

Pomiary pól magnetycznych generowanych przez urządzenia elektroniczne instalowane w taborze kolejowym

Łukasz JOHN¹, Artur DŁUŻNIEWSKI²

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów pól magnetycznych AC i DC, generowanych przez urządzenia elektroniczne, instalowane w taborze kolejowym. Opisano metody pomiarów pól magnetycznych według normy EN 50500. Zaprezentowano stosowane w badaniach wyposażenie pomiarowe Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji Instytutu Kolejnictwa oraz sposób wyboru punktów pomiarowych wewnątrz i na zewnątrz taboru kolejowego. Na przykładach taboru spalinowego i elektrycznego zilustrowano wyniki pomiarów pojazdów kolejowych.

Słowa kluczowe: tabor kolejowy, indukcja magnetyczna, metodyka pomiarów, wyposażenie pomiarowe

1. Wstęp

Eksploatacja wielu urządzeń elektrycznych i elektronicznych, zainstalowanych w miejscu pracy oraz instalacje stanowiące 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. tzw. bramki detekcyjne, systemy bezprzewodowego przesyłania informacji, a także urządzenia przemysłowe i medyczne. Zatem konieczne jest rozpoznanie źródeł pól elektromagnetycznych i przeanalizowanie zgodności ich poziomów z aktualnie obowiązującymi przepisami prawnymi.

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

2. Przepisy prawne obowiązujące w środowisku kolejowym

Zgodnie z obecnie obowiązującym na kolei rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju [5], w sprawie dopuszczenia do eksploatacji określonych

rodzajów budowli, urządzeń oraz pojazdów kolejowych, dla których są wymagane 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 jest wymagane przeprowadzenie badań oddziaływania pól magnetycznych występujących wewnątrz i na zewnątrz pojazdu. Załącznikiem do rozporządzenia [5], jest „Lista Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego” [4] w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwi spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei. Na podstawie artykułu 25d ust.1 ustawy o transporcie kolejowym [6], takie 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.

3. Pomiary pól magnetycznych AC i DC taboru kolejowego

Według wymienionych uprzednio i obecnie obowiązujących dokumentów prawnych, pomiary pól magne-

¹ Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji; e-mail: ljohn@ikolej.pl

² Mgr inż.; Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, Laboratorium Badań Kompatybilności Elektromagnetycznej i Pomiarów Pól Elektromagnetycznych; e-mail: dluzniewskia@witu.mil.pl

tycznych AC i DC generowanych w środowisku kolejowym przez urządzenia elektroniczne instalowane w taborze kolejowym, przeprowadza się zgodnie z normą EN 50500 [2]. W normie tej są zawarte procedury pomiarowe dotyczące poziomów pól elektrycznych i magnetycznych, generowanych przez urządzenia elektryczne i elektroniczne, systemy i instalacje znajdujące się w środowisku kolejowym. Ponadto, są określone zasady i kryteria zgodności z dopuszczalnymi poziomami, opisany jest zakres wykonywania pomiarów, stosowane wyposażenie pomiarowe oraz metody oceny wyników pomiarów.

Obecnie, podczas przeprowadzania pomiarów, należy wziąć pod uwagę zapisy dokumentu [1] i normę [3] dotyczącą przykładowych metod pomiarów, symulacji oraz oceny wykonywanych badań. W środowisku kolejowym występują trzy zasadnicze źródła pól elektromagnetycznych, które mogą mieć wpływ na ludzi: tabor, zasilanie trakcyjne oraz wyposażenie sygnalizacyjne.

4. Metodyka pomiarów według normy EN 50500

Zgodnie z normą [2], pomiary poziomów pól magnetycznych AC i DC dla taboru kolejowego 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 są wykonane dla trzech osi składowych natężenia pola magnetycznego przy założeniu, że jedna oś jest równoległa do szyny. Pomiary poziomów pól magnetycznych wykonuje się w dwóch trybach pracy pojazdu szynowego, a mianowicie:

- Tryb statyczny – pojazd jest na postoju i jest podłączony do trakcji z załączonymi wszystkimi pokładowymi urządzeniami takimi, jak np.: 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 np: silniki trakcyjne, przetwornice, falowniki i przekształtniki.
- Tryb dynamiczny – pojazd zaczyna się poruszać i 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 podczas badań nie można rozpędzić pojazdu do mak-

symalnej prędkości eksploatacyjnej lub system zasilania uniemożliwia 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 takich metod są szczegółowo opisane w normach [2, 3].

