

Andrzej BIAŁOŃ¹
Artur DŁUŻNIEWSKI²
Łukasz JOHN³

BADANIA CERTYFIKACYJNE TABORU KOLEJOWEGO Z ZAKRESU EMC – METODYKA, PROBLEMY

W referacie przedstawiono problematykę oceny kompatybilności elektromagnetycznej taboru kolejowego, poziomy emisji zaburzeń generowanych przez tabor w odniesieniu do poziomów dopuszczalnych zapisanych w dedykowanych normach. Ocena generowanego poziomu zaburzeń radioelektrycznych polega na pomiarze wartości natężenia pola w odległości 10 m od osi toru, na którym porusza się badana lokomotywa. W referacie przedstawiono wynik pomiarów emisji promieniowanej przez EZT typu 22WE o mocy 4 x 500 kW. Przedstawiono wyniki pomiarów emisji przewodzonej w pokładowej sieci niskiego napięcia. W referacie opisano również metodę szacowania niepewności pomiarów w badaniach emisji zaburzeń od taboru kolejowego.

CERTIFICATION TESTING THE SCOPE OF ROLLING STOCK EMC - METHODS, PROBLEMS

The paper studies the evaluation of electromagnetic compatibility of railway rolling stock, the emissions generated by rolling disorders in relation to acceptable levels recorded in the dedicated standards. Staff generated the level of disturbance is based on measuring the value of field strength at a distance of 10 m from centre of the track, which moves the test locomotive. The paper presents results of measurements of emissions radiated by an EZT type 22WE 4 x 500 kW. Presented results of measurements conducted emission in the on-board low voltage network. The paper also describes a method for estimating the uncertainty in the emissions testing problems of rolling stock.

¹ Politechnika Śląska, Zespół Automatyki w Transporcie, 40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8, tel. +48 32 60-34-136, fax +48 32 60-34-365 e-mail: andrzej.bialon@polsl.pl
Instytut Kolejnictwa, Zakład Sterowania Ruchem Kolejowym i Teleinformatyki, 04-275 Warszawa;
ul J. Chłopickiego 50, Tel. +48224731453, Fax. +48224731036, e-mail: abialon@ikolej.pl

² Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji; 04-275 Warszawa ; ul. J. Chłopickiego. tel. +48 22 47 31 399, Fax +48 22 47 31 036, e-mail: adluzniewski@ikolej.pl

³ Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji; 04-275 Warszawa ; ul. J. Chłopickiego. tel. +48 22 47 31 421, Fax +48 22 47 31 036, e-mail: ljohn@ikolej.pl

1. UWARUNKOWANIA PRAWNE BADAŃ TABORU KOLEJOWEGO

W zakres certyfikacji kolejowego taboru szynowego wchodzi między innymi badania kompatybilności elektromagnetycznej. Wynikają one z zapisów zawartych w dyrektywie EMC Rady Europy 2004/108/WE. Powyższa dyrektywa zastępując dyrektywę 89/336/EEC miała za zadanie ujednoczenie przepisów państw członkowskich UE w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej. Nowa dyrektywa została opublikowana 31.01.2004 r. jednakże zaczęła obowiązywać dopiero od 20.07.2007 r. Obejmuje swym zakresem urządzenia, systemy instalacji stacjonarnych i ruchomych, urządzenia końcowe, które mogą być źródłem zaburzeń elektromagnetycznych jeżeli ich działanie może mieć wpływ na generowane zaburzenia elektromagnetyczne. Zapisy w niej zawarte określają zasady wprowadzenia na rynek lub do użytkowania nowych urządzeń, zasadnicze procedury kontroli zgodności oraz oznakowanie zgodności na znak CE.

Badania kompatybilności elektromagnetycznej kolejowego taboru szynowego muszą być wykonywane również według obowiązujących dokumentów normatywnych, które są zharmonizowane z dyrektywą 2004/108/WE. Normy zharmonizowane podają wymagania w zakresie odporności oraz emisji.

W przypadku emisji zaburzeń normy zharmonizowane podają wymagania dotyczące zakresu częstotliwości, w którym należy wykonać badania, dopuszczalne poziomy emisji oraz precyzują metodykę wykonywania badań.

Normy zharmonizowane z dyrektywą 2004/108/WE w zakresie odporności podają rodzaje zaburzeń środowiskowych, jakim powinien być poddany tabor kolejowy, ostrość prób narażeń oraz metodę ich symulacji.

Dla obu przypadków zdefiniowane są tryby pracy obiektu w czasie przeprowadzania badań certyfikacyjnych oraz kryteria oceny zgodności, na podstawie których dokonuje się oceny wyników badań.

