy. W tym przypadku, prawdopodobieństwo przekroczenia granicznej wartości poziomu odporności na pojawiające się zakłócenia, ze względu na krótki czas ich trwania jest wówczas największe.

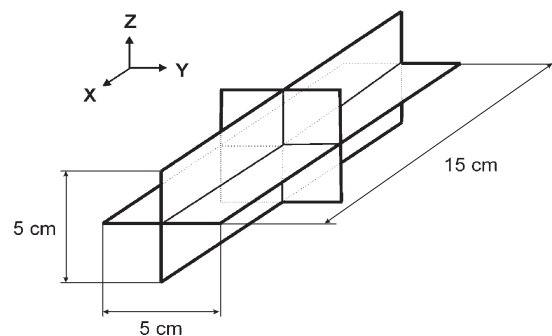
W trakcji prądu DC 3 kV występują dwa główne rodzaje źródeł zaburzeń w pracy czujników koła: bezpośrednie zakłócenia od prądu powrotnego płynącego w szynach oraz pole magnetyczne emitowane przez pojazdy trakcyjne przemieszczające się po torze. Ponadto muszą wystąpić szczególne warunki negatywnego oddziaływania pola magnetycznego na wyżej wymienione urządzenia:

- występowanie na linii kolejowej elementów wrażliwych na zakłócające działanie pola magnetycznego,
- pokrywanie się roboczego pasma częstotliwości czujnika koła z prążkami widma zaburzeń generowanych przez pojazd oraz inne elementy środowiska elektromagnetycznego,
- przekroczenie przez dane zaburzenie elektromagnetyczne poziomu odporności czujnika koła w danym paśmie roboczym – dla sygnału o wymaganej amplitudzie i czasie trwania zaburzenia.

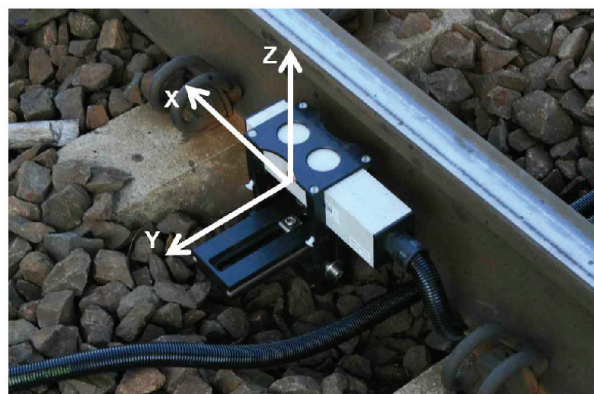
## 3. Metodyka pomiaru pól magnetycznych w torze generowanych przez pojazdy szynowe

Zgodnie z zapisami zawartymi w dokumencie ERA/ETRMS/033281 [8], normie PN-EN 50592:2017-04 [12] i w normie PN-EN 50617-2:2015-12 [13] pomiary pól magnetycznych generowanych przez tabor należy przeprowadzić anteną o standaryzowanych wymiarach (długość 15 cm, szerokość 5 cm i wysokość 5 cm – rys. 1), przymocowaną do stopki szyny i ustawioną w określonej pozycji (rys. 2). Takie usytuowanie anteny pomiarowej zapewnia prawidłowy odczyt wyników pomiaru pól magnetycznych w trzech wzajemnie prostopadłych płaszczyznach pomiarowych: X, Y, Z (rys. 2). Wartości mierzone mieszczą się w granicach od 10 kHz do 2 MHz, natomiast najbardziej istotne dla pracy liczników osi dopuszczalne wartości na-

tężenia pola magnetycznego określa się dla trzech zakresów częstotliwości: 27–52 kHz, 234–363 kHz, 740–1250 kHz.



Rys. 1. Standardowe, zalecane wymiary anteny pomiarowej [archiwum Zakładu]



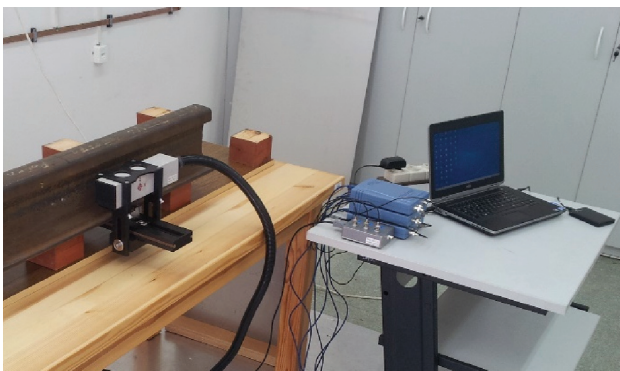
Rys. 2. Sposób montażu anteny pomiarowej ze wskazanymi kierunkami płaszczyzn [archiwum Zakładu]