5. Metoda pomiarów badanego taboru kolejowego

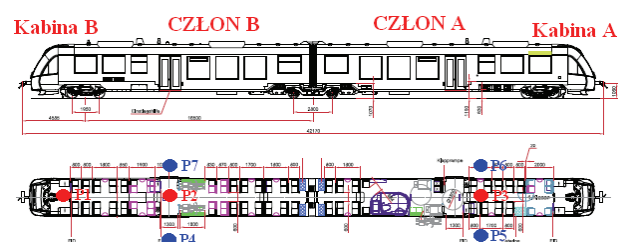
Pomiary pól magnetycznych powinno przeprowadzać się w miejscach i punktach przestrzennych wewnątrz i na zewnątrz taboru, które określono szczegółowo w tablicy 1. Przykładowe rozmieszczenie punktów pomiarowych w dwuczłonowym, spalinowym zespole trakcyjnym pokazano na rysunku 1, na którym punkty wewnętrzne kabiny maszynisty i przedziałów pasażerskich oznaczono kolorem czerwonym, a punkty na zewnątrz pojazdu – kolorem niebieskim. Na rysunku 2 w ten sam sposób oznaczono punkty pomiarowe w elektrycznym zespole trakcyjnym.

Tablica 1

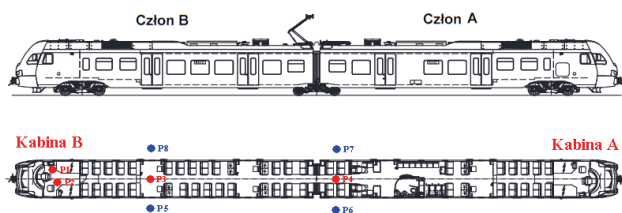
Lokalizacja punktów przestrzennych wykonywanych pomiarów

Miejsce / / Odległość	Odległość pionowa od podłogi [m]	Odległość pozioma od ścian [m]	Uwagi
Dostępne tylko dla pracowników	0,9 1,5	$\geq 0,3$	Pomiar blisko źródła emisji urządzeń, gdzie przebywają pracownicy podczas wykonywania normalnych prac
Ogólnodostępne	0,3 0,9 1,5	$\geq 0,3$	Pomiar w najbliższym możliwym położeniu od źródła emisji, gdzie mogą przebywać pasażerowie
Dostępne dla personelu i ogólnodostępne	0,3 1,5 2,5	0,3	Pomiar na zewnątrz w pobliżu, np. przetwornicy

[Opracowanie własne]



Rys. 1. Przykładowa lokalizacja punktów pomiarowych wewnątrz i na zewnątrz spalinowego zespołu trakcyjnego [rysunek własny]



Rys. 2. Przykładowa lokalizacja punktów pomiarowych wewnątrz i na zewnątrz elektrycznego zespołu trakcyjnego [rysunek własny]

W skład wyposażenia, służącego do pomiarów pól magnetycznych, wchodzi aparatura pomiarowa, która powinna spełniać wymagania normy [2]:

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

6. Wyniki pomiarów pól magnetycznych badanego taboru kolejowego

Do oszacowania poziomów indukcji magnetycznej wewnątrz i na zewnątrz pojazdu kolejowego, jako kryterium oceny przyjmuje się wymagania zapisane w normie [2] oraz w dokumencie [1]. W celu porównania, w tablicy 2 przedstawiono wyniki pomiarów pól magnetycznych DC w wybranych punktach pomiarowych w kabinie maszynisty i w przedziale pasażerskim obu wspomnianych pojazdów.

Na rysunkach 3–14 zamieszczono przykładowe charakterystyki poziomów indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości, otrzymane z pomiarów pól magnetycznych AC w kabinie maszynisty w obu pojazdach kolejowych, po dokonanej przez oprogramowanie analizie widma w trybie FFT, za pomocą szybkiej transformacji Fouriera.

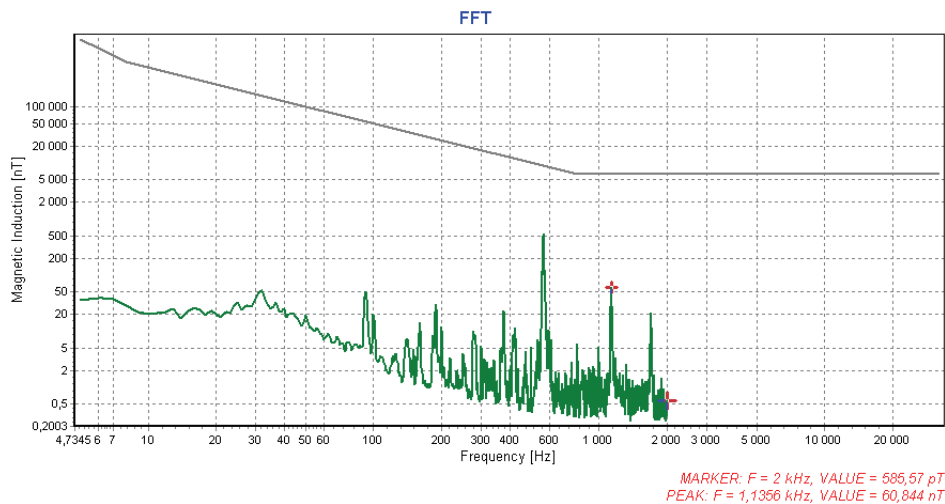
Z przedstawionych wyników pomiarów poziomów emisji pól magnetycznych AC wewnątrz i na zewnątrz pojazdu, generowanych przez urządzenia elektroniczne i elektroniczne wynika, że spełnione są wymagania w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa, dotyczące narażenia pracowników na zagrożenia spowo-

Tablica 2

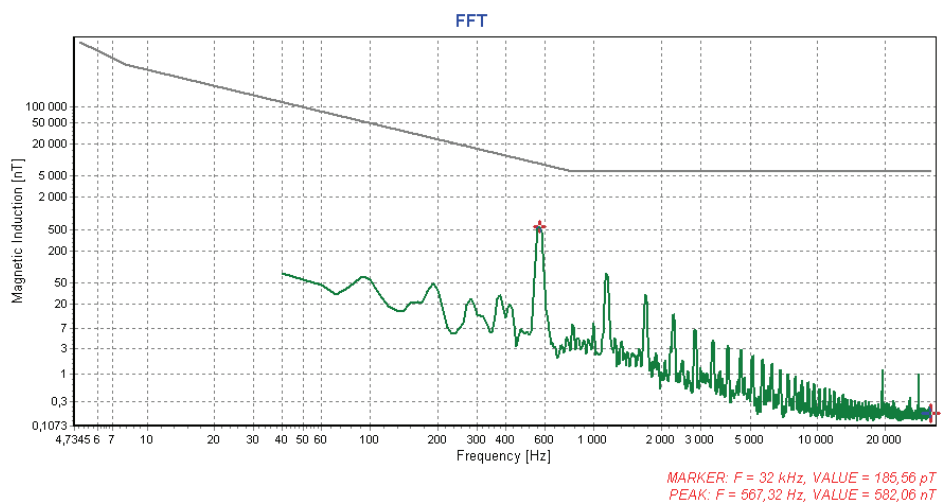
Wyniki pomiarów pola DC dla pojazdów

Rodzaj pojazdu	Punkt pomiarowy	Tryb pracy	Wysokość pomiarowa [m]	Odległość pomiarowa [m]	Wynik pomiaru B_{max} [μ T]
Spalinowy zespół trakcyjny	P1 kabina maszynisty	Postój	0,9	0,3	221,7
		Postój	1,5	0,3	196,6
		Jazda	0,9	0,3	234,5
		Jazda	1,5	0,3	236,5
Elektryczny zespół trakcyjny	P1 kabina maszynisty	Postój	0,9	0,3	220,1
		Postój	1,5	0,3	180,9
		Jazda	0,9	0,3	237,4
		Jazda	1,5	0,3	245,2
Spalinowy zespół trakcyjny	P2 przedział pasażerski człon B	Postój	0,3	1,1	235,7
		Postój	0,9	1,1	210,2
		Postój	1,5	1,1	218,7
		Jazda	0,3	1,1	267,5
		Jazda	0,9	1,1	294,4
		Jazda	1,5	1,1	272,6
Elektryczny zespół trakcyjny	P3 przedział pasażerski człon B	Postój	0,3	1,1	238,5
		Postój	0,9	1,1	266,6
		Postój	1,5	1,1	256,2
		Jazda	0,3	1,1	239,9
		Jazda	0,9	1,1	280,1
		Jazda	1,5	1,1	276,6

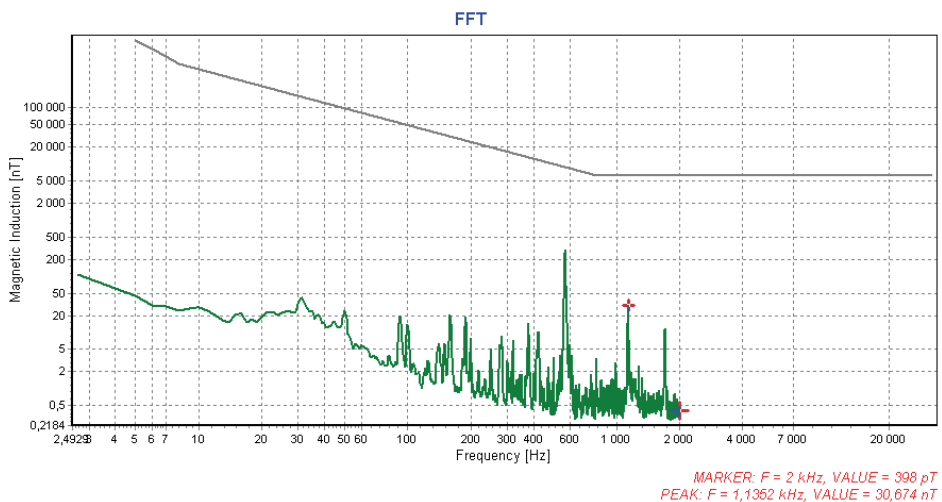
[Opracowanie własne].



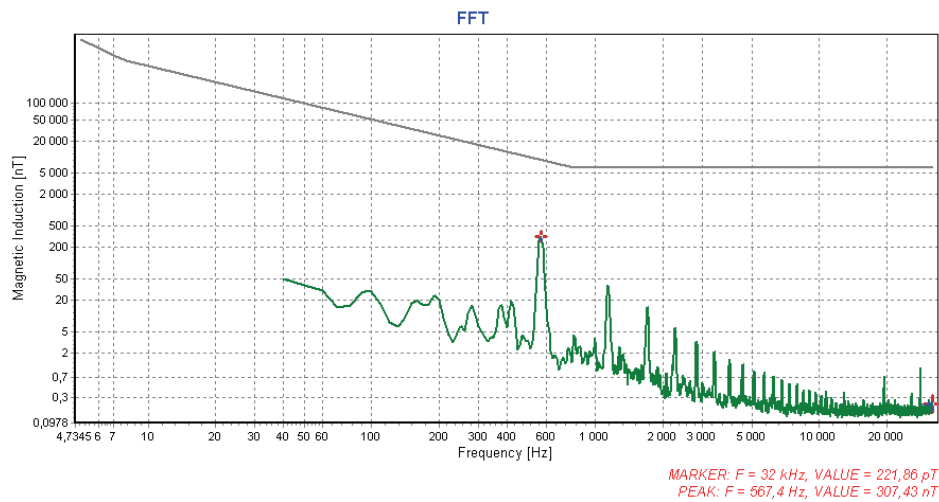
Rys. 3. Widok ekranu rejestracji poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 0,9 m, zakres pomiarowy 5 Hz–2 kHz [A. Dłużniewski]



