

Andrzej Białoń, Łukasz John

Pomiary pól magnetycznych taboru kolejowego w świetle obowiązującej normy kolejowej

W artykule przedstawiono pomiary pól magnetycznych AC i DC generowanych przez urządzenia elektryczne i elektroniczne instalowane na taborze kolejowym. Omówiona została metodyka pomiarowa pól magnetycznych w odniesieniu do aktualnie obowiązujących wymagań i przepisów prawnych w środowisku kolejowym wraz z dopuszczalnymi poziomami. Ponadto przedstawiono wyposażenie pomiarowe stosowane do badań, sposób wyboru punktów pomiarowych wewnątrz i na zewnątrz taboru kolejowego. W artykule zilustrowano przykładowe wyniki pomiarów pojazdu kolejowego na przykładzie lokomotywy spalinowej. Jednocześnie zostały przedstawione kryteria dopuszczalnych poziomów pól magnetycznych generowanych przez urządzenia elektryczne i elektroniczne instalowane na taborze.

Eksploatacja wielu urządzeń elektrycznych i elektronicznych zamontowanych w miejscu pracy, jak również obecność instalacji stanowiących wyposażenie np. budynków, w których znajdują się pomieszczenia pracy jest związana z oddziaływaniem pól elektromagnetycznych. Do najliczniejszych źródeł pól elektromagnetycznych występujących w środowisku pracy należą instalacje elektroenergetyczne, urządzenia do elektronicznej ochrony artykułów np. tak zwane bramki detekcyjne, systemy bezprzewodowego przesyłania informacji, a także urządzenia przemysłowe i medyczne.

Ekspozycja pracowników na pola elektromagnetyczne wytwarzane przez te urządzenia występuje w sposób ciągły przez cały dzień pracy. W niektórych przypadkach poziom ekspozycji pracowników może znacznie przekraczać wartości dopuszczalne określone odpowiednimi przepisami. Konieczne jest zatem rozpoznanie źródeł pól elektromagnetycznych i przeanalizowanie zgodności ich poziomów z wymaganiami prawa pracy oraz obowiązującymi przepisami prawnymi.

Podobne zjawisko może występować w środowisku kolejowym, a ściślej mówiąc w taborze kolejowym, na którym instalowane są urządzenia elektryczne i elektroniczne.

Przepisy prawne w środowisku kolejowym

Zgodnie z aktualnie obowiązującym na kolei rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju [10] w sprawie dopuszczenia do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych, dla których wymagane są szczegółowe warunki oraz tryb wydawania certyfikatów zgodności typu, certyfikatów zgodności z typem oraz deklaracji zgodności z typem, należy przeprowadzić badania oddziaływania pól magnetycznych dla pojazdów kolejowych. W tym celu wymagane jest przeprowadzenie badań oddziaływania pól magnetycznych występujących wewnątrz i na zewnątrz pojazdu w odniesieniu do stopnia narażenia ludzi.

Załączony do niniejszego rozporządzenia MliR [10] dokument [6] stanowi listę Prezesa UTK w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei. Na podstawie jednego z artykułów 25d ust. 1 ustawy o transporcie kolejowym

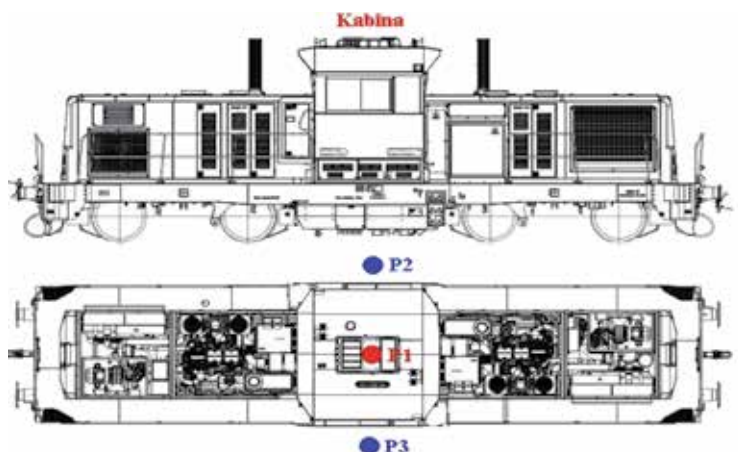
[11], tego typu badania są wymagane w celu spełnienia istotnych specyfikacji dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej, bezpieczeństwa, niezawodności oraz zgodności technicznej pokładowego systemu zasilania i sterowania, jak również oddziaływania na inne pojazdy i na inne systemy zainstalowane w pobliżu toru.