Instytut Kolejnictwa dysponuje aparaturą pomiarową, która spełnia obowiązujące wymagania europejskie w zakresie tego typu pomiarów oraz zespołem wykwalifikowanych pracowników z dużym doświadczeniem w opisanych badaniach. Wyposażenie pomiarowe (rys. 3) składa się z:

- przenośnego komputera typu laptop z oprogramowaniem do przetwarzania i archiwizacji danych,
- dwóch anten pomiarowych (standardowo w innych systemach używana jest jedna antena pomiarowa),
- trzech kart oscyloskopowych,
- dwóch modułów TNB z wbudowanymi transformatorami impedancji,
- rozgałęziacza USB z zewnętrznym zasilaniem,
- przewodów pomiarowych.

Badania pól elektromagnetycznych polegają na pomiarze wartości natężeń generowanych pól magnetycznych podczas przejazdu konkretnego pojazdu nad antenami pomiarowymi zainstalowanymi w torze (rys. 4). Próby przeprowadza się w różnych konfiguracjach pracy pojazdu, jak np.: przejazd z różnymi prędkościami, rozruch, hamowanie elektrodynamiczne,

przejazdy z uruchomionymi urządzeniami pokładowymi (klimatyzacja, ogrzewanie itd.). Wartości napięć indukowane w antenach w trakcie przejazdu badanego pojazdu są rejestrowane na kartach oscyloskopowych. Wyniki rejestracji są następnie przesyłane do komputera pomiarowego, gdzie kolejno przeprowadzana jest analiza FFT przy zastosowaniu specjalistycznego oprogramowania. Rezultatem tej analizy są charakterystyki wartości natężeń generowanych pól magnetycznych w funkcji częstotliwości, które zestawiono z wartościami granicznymi określonymi dla każdej z mierzonych płaszczyzn, zgodnie z wymienionymi wcześniej wymaganiami normatywnymi.



Rys. 3. Widok stanowiska do badania pól magnetycznych podczas testów laboratoryjnych [archiwum Zakładu]



Rys. 4. Anteny pomiarowe zamontowane w torze kolejowym [archiwum Zakładu]

Dwie anteny pomiarowe w znacznym stopniu redukują liczbę wykonywanych przejazdów oraz umożliwiają kompleksową ocenę badanego taboru, niezależnie od ewentualnej asymetrii położenia źródła zakłóceń na pojeździe względem osi toru, co ma szczególne znaczenie podczas badań prowadzonych na szlaku kolejowym. Przedstawiona metoda badawcza jest zgodna z obowiązującymi wymaganiami i umożliwia precyzyjne oszacowanie wartości mierzonych w odniesieniu do obowiązujących wartości granicznych.

## 4. Wyniki badań

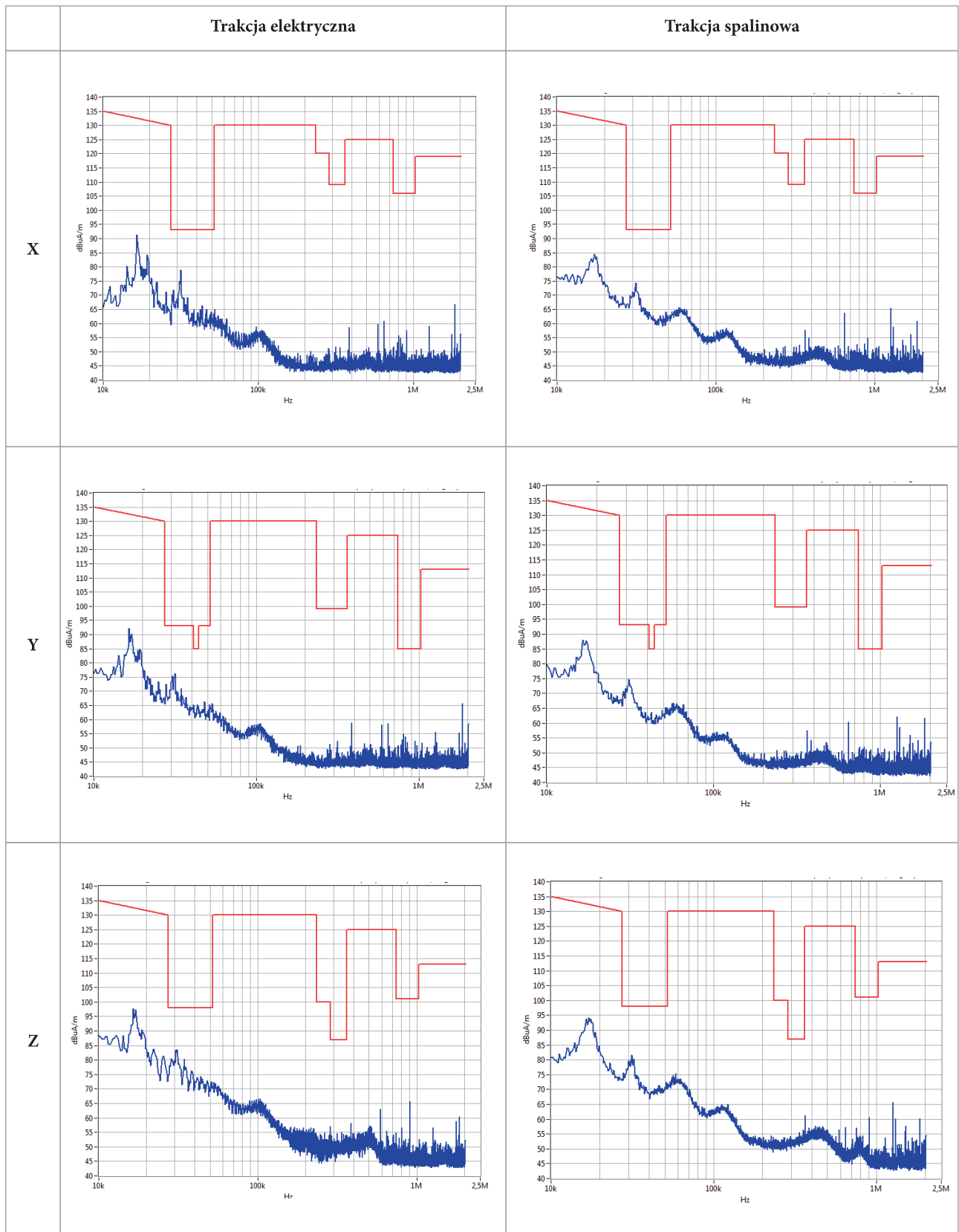
W tym rozdziale przedstawiono wyniki przykładowych badań wykonanych dla lokomotywy eksploatowanej w systemie zasilania 3 kV DC i trakcji spalinowej. Badania te dotyczyły oceny spełnienia wymagań w procesie homologacji pojazdów na sieć zarządzaną przez spółkę PKP PLK S.A.

Stanowisko pomiarowe zlokalizowano na okręgu doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie. Pomiary przeprowadzono dla podstawowych stanów eksploatacyjnych lokomotywy trakcyjnej (rozruch, hamowanie, jazda ze stałą prędkością) oraz dla przypadków braku obecności pojazdu w pobliżu anten pomiarowych (tzw. pomiar tła). Na rysunku 5 zobrazowano natężenia pola magnetycznego zarejestrowane podczas rozruchu badanej lokomotywy w trakcji elektrycznej i spalinowej. Rysunek 6 pokazuje wyniki rejestracji podczas wdrożonego hamowania elektrodynamicznego lokomotywy w trakcji elektrycznej i spalinowej. Na rysunkach oznaczono graniczne wartości pól magnetycznych oraz wartości zmierzone zgodne z wymaganiami dokumentu ERA/ETRMS/033281 i normy PN-EN 50592:2017-04.

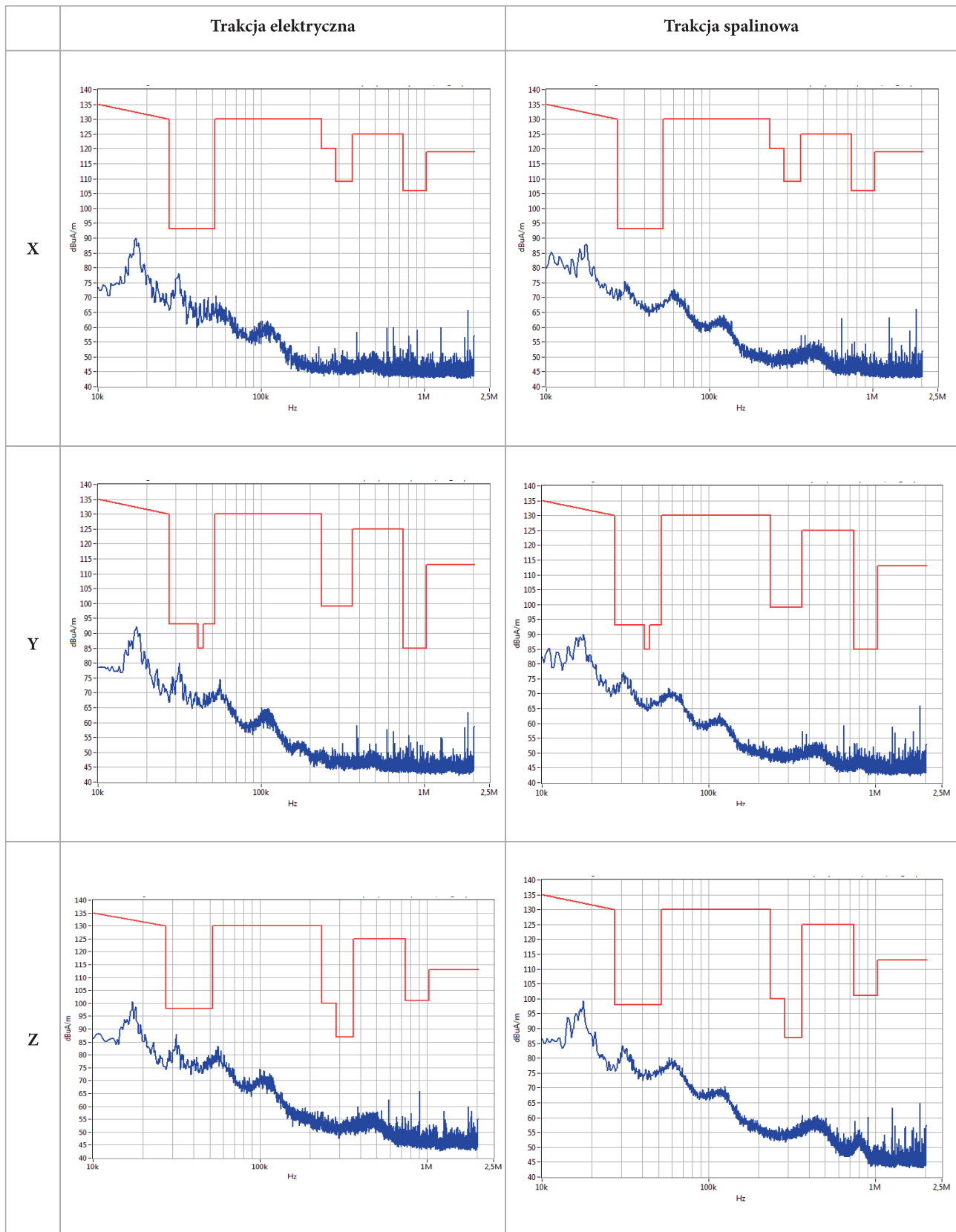
Na rysunkach 5 i 6 zaobserwowano zwiększony poziom zakłóceń w paśmie do około 200 kHz, malejący prawie liniowo (w skali logarytmicznej), co może świadczyć o występowaniu niskoczęstotliwościowych zakłóceń o dużej amplitudzie, które dają szerokie widmo sygnału podczas hamowania elektrodynamicznego. Nieznacznie wyższe, o około 5dB, poziomy zakłóceń występują dla pracy w trakcji elektrycznej, co może być spowodowane dodatkowym oddziaływaniem prądu trakcyjnego płynącego z pantografu przez badaną lokomotywę do toków szynowych. Tak mała różnica poziomów zakłóceń świadczy o takim samym charakterze urządzeń elektrycznych i elektronicznych stosowanych w lokomotywie. Różnica polega tylko na sposobie dostarczenia zasilania: za pomocą pantografu w trakcji elektrycznej i napędu prądnicy zasilającej silnik wysokoprężny w trakcji spalinowej.

## 5. Przykłady i skutki przekroczeń wartości dopuszczalnych

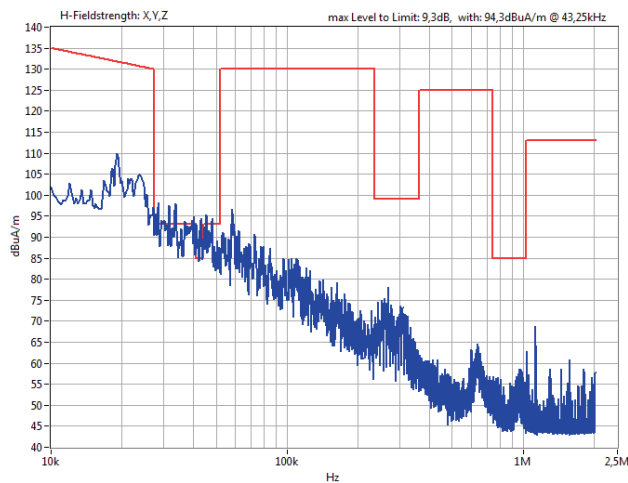
Wieloletnie doświadczenia całego zespołu dowodzą, że przekroczeń natężenia pól magnetycznych emitowanych przez tabor najczęściej można spodziewać się w płaszczyźnie pomiarowej Y o wektorze prostopadłym do szyny i równoległym. Jest to warunkowane wzajemnym kompensowaniem się pól magnetycznych pochodzących od prądów płynących w tokach szynowych i od pojazdów. Przykład opisanego przekroczenia pokazuje rysunek 7.



Rys. 5. Natężenie pola magnetycznego w płaszczyznach X, Y, Z zarejestrowane w torze podczas rozruchu lokomotywy spalinowo-elektrycznej [opracowanie autorów]



Rys. 6. Natężenie pola magnetycznego w płaszczyznach X, Y, Z zarejestrowane w torze podczas hamowania elektrodynamicznego lokomotywy spalinowo-elektrycznej [opracowanie autorów]

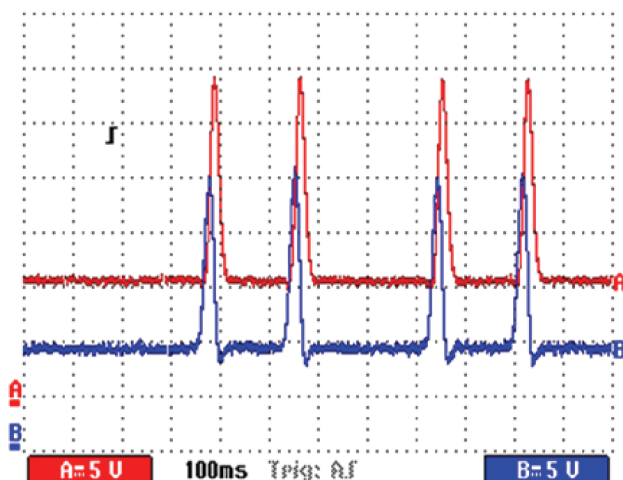


Rys. 7. Przekroczenie wartości dopuszczalnej natężenia pola magnetycznego w płaszczyźnie pomiarowej Y [opracowanie autorów]

Na rysunkach 8 i 9 przedstawiono oscylogramy przebiegów charakterystyki napięcia na wejściach czujników koła podczas przejazdów osi pojazdu. Na rysunku 8 widać przejazd czterech osi danego pojazdu i sygnał na wyjściu niezakłócony, a na rysunku 9 zakłócony sygnał wynikający z przekroczenia wartości dopuszczalnych (jak na rysunku 7).

Zakłócenie pracy czujnika koła (rys. 9) zewnętrznym polem magnetycznym może spowodować:

- zliczenie dodatkowej osi,
- niezliczenie wszystkich osi pojazdu,
- przejście czujnika w stan awaryjny (wymagany reset licznika),
- konieczność interwencji obsługi,
- przejazd kontrolny (ograniczenie prędkości),
- opóźnienia w ruchu pociągów.



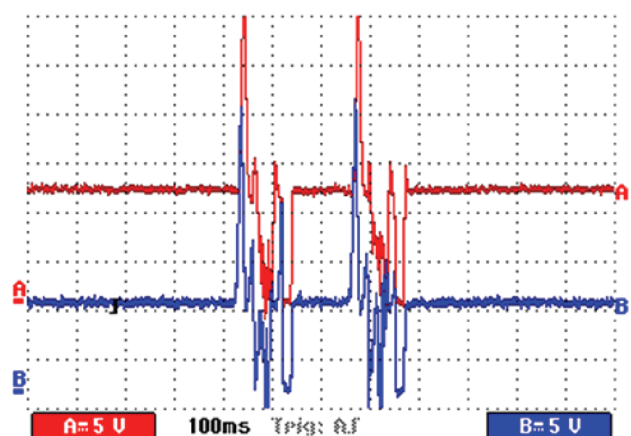
Rys. 8. Przebieg charakterystyki napięcia (z uwzględnieniem reakcji na osie pojazdu) na wyjściach czujnika koła podczas przejazdu – sygnał poprawny [opracowanie autorów]

## 6. Podsumowanie

Przedstawiona w artykule metoda badawcza i opisany problem pokazują słusność pomiarów pól magnetycznych pojazdów zarówno w trakcji elektrycznej, jak i spalinowej, gdyż sposób i rodzaj dostarczonej energii do urządzeń elektrycznych zamontowanych na pojeździe nie mają istotnego wpływu na różnicę wartości mierzonych pól elektromagnetycznych. Uzasadnione jest przeprowadzanie badań emisji natężeń pól magnetycznych w przypadku wprowadzania do eksploatacji nowego, jak również modernizowanego taboru, jako istotnego punktu badań na liniach kolejowych, wyposażonych w licznikowe systemy wykrywania obecności pociągu. Metoda pomiarowa opisana w artykule jest zgodna z obowiązującymi wymaganiami normatywnymi i umożliwia precyzyjne oszacowanie wartości mierzonych pól magnetycznych w odniesieniu do wartości granicznych. Ułatwia już na etapie badań homologacyjnych eliminację powstałego źródła zakłóceń, przekraczających wartości dopuszczalne, pochodzących od pojazdów.

## Literatura

1. Adamski D. et.al.: *Konsekwencje wpływu pól magnetycznych na liczniki osi*, Logistyka 3/2014.
2. Adamski D. et.al.: *Magnetic fields generated by vehicles in alternating current traction system*, Wydawnictwo PiT Kraków, 2016.
3. Adamski D. et.al.: *Pola magnetyczne generowane przez pojazdy w systemie trakcji prądu przemiennego*, Technika Transportu Szynowego TTS 11/2016.
4. Adamski D. et.al.: *Wpływ pola magnetycznego generowanego przez pojazdy trakcyjne na urządzenia*



Rys. 9. Przebieg charakterystyki napięcia (z uwzględnieniem reakcji na osie pojazdu) na wyjściach czujnika koła podczas przejazdu – sygnał zakłócony [opracowanie autorów]

- srk w odniesieniu do obowiązujących standardów*, Konferencja „Najnowsze Technologie w Transporcie Szynowym”, Józefów 2014 r.
5. Adamski D. et.al.: *Wpływ pola magnetycznego generowanego przez pojazdy trakcyjne na urządzenia SRK na tle obowiązujących standardów*, Problemy Kolejnictwa, 2015, z.168.
  6. 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. Warszawa.
  7. Białoń A. et.al.: *Wpływ pojazdów różnej generacji na poziomy emisji pól magnetycznych*, Logistyka 4/2015.
  8. *Interfaces between control-command and signalling trackside and other subsystem*, ERA/ERT-MS/033281, Version 3.0, 04/12/2015 r.
  9. 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 19 stycznia 2017 r.
  10. Określenie dopuszczalnych poziomów i parametrów zakłóceń dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym, Praca Instytutu Kolejnictwa nr 4430/10, 2011.
  11. PN-EN 50238:2003: Zastosowania kolejowe. Kompatybilność pomiędzy taborem a urządzeniami wykrywania pociągu. Wiadomości ogólne.
  12. PN-EN 50592:2017-04: Zastosowania kolejowe – Badania taboru kolejowego pod względem kompatybilności elektromagnetycznej z licznikami osi.
  13. PN-EN 50617-2:2015-12: Zastosowania kolejowe – Techniczne parametry systemów wykrywania pociągu dotyczące interoperacyjności transeuropejskiego systemu kolejowego – Część 2: Liczniki osi.
  14. Rozporządzenie Komisji (UE) 2016/919 z dnia 27 maja 2016 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności w zakresie podsystemów „Sterowanie” systemu kolei w Unii Europejskiej.
  15. 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.
  16. Techniczna specyfikacja CLC/TS 50238-3:2013: Zastosowania kolejowe. Kompatybilność pomiędzy taborem a urządzeniami wykrywania pociągu. Kompatybilność z licznikami osi.