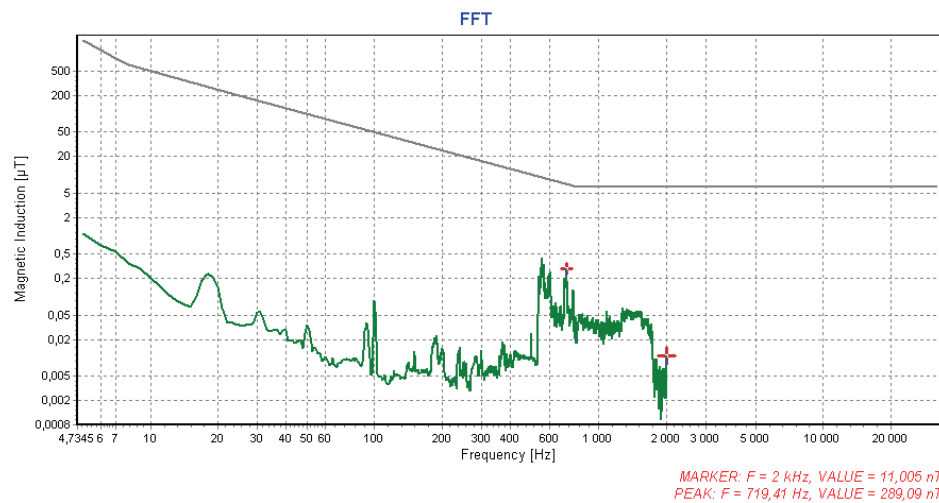
Rys. 4. Widok ekranu rejestracji poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 0,9 m, zakres pomiarowy 2 kHz–20 kHz [A. Dłużniewski]



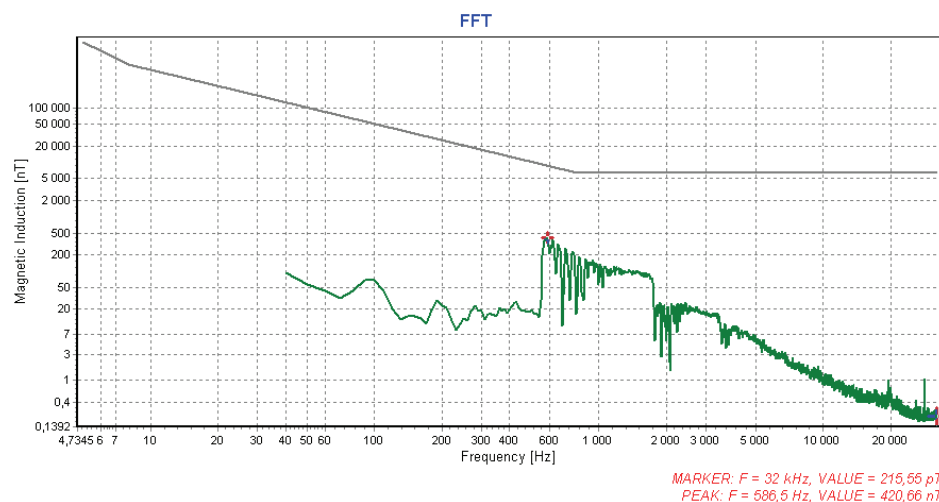
Rys. 5. Widok ekranu rejestracji przebiegu poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 1,5 m, zakres pomiarowy 5 Hz–2 kHz [A. Dłużniewski]



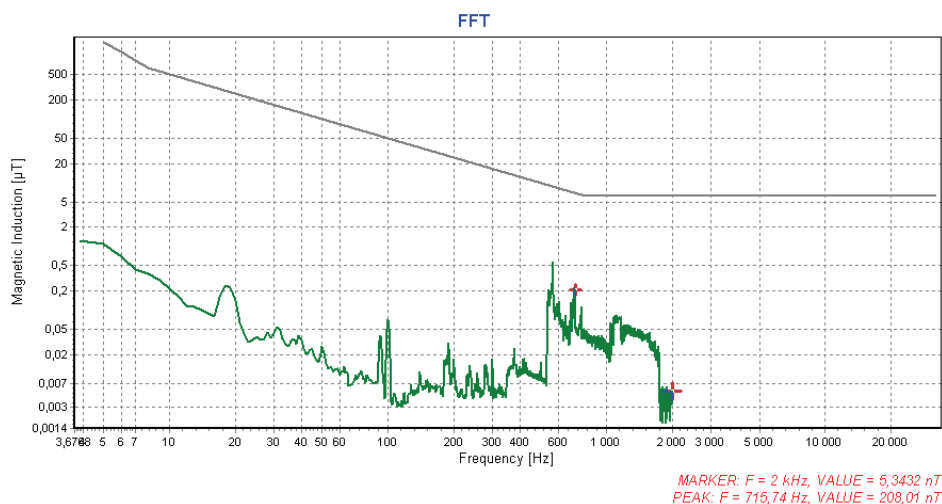
Rys. 6. Widok ekranu rejestracji poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 1,5 m, zakres pomiarowy 2 kHz–20 kHz [A. Dłużniewski]



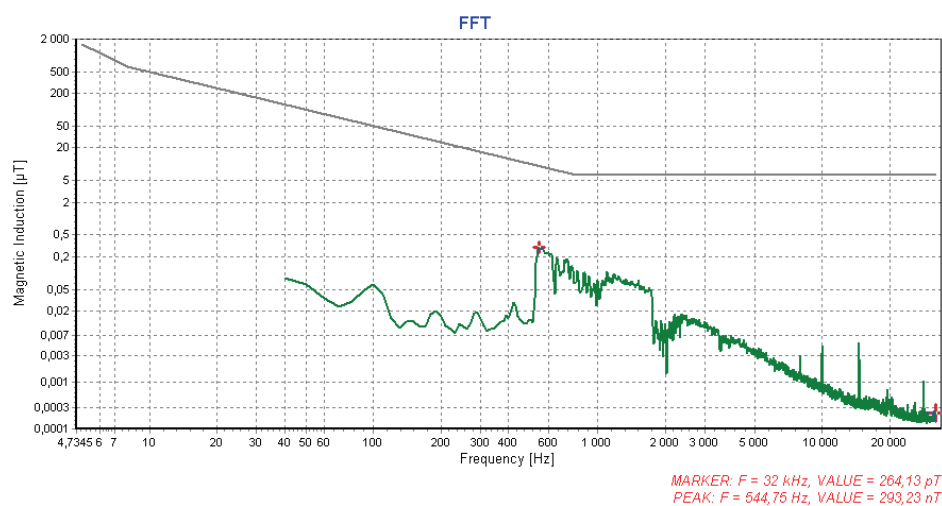
Rys. 7. Widok ekranu rejestracji przebiegu poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, jazda, wysokość 0,9 m, zakres pomiarowy 5 Hz–2 kHz [A. Dłużniewski]



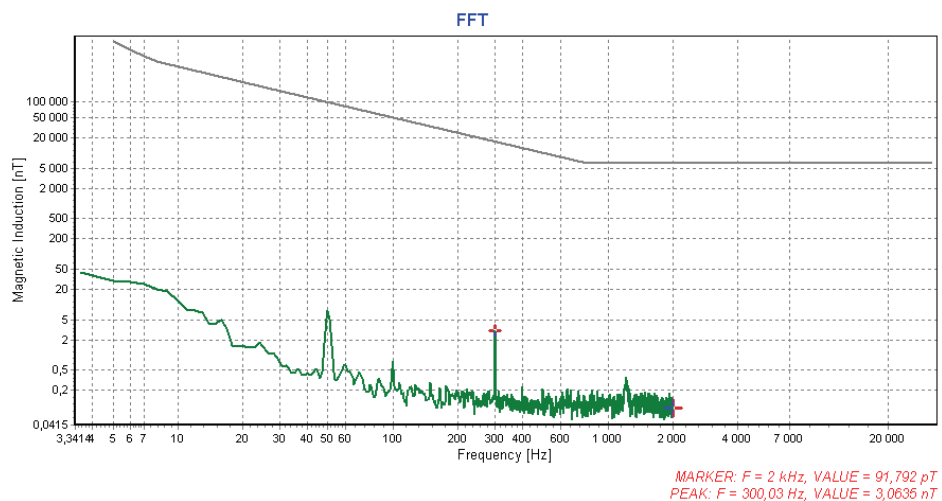
Rys. 8. Widok ekranu rejestracji przebiegu poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, jazda, wysokość 0,9 m, zakres pomiarowy 2 kHz–20 kHz [A. Dłużniewski]



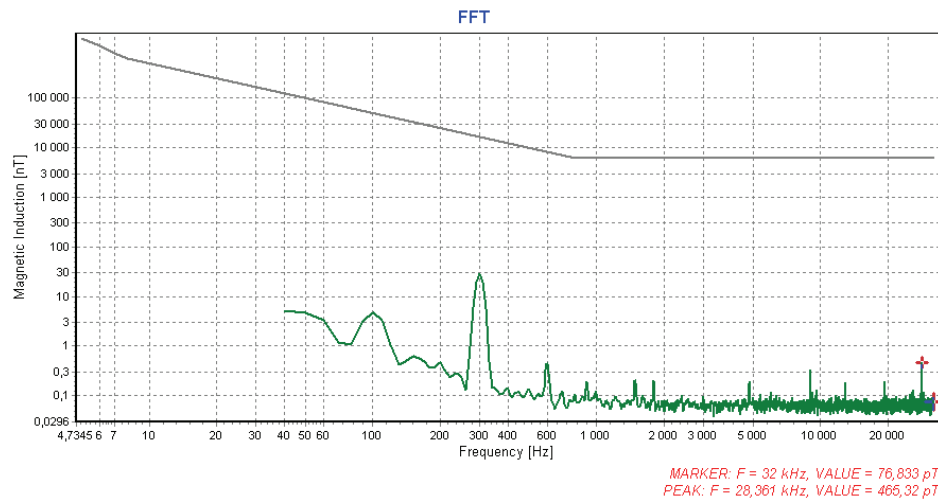
Rys. 9. Widok ekranu rejestracji przebiegu poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, jazda, wysokość 1,5 m, zakres pomiarowy 5 Hz–2 kHz [A. Dłużniewski]



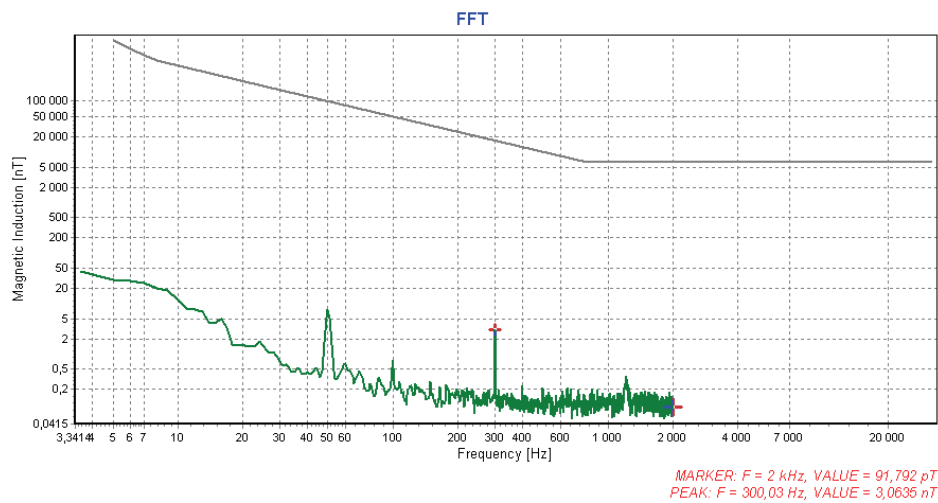
Rys. 10. Widok ekranu rejestracji przebiegu poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, jazda, wysokość 1,5 m, zakres pomiarowy 2 kHz–20 kHz [A. Dłużniewski]



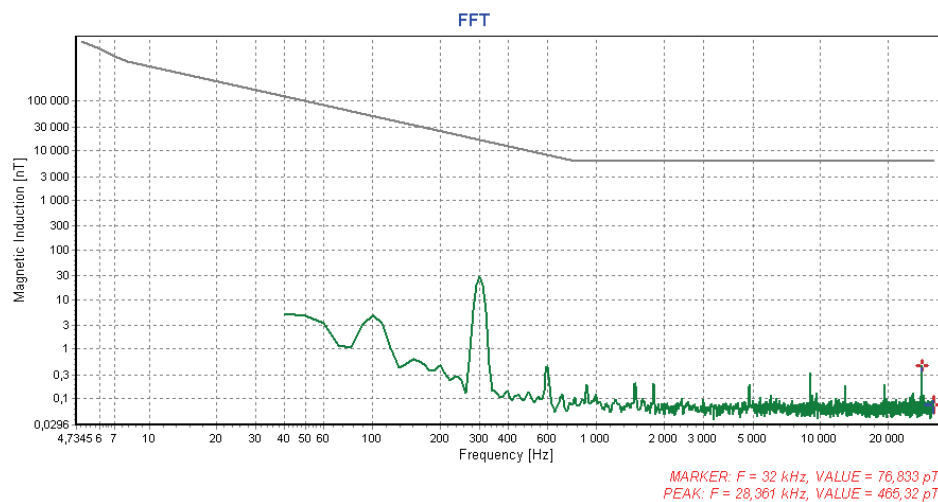
Rys. 11. Widok ekranu rejestracji przebiegu poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 0,9 m, zakres pomiarowy 5 Hz–2 kHz [A. Dłużniewski]



Rys. 12. Widok ekranu rejestracji przebiegu poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 0,9 m, zakres pomiarowy 2 kHz–20 kHz [A. Dłużniewski]



Rys. 13. Widok ekranu rejestracji przebiegu poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 1,5 m, zakres pomiarowy 5 Hz–2 kHz [A. Dłużniewski]



Rys. 14. Widok ekranu rejestracji przebiegu poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 1,5 m, zakres pomiarowy 2 kHz–20 kHz [A. Dłużniewski]

dowane czynnikami fizycznymi, w tym polami elektromagnetycznymi. Urządzenia zamontowane w badanym pojeździe nie przekraczają dopuszczalnego poziomu emisji pola magnetycznego AC, oznaczonego na rysunkach 3–14 linią koloru szarego.

7. Podsumowanie

W toku pomiarów indukcji pola magnetycznego DC, wynik pomiaru przeważnie otrzymuje się z odczytu bezpośredniego z przyrządu pomiarowego w formie numerycznej lub graficznej, w zależności od badanego trybu pracy pojazdu i zastosowanego detektora w mierniku. W trakcie pomiarów indukcji pola magnetycznego AC, jako wynik pomiaru otrzymuje się rezultaty z wcześniejszego sumowania trzech składowych w przedziale czasu, po filtrowaniu zarejestrowanych próbek. W tym celu stosuje się miernik natężenia pola o odpowiednich parametrach lub analizę widmową FFT mierzonych składników natężenia pola, które otrzymano w wyniku zastosowanego odpowiedniego oprogramowania służącego do tych celów. Wyniki pomiarów indukcji pola magnetycznego AC i DC są następnie porównywane z dopuszczalnymi poziomami w celu stwierdzenia, czy dany pojazd spełnia wymagania zawarte w odpowiednich normach i przepisach krajowych i czy może zostać wprowadzony do ruchu kolejowego.

Literatura

1. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/UE z dnia 26 czerwca 2013 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia spowodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi) (dwudziesta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG) i uchylająca dyrektywę 2004/40/WE z dnia 29.06.2013 r.
2. EN 50500:2008/A1:2015: Procedury pomiaru poziomów pól magnetycznych generowanych przez urządzenia elektroniczne i elektryczne w środowisku kolejowym w odniesieniu do narażenia ludzi, PKN Warszawa.
3. EN 62311:2008: Ocena urządzeń elektronicznych i elektrycznych w odniesieniu do ograniczeń ekspozycji ludności w polach elektromagnetycznych (0 Hz–300 GHz), PKN Warszawa.
4. Lista Prezesa UTK w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei, Warszawa dnia 19 stycznia 2017 r.
5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 13 maja 2014 r. w sprawie dopuszczania do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych (Dz.U. 2014 poz. 720).
6. Ustawa z dnia 15 stycznia 2015 r. o zmianie ustawy o transporcie kolejowym oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2015 r., poz. 200).