Przeprowadzanie badań taboru kolejowego pod kątem kompatybilności elektromagnetycznej jest istotne nie tylko dlatego, że może nastąpić negatywne oddziaływanie na urządzenia srk, co może mieć wpływ na bezpieczeństwo ale również na urządzenia i systemy użytku publicznego. Jest to związane z tym, że w strefie oddziaływania taboru kolejowego coraz częściej znajdują się obiekty publiczne począwszy od domów jednorodzinnych a kończąc na ogromnych domach handlowych wypełnionych systemami i urządzeniami elektronicznymi. Przykładem tu może być np. dworzec Berlin Hauptbahnhof lub Dworzec Wileński w Warszawie.

2. METODYKA POMIARÓW

Badania kompatybilności elektromagnetycznej kolejowego taboru szynowego przeprowadzane są na podstawie podanej metodyki oraz obowiązujących wymagań normatywnych zawartych w poniższych normach:

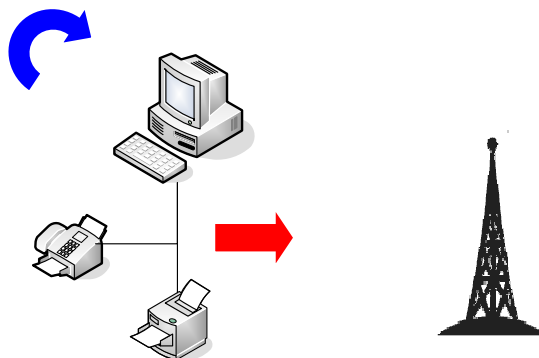
- **PN-EN 55011** Przemysłowe, naukowe i medyczne urządzenia o częstotliwości radiowej – Charakterystyki zaburzeń elektromagnetycznych – Dopuszczalne poziomy i metody pomiarów
- **PN-EN 50121-1** Zastawania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 1: Postanowienia ogólne

- **PN-EN 50121-2** Zastawania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna - Część 2: Oddziaływanie systemu kolejowego na otoczenie
- **PN-EN 50121-3-1** Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 3- 1: Tabor – Pociąg i komplety pojazd
- **PN-EN 50121-3-2** Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 3-2: Tabor – Aparatura

Powyższe normy definiują kompatybilność elektromagnetyczną jako zdolność danego urządzenia elektrycznego lub elektronicznego do poprawnej pracy w określonym środowisku elektromagnetycznym i nie emitowanie pola elektromagnetycznego zakłócającego poprawną pracę innych urządzeń pracujących w tym środowisku.

Badania kompatybilności elektromagnetycznej możemy rozważać w dwóch aspektach:

- emisji definiowanej jako oddziaływanie systemu lub urządzenia poprzez emisję fal elektromagnetycznych na inne systemy lub urządzenia znajdujące się w pobliskim środowisku elektromagnetycznym,
- odporności definiowanej jako zdolność pracy systemu, urządzenia bez pogorszenia jakości działania w miejscu, gdzie występują zaburzenia elektromagnetyczne.



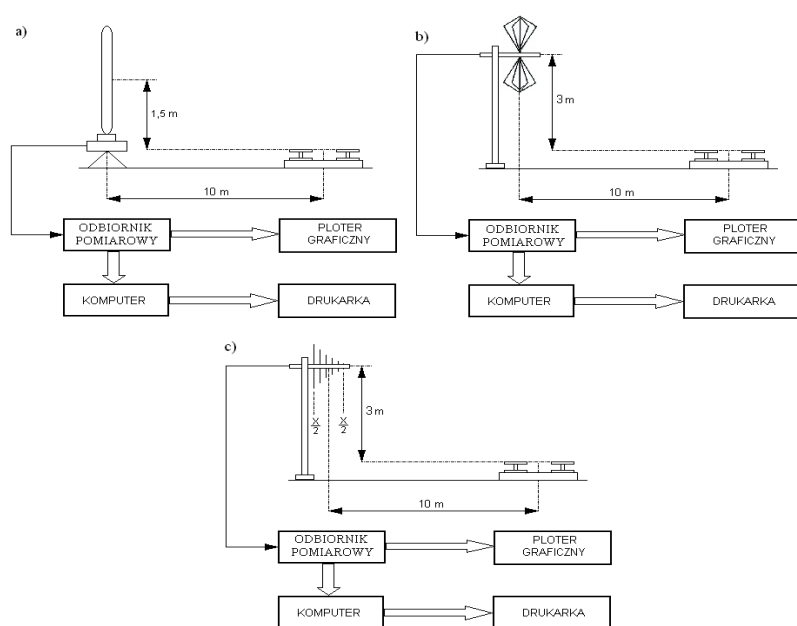
Rys.1. Emisja oraz odporność elektromagnetyczna urządzeń oraz systemów

W przypadku badań odporności taboru kolejowego na zaburzenia elektromagnetyczne zapisy normatywne wskazują na brak konieczności przeprowadzania tego typu badań. Jednocześnie zawarto w normie [5] wymagania odporności do poziomu 20V/m w zakresie częstotliwości od 0,15MHz do 2GHz. Założono również, że zainstalowane w kompletnym pojeździe urządzenia zapewniają jako całość wystarczającą odporność pod warunkiem, że został wdrożony i przygotowany plan EMC, uwzględniając wartości graniczne zawarte w powyższej normie.

Badania emisji zaburzeń elektromagnetycznych kolejowego taboru szynowego wykonywane są dla emisji zaburzeń promieniowanych i przewodzonych.

2.1. Pomiar emisji zaburzeń promieniowanych

Emisją w formie zaburzeń promieniowanych jest zaburzenie wysyłane w formie fal elektromagnetycznych. Ze względu na specyfikę urządzeń trakcji elektrycznej (wysokie napięcie i duże pobory prądu) pomiary poziomu emisji zaburzeń promieniowanych wykonuje się jako pomiary natężenia pola w odległości 10 m od osi toru. Ze względu na szeroki zakres częstotliwości pomiary zaburzeń promieniowanych przez tabor kolejowy należy wykonywać przy pomocy 3 typów anten, co ilustruje rysunek 2. Obecne zalecenia zawarte w normie [4] pozwalają na wykonywanie pomiarów przy użyciu 2 anten (ramowej i logarytmiczno-periodycznej).



Rys.2. Wymagane anteny do pomiaru zaburzeń emisji promieniowanej:

- antena ramowa,
- antena dwustożkowa,
- antena logarytmiczno- periodyczna.

Pomiary emisji zaburzeń promieniowanych wykonuje się w paśmie 9kHz ÷ 1GHz z podziałem na dziewięć podzakresów zgodnie z zapisami normy [4]:

- 9 kHz ÷ 59 kHz - pomiar składowej magnetycznej natężenia pola zaburzeń przy zastosowaniu anteny ramowej,
- 50 kHz ÷ 150 kHz - pomiar składowej magnetycznej natężenia pola zaburzeń przy zastosowaniu anteny ramowej,
- 150 kHz ÷ 1,15 MHz - pomiar składowej magnetycznej natężenia pola zaburzeń przy zastosowaniu anteny ramowej,

- 1 MHz ÷ 11 MHz - pomiar składowej magnetycznej natężenia pola zaburzeń przy zastosowaniu anteny ramowej,
- 10 MHz ÷ 20 MHz - pomiar składowej magnetycznej natężenia pola zaburzeń przy zastosowaniu anteny ramowej,
- 20 MHz ÷ 30 MHz - pomiar składowej magnetycznej natężenia pola zaburzeń przy zastosowaniu anteny ramowej,
- 30 MHz ÷ 230 MHz - pomiar pionowej składowej elektrycznej natężenia pola przy zastosowaniu anteny dwustożkowej,
- 200 MHz ÷ 500 MHz - pomiar pionowej składowej elektrycznej natężenia pola przy zastosowaniu anteny logarytmiczno-periodycznej,
- 500 MHz ÷ 1 GHz - pomiar pionowej składowej elektrycznej natężenia pola przy zastosowaniu anteny logarytmiczno-periodycznej.

Anteny należy umieszczać w odległości 10 m od osi toru. Podczas pomiarów składowej magnetycznej w paśmie 9 kHz ÷ 30 MHz antena powinna być umieszczona na wysokości od 1 do 2 m liczonej ponad poziom główki szyny, natomiast dla pasma 30 MHz ÷ 1 GHz antena powinna być umieszczona na wysokości 3 m.

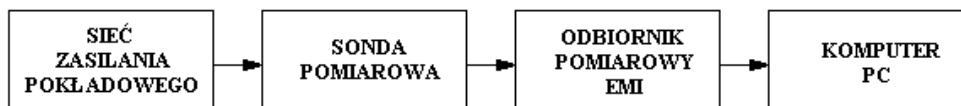
Przed przystąpieniem do pomiarów badanego obiektu należy sprawdzić czy na każdej wybranej częstotliwości pomiarowej zawartej w wymaganym paśmie częstotliwości nie występują nadmierne postronne zaburzenia radioelektryczne (tło). Poziom zaburzeń obcych stanowiących tło powinien być mniejszy o co najmniej 6 dB od dopuszczalnych poziomów. W przypadku stwierdzenia zbyt wysokiego poziomu emisji postronnych (tła) dla danej częstotliwości lub dla pasma częstotliwości, zakres ten nie jest poddawany ocenie.

2.2. Pomiar zaburzeń radioelektrycznych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia

Emisja zaburzeń przewodzonych jest definiowana jako zaburzenie elektromagnetyczne rozchodzące się wzdłuż przewodów elektrycznych lub linii transmisji sygnałów. Pomiar emisji zaburzeń przewodzonych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia wykonywane są w trakcie postoju zgodnie z metodyką zapisaną w normie [6].

Zgodnie z zaleceniami normy wykonuje się pomiary składowej niesymetrycznej napięcia zaburzeń radioelektrycznych w zakresie częstotliwości od 9 kHz do 30 MHz.

Pomiar emisji zaburzeń przewodzonych wykonywany jest na wszystkich portach pokładowej sieci zasilającej a.c i d.c. Do pomