

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

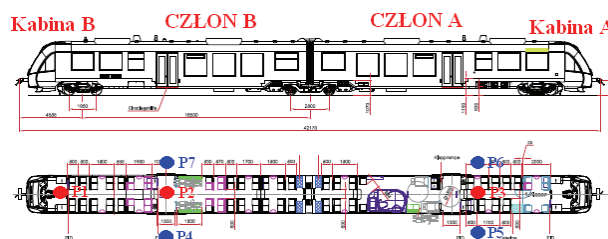
Pomiary pól magnetycznych powinno przeprowadzać się w miejscach i punktach przestrzennych wewnątrz i na zewnątrz taboru, które określono szczegółowo w tablicy 1. Przykładowe rozmieszczenie punktów pomiarowych w dwuczłonowym, spalinowym zespole trakcyjnym pokazano na rysunku 1, na którym punkty wewnętrzne 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

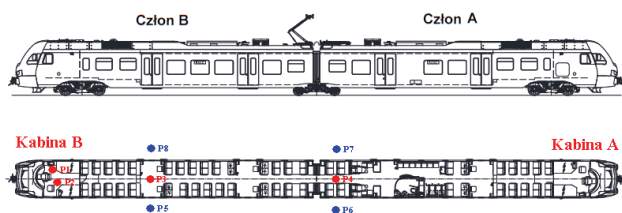
Lokalizacja punktów przestrzennych wykonywanych pomiarów

| 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 tabelicy 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.

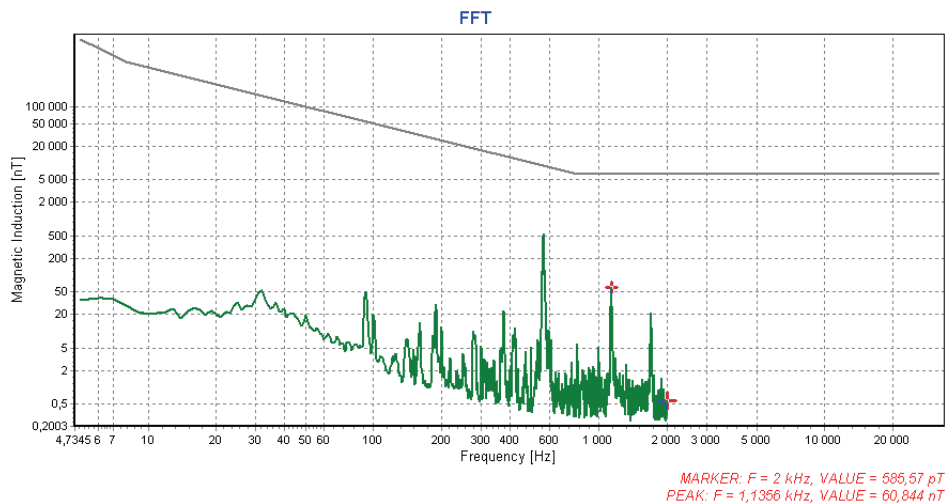
Z przedstawionych wyników pomiarów poziomów emisji pól magnetycznych AC wewnątrz i na zewnątrz pojazdu, generowanych przez urządzenia elektroniczne i elektroniczne wynika, że spełnione są wymagania w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa, dotyczące narażenia pracowników na zagrożenia spowo-

Tabela 2

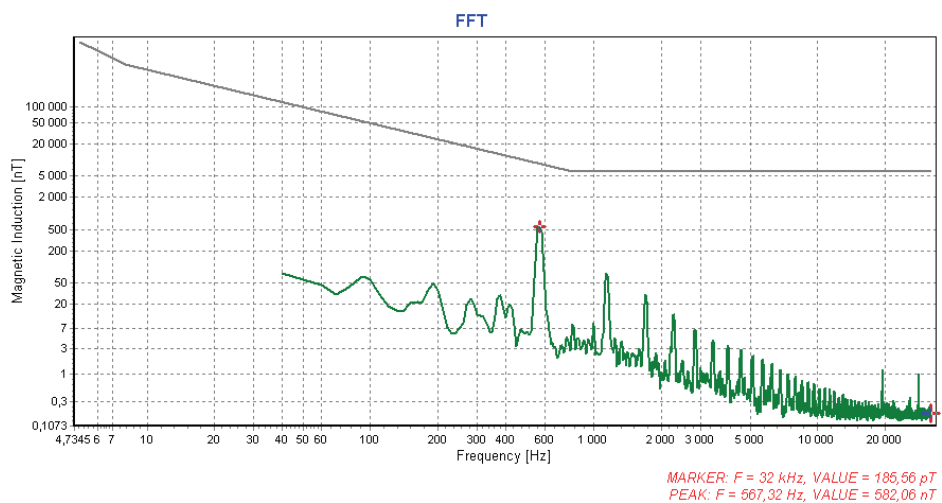
Wyniki pomiarów pola DC dla pojazdów

| Rodzaj pojazdu | Punkt pomiarowy | Tryb pracy | Wysokość pomiarowa [m] | Odległość pomiarowa [m] | Wynik pomiaru B_{max} [μT] |
|------------------------------|---------------------------------|------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 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 |

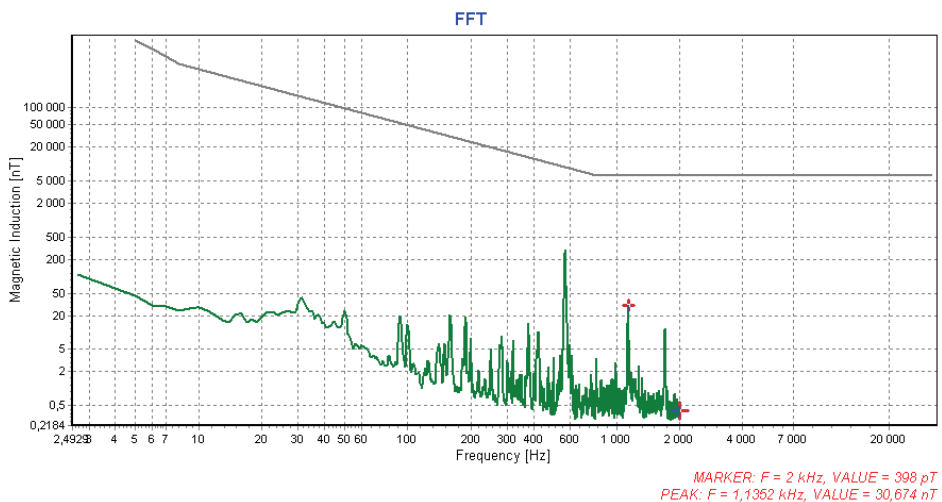
[Opracowanie własne].



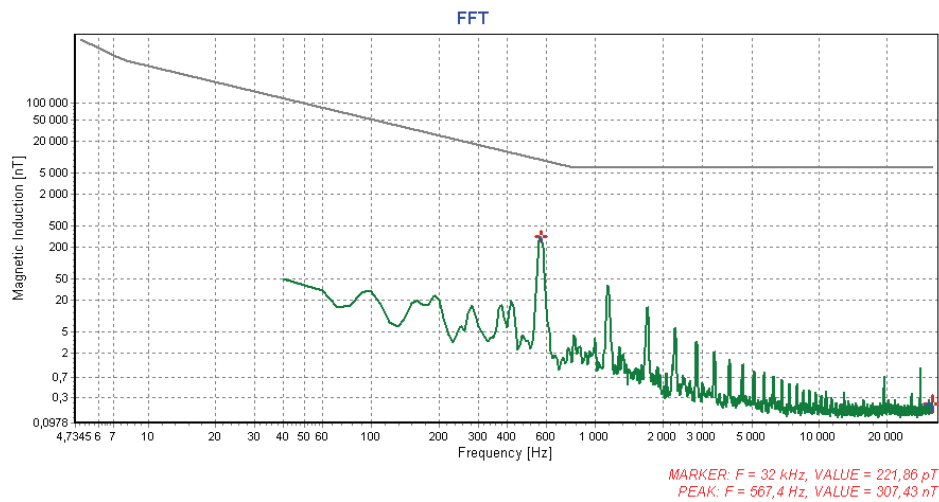
Rys. 3. Widok ekranu rejestracji poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 0,9 m, zakres pomiarowy 5 Hz–2 kHz [A. Dłużniewski]



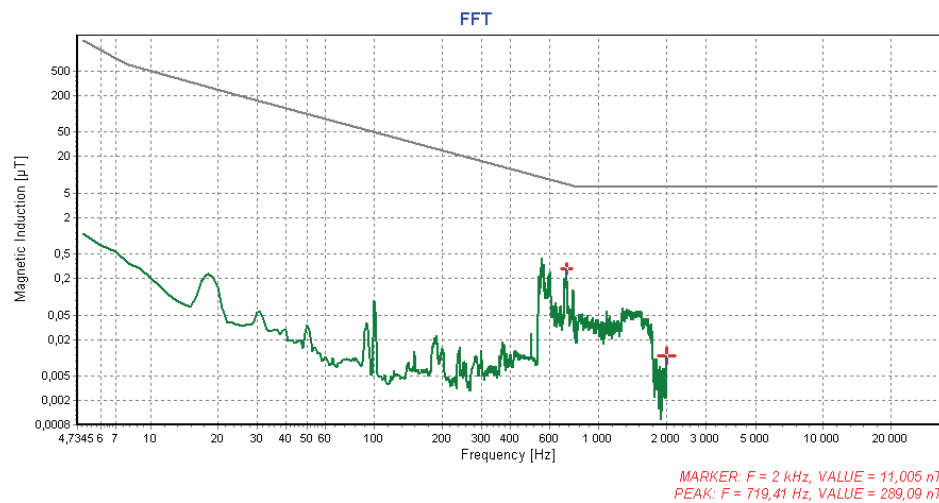
Rys. 4. Widok ekranu rejestracji poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 0,9 m, zakres pomiarowy 2 kHz–20 kHz [A. Dłużniewski]



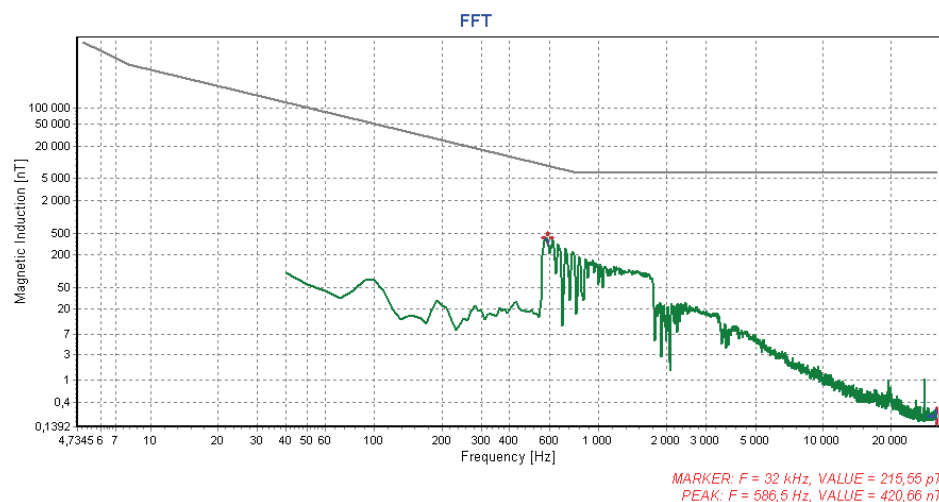
Rys. 5. Widok ekranu rejestracji przebiegu poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 1,5 m, zakres pomiarowy 5 Hz–2 kHz [A. Dłużniewski]



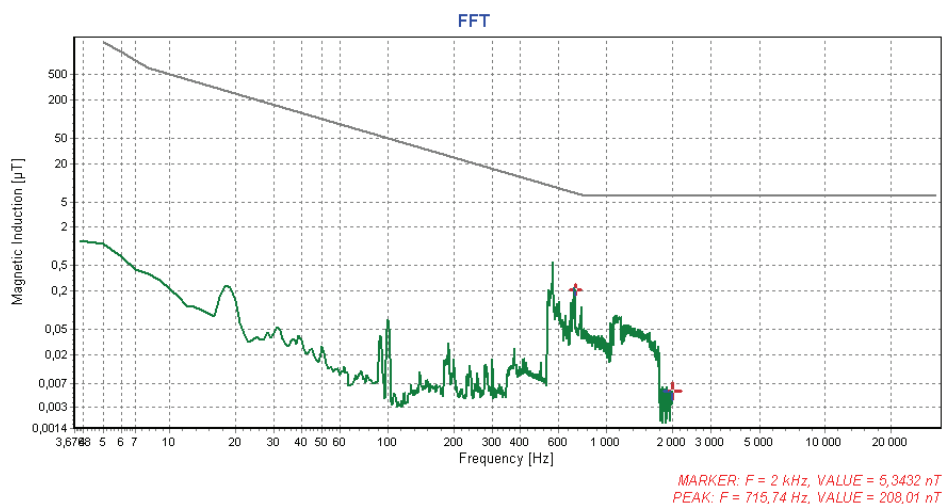
Rys. 6. Widok ekranu rejestracji poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 1,5 m, zakres pomiarowy 2 kHz–20 kHz [A. Dłużniewski]



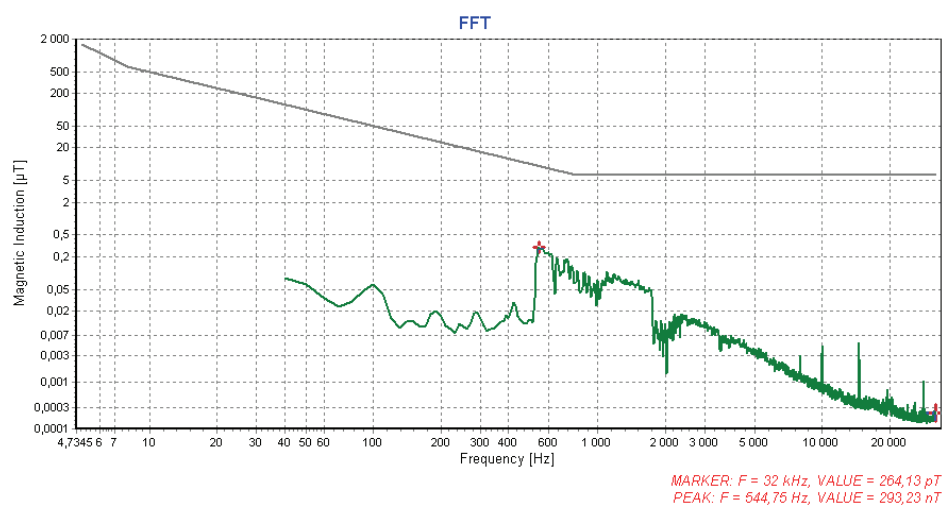
Rys. 7. Widok ekranu rejestracji przebiegu poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, jazda, wysokość 0,9 m, zakres pomiarowy 5 Hz–2 kHz [A. Dłużniewski]



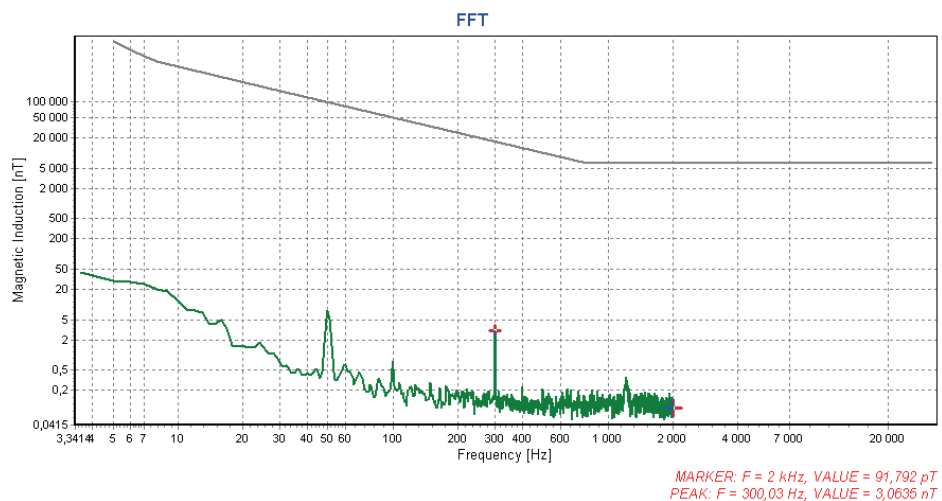
Rys. 8. Widok ekranu rejestracji przebiegu poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, jazda, wysokość 0,9 m, zakres pomiarowy 2 kHz–20 kHz [A. Dłużniewski]



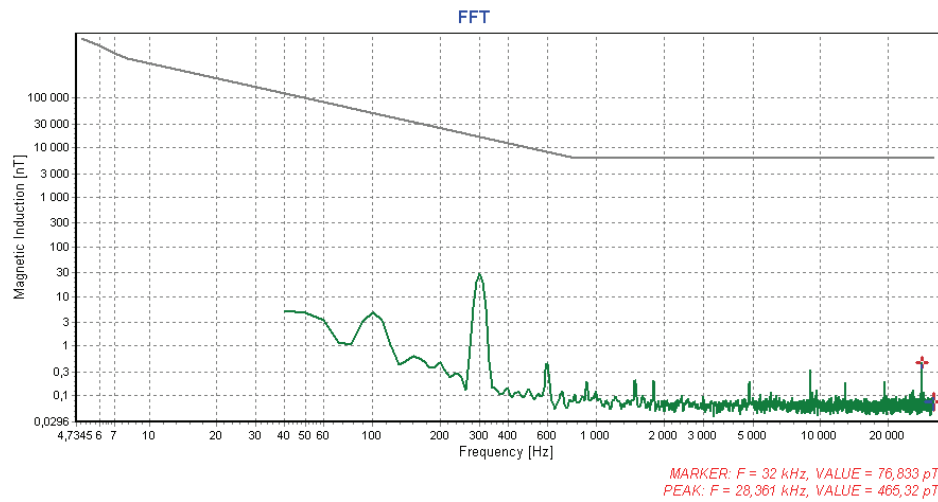
Rys. 9. Widok ekranu rejestracji przebiegu poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, jazda, wysokość 1,5 m, zakres pomiarowy 5 Hz–2 kHz [A. Dłużniewski]



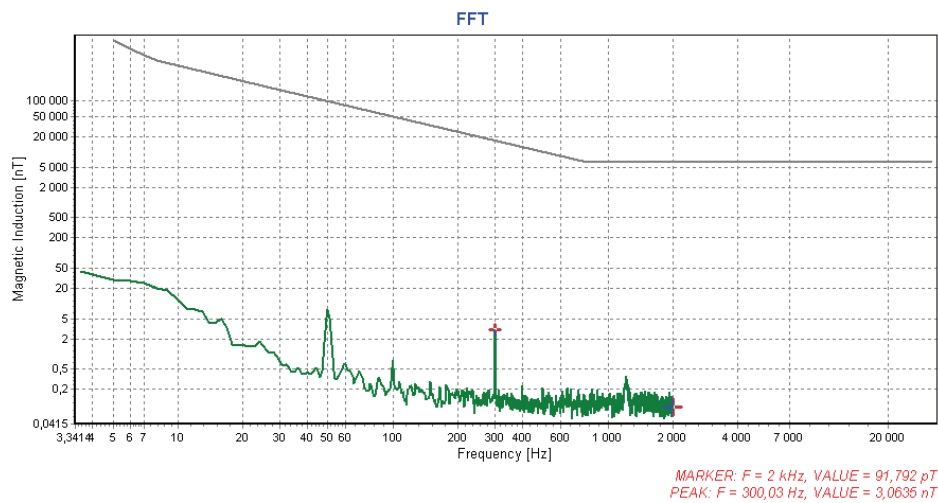
Rys. 10. Widok ekranu rejestracji przebiegu poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, jazda, wysokość 1,5 m, zakres pomiarowy 2 kHz–20 kHz [A. Dłużniewski]



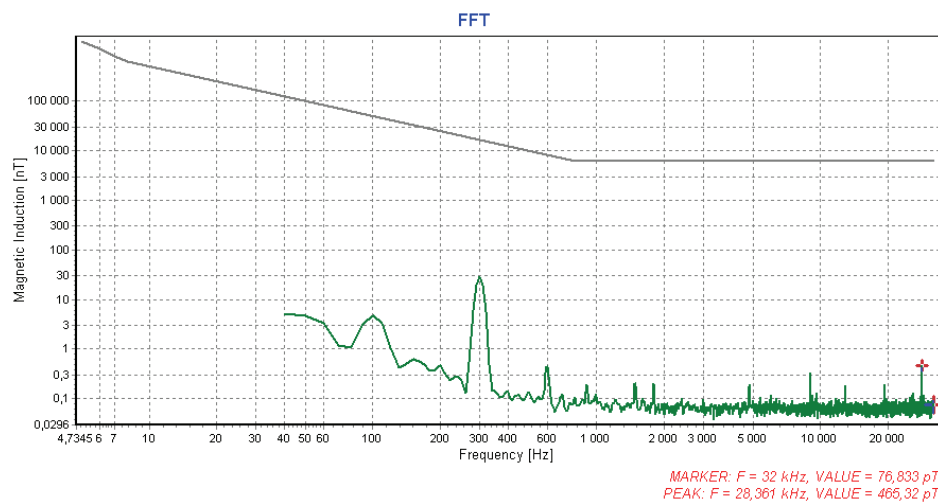
Rys. 11. Widok ekranu rejestracji przebiegu poziomu indukcji pola magnetycznego w funkcji częstotliwości spalinowego zespołu trakcyjnego: punkt pomiarowy P1, postój, wysokość 0,9 m, zakres pomiarowy 5 Hz–2 kHz [A. Dłużniewski]



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).