Dodatkowo przepisy dotyczące ochrony ludzi podczas ekspozycji na niezjonizowane pola elektromagnetyczne w środowisku kolejowym różnią się między sobą w poszczególnych krajach Wspólnoty Europejskiej. Takimi dokumentami są między innymi wytyczne Międzynarodowej Komisji Ochrony Przed Promieniowaniem Niejonizującym ICNIRP [3, 5, 4] dla statycznych pól magnetycznych i zmiennych w czasie pól elektrycznych, magnetycznych i elektromagnetycznych.

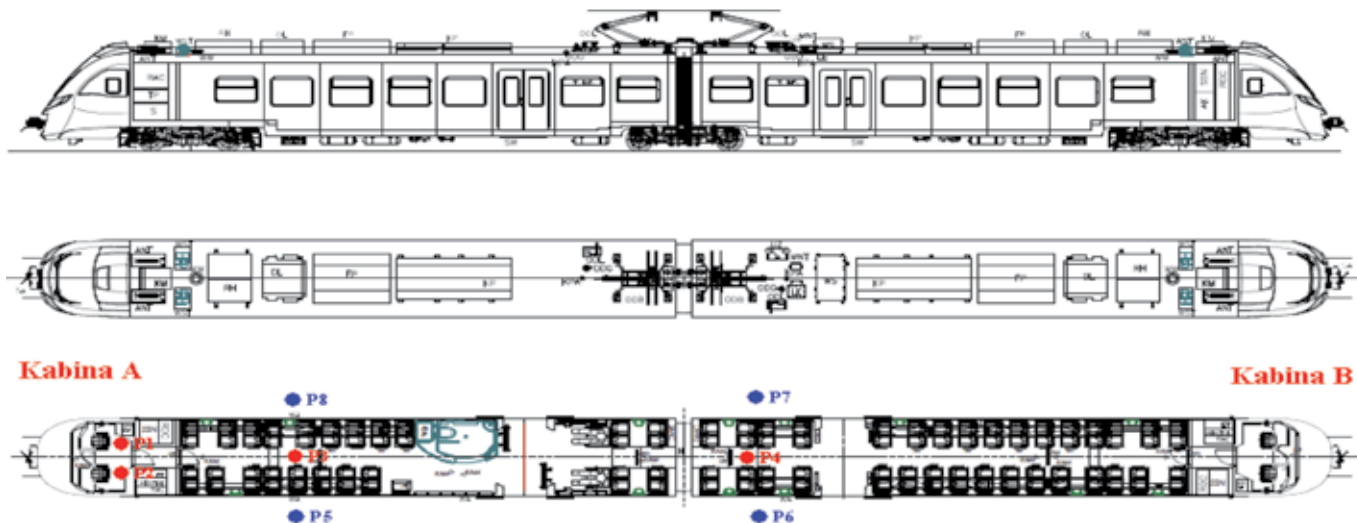
Pomiary indukcji pól magnetycznych taboru kolejowego

Na podstawie wymienionych uprzednio i obecnie obowiązujących dokumentów prawnych w środowisku kolejowym pomiarów pól magnetycznych AC i DC generowanych przez urządzenia elektryczne i elektroniczne instalowane na taborze kolejowym dokonuje się zgodnie z normą [8]. W normie tej zawarte są procedury pomiarowe w odniesieniu do narażenia ludzi dotyczące poziomów pól elektrycznych i magnetycznych generowanych przez urządzenia elektryczne i elektroniczne oraz systemy i instalacje znajdujące się w środowisku kolejowym. Ponadto określone są zasady i kryteria zgodności z dopuszczalnymi poziomami, opisany jest zakres wykonywania pomiarów, stosowane wyposażenie pomiarowe oraz metody oceny wyników z pomiarów.

Obecnie należy wziąć pod uwagę podczas przeprowadzania pomiarów 2 europejskie dokumenty dotyczące pola elektromagnetycznego EMF, do których należy Dyrektywa Parlamentu Europejskiego 2013/35/WE [2], Zalecenie Rady 1999/519/WE [12] oraz polska norma [9] dotycząca przykładowych metod pomiarów, symulacji oraz oceny wykonywanych badań.



Rys. 1. Przykładowa lokalizacja punktów pomiarowych wewnątrz i na zewnątrz lokomotywy spalinowej



Rys. 2. Przykładowa lokalizacja punktów pomiarowych wewnątrz i na zewnątrz elektrycznego zespołu trakcyjnego

Metodyka pomiarów

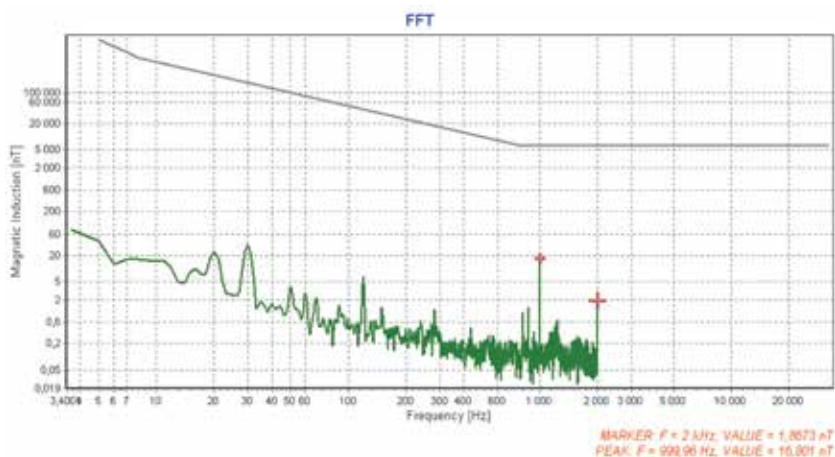
Pomiary poziomów pól magnetycznych AC i DC dla taboru kolejowego zgodnie z zapisami normy [7] należy przeprowadzać w rzeczywistych warunkach atmosferycznych, w wymaganym przez normę paśmie częstotliwości od 0 Hz do 1 Hz dla pola DC i od 5 Hz

do 20 kHz dla pola AC. Pomiary przeprowadzane są dla wszystkich 3 osi składowych natężenia pola magnetycznego przy założeniu, że jedna oś jest równoległa do szyny.

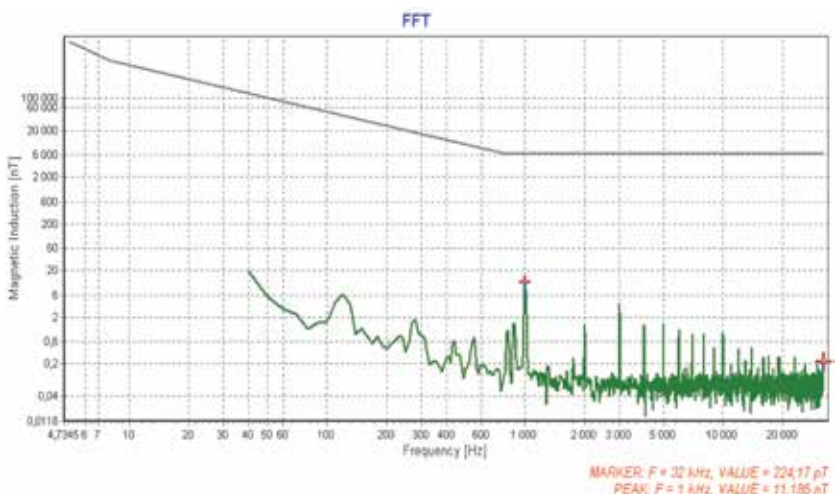
Pomiary poziomów pól magnetycznych dokonuje się w dwóch trybach pracy pojazdu szynowego, a mianowicie:

- ♦ **POSTÓJ** (Tryb statyczny) – pojazd jest na postoju i podłączony do trakcji z załączonymi wszystkimi pokładowymi urządzeniami takimi jak: klimatyzacja, ogrzewanie, oświetlenie wewnętrzne i zewnętrzne, włączone wszystkie urządzenia elektroniczne. W tym przypadku pomiary wykonuje się zarówno wewnątrz pojazdu (kabina maszynisty oraz przedziały pasażerskie), jak również na zewnątrz pojazdu w pobliżu zainstalowanych urządzeń elektrycznych jak: silniki trakcyjne, przetwornice, falowniki, przekształtniki itp.,
- ♦ **JAZDA** (Tryb dynamiczny) – pojazd zaczyna się poruszać od postoju, po czym z największym możliwym przyspieszeniem rozpędza się do maksymalnej prędkości eksploatacyjnej, utrzymuje tę prędkość na wybiegu przez 10 s, a następnie maksymalnie hamuje, aż do całkowitego zatrzymania. Wszystkie obwody pomocnicze powinny działać i wszystkie urządzenia powinny być włączone (np. klimatyzacja, ogrzewanie, światła).

Może wystąpić sytuacja (np. w transporcie miejskim), że nie można rozpędzić pojazdu do maksymalnej możliwej prędkości eksploatacyjnej podczas badań lub system zasilania nie pozwala na rozpędzenie taboru do maksymalnej prędkości eksploatacyjnej podczas przeprowadzania testu. W tym przypadku maksymalna wartość natężenia emisji pól magnetycznych powinna być obliczona na podstawie uzyskanych wyników pomiarów oraz monitorowania linii z wykorzystaniem określonej w normie metody. Przykłady tego typu metod zamieszczone są szczegółowo w normie [8, 9].



Rys. 3. Lokomotywa spalinowa, punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 0,9 m, zakres pomiarowy 5 Hz–2 kHz



Rys. 4. Lokomotywa spalinowa, punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 0,9 m, zakres pomiarowy 40 Hz–20 kHz

Wybór i lokalizacja punktów pomiarowych taboru kolejowego

Pomiary pól magnetycznych powinno przeprowadzać się w miejscach i punktach przestrzennych

wewnątrz i na zewnątrz taboru, które określone zostały szczegółowo w tabeli 1. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe rozmieszczenie punktów pomiarowych wewnątrz kabiny maszynisty (punkt P1) oraz na zewnątrz – punkt P2 i P3 lokomotywy spalinowej. Natomiast na rysunku 2 przedstawiono podobny schemat oznaczeń punktów pomiarowych w przypadku dwuczłonowego elektrycznego zespołu trakcyjnego.

Wyposażenie pomiarowe

W skład wyposażenia pomiarowego służącego do pomiarów pól magnetycznych wchodzi następująca aparatura pomiarowa, która powinna spełniać wymagania normy [8]:

- ❖ miernik pola magnetycznego DC,
- ❖ miernik pola elektromagnetycznego AC wraz z sondą pola magnetycznego o powierzchni przekroju poprzecznego wynoszącej 100 cm²,
- ❖ stacja pogodowa do określenia rzeczywistych warunków atmosferycznych,
- ❖ komputer z oprogramowaniem służący do analizy FFT otrzymanych pomiarów.

Kryterium oceny wyników pomiarów

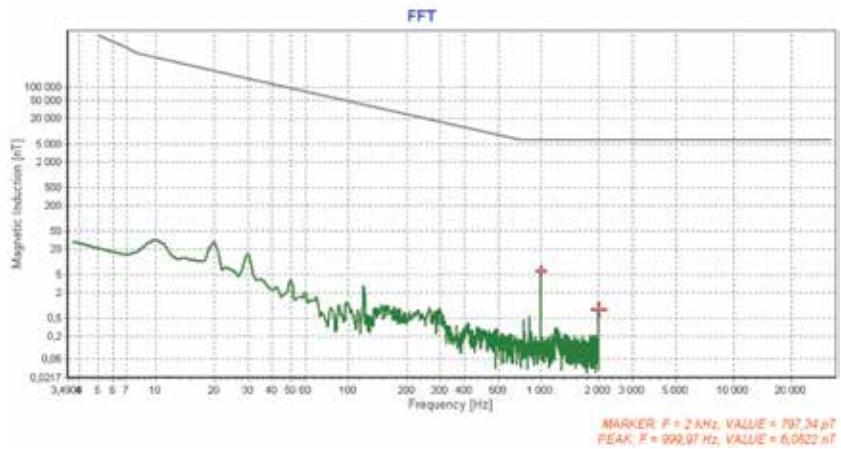
Do oszacowania poziomów indukcji magnetycznej wewnątrz i na zewnątrz pojazdu kolejowego jako kryterium oceny przyjmuje się wymagania zapisane w normie [8] oraz w Zaleceniu Rady [12], które zamieszczono w tabeli 2.

Tab. 1. Lokalizacja punktów przestrzennych wykonywanych pomiarów

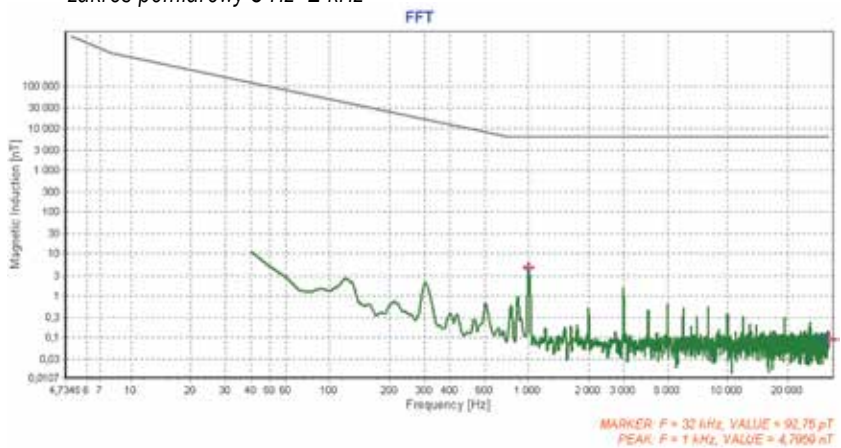
Miejsce/Odległość	Odległość pionowa od podłogi	Odległość pozioma od ścian
Dostępne tylko dla pracowników – pomiar blisko źródła emisji urządzeń, gdzie przebywają pracownicy podczas wykonywania normalnych prac, a także w miejscu gdzie siedzi maszynista	0,9 m; 1,5 m	≥ 0,3 m
Ogólnodostępne – pomiar w najbliższym możliwym położeniu od źródła emisji, gdzie mogą przebywać pasażerowie	0,3 m; 0,9 m; 1,5 m	≥ 0,3 m
Dostępne dla personelu i ogólnodostępne – pomiar na zewnątrz, w pobliżu np. przetwornicy, kabli energetycznych i dławików	0,3 m; 1,5 m; 2,5 m	≥ 0,3 m

Tab. 2. Lokalizacja punktów przestrzennych wykonywanych pomiarów

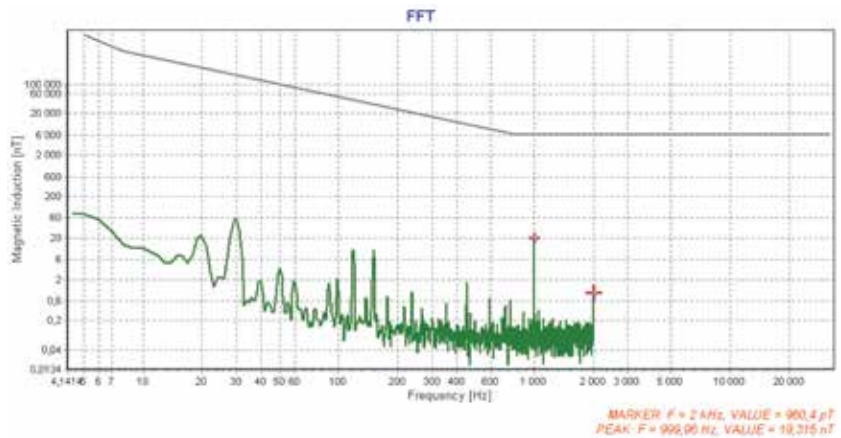
Zakres częstotliwości	Indukcja magnetyczna B (µT)
0–1 Hz	4 · 10 ⁴
1–8 Hz	4 · 10 ⁴ /f ²
8–25 Hz	5 000/f
0,025–0,8 kHz	5/f
0,8–3 kHz	6,25
3–150 kHz	6,25
f – częstotliwość [Hz]	



Rys. 5. Lokomotywa spalinowa, punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 1,5 m, zakres pomiarowy 5 Hz–2 kHz



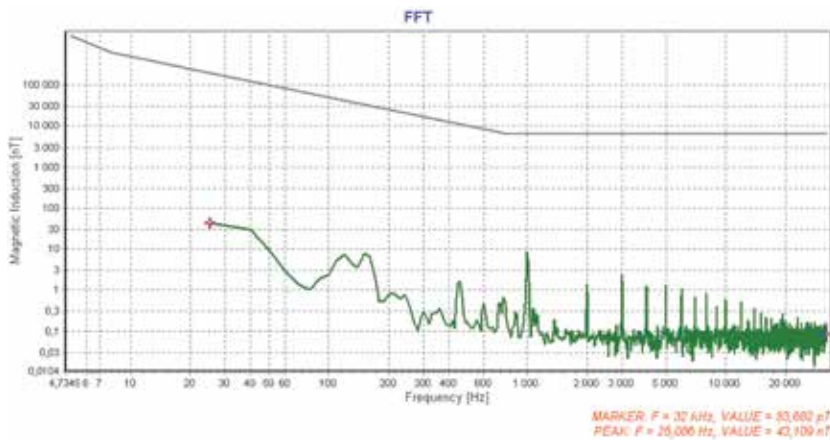
Rys. 6. Lokomotywa spalinowa, punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 1,5 m, zakres pomiarowy 40 Hz–20 kHz



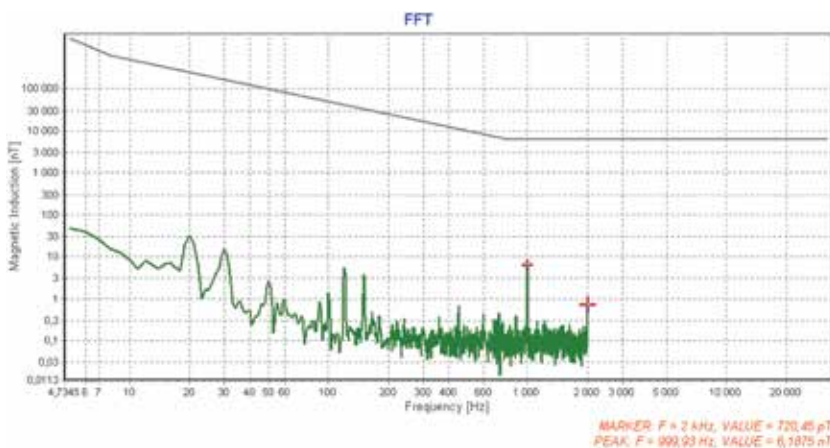
Rys. 7. Lokomotywa spalinowa, punkt pomiarowy P1, jazda, wysokość 0,9 m, zakres pomiarowy 5 Hz–2 kHz

Przykładowe wyniki z pomiarów pól magnetycznych

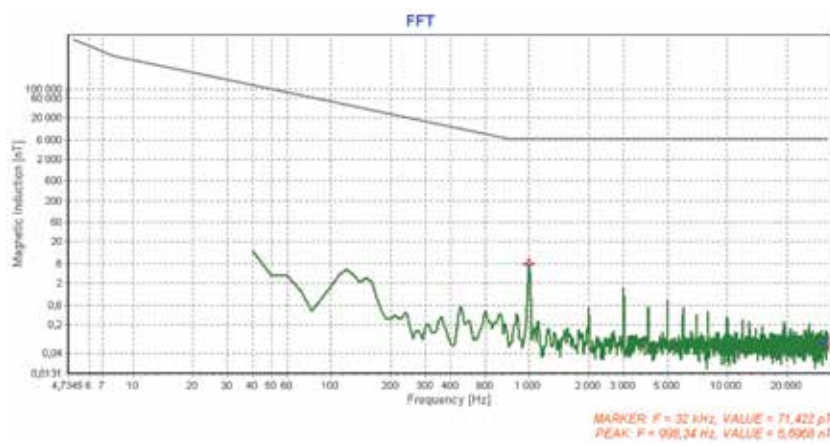
Na rysunkach od 3 do 10 zamieszczono przykładowe charakterystyki przebiegu otrzymanych poziomów indukcji pola magnetycznego funkcji częstotliwości z pomiarów pól magnetycznych AC po dokonanej przez oprogramowanie analizie widma w trybie FFT przy użyciu szybkiej transformacji Fouriera dla następującego punktu pomiarowego: P1 – kabina maszynisty lokomotywy spalinowej dla trybu statycznego (postój) oraz dynamicznego (jazda) w funkcji wysokości umieszczenia zewnętrznej sondy pomiarowej zgodnie z wymaganiami normy [8].



Rys. 8. Lokomotywa spalinowa, punkt pomiarowy P1, jazda, wysokość 0,9 m, zakres pomiarowy 40 Hz–20 kHz



Rys. 9. Lokomotywa spalinowa, punkt pomiarowy P1, jazda, wysokość 1,5 m, zakres pomiarowy 5 Hz–2 kHz



Rys. 10. Lokomotywa spalinowa, punkt pomiarowy P1, jazda, wysokość 1,5 m, zakres pomiarowy 40 Hz–20 kHz

Podsumowanie

Otrzymane wyniki z pomiarów indukcji pola magnetycznego AC i DC porównywane są z dopuszczalnymi poziomami przy jednoczesnym wnioskowaniu czy dany pojazd spełnia wymagania zawarte w odpowiednich normach oraz przepisach krajowych i czy może zostać dopuszczony do ruchu aglomeracyjnego na terenie kolejowym.

Bibliografia

1. Białoń A., Dłużniewski A., John Ł., *Eliminacja zaburzeń przewodzonych w pokładowej sieci zasilającej niskiego napięcia pojazdów trakcyjnych*, „Technika Transportu Szynowego” 2015, nr 6.

2. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/WE z dnia 26 czerwca 2013 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia powodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi) (dwudziesta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywa 80/391/EWG) i uchylająca dyrektywę 2004/40/WE.
3. INCIRP GUIDELINES for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz), „Health Physics” 1998, nr 74 (4).
4. INCIRP GUIDELINES on limits of exposure to static magnetic fields, „Health Physics” 2009, nr 96 (4).
5. INCIRP STATEMENT guidance on determining compliance of exposure to pulsed fields and complex non-sinusoidal waveforms below 100 kHz with INCIRP-GUIDELINES, „Health Physics” 2003, nr 84 (3).
6. Lista Prezesa UTK w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei, Warszawa 2013.
7. Matusiewicz O., Syczenko W., Białoń A., *Continuous improvement of technical servicing and repair system of railway substation on the basis of FMEA methodology*, „Technika Transportu Szynowego” 2016, nr 1–2.
8. PN-EN 50500:2008 + A1:2015 – *Procedury pomiaru poziomów pól magnetycznych generowanych przez urządzenia elektroniczne i elektryczne w środowisku kolejowym w odniesieniu do narażenia ludzi*.
9. PN-EN 62311:2010 – *Ocena urządzeń elektronicznych i elektrycznych w odniesieniu do ograniczeń ekspozycji ludności w polach elektromagnetycznych (0 Hz–300 GHz)*.
10. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 13 maja 2014 r. w sprawie dopuszczania do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych: Dz. Urz. z 2014, poz. 720.
11. Ustawa o transporcie kolejowym z dnia 28 marca 2003 r.: Dz. Urz. z 2015, poz. 1297.
12. Zalecenie Rady 1999/519/WE z dnia 12 lipca 1999 r. dotyczące ograniczenia ekspozycji ludności na pole elektromagnetyczne (0 Hz do 300 GHz): Dz. Urz. WE L 199 z 30 lipca 1999 r.

Autorzy:

dr inż. **Andrzej Białoń** – Instytut Kolejnictwa
mgr inż. **Łukasz John** – Instytut Kolejnictwa

Measurement of the rolling stock magnetic fields in view of railways standard

The paper presents measurements of the magnetic fields of AC and DC generated by electrical and electronic equipment installed on rolling stock. Discusses the methodology for measuring magnetic fields with regard to the current requirements and laws in the railway environment with acceptable levels. Also presents measuring equipment used for testing, selection of measurement points inside and outside of the rolling stock. The article illustrates an example of the results of measurements on the example of railway vehicles diesel locomotive. Criteria are showing acceptable levels of magnetic fields generated by electrical and electronic equipment installed on rolling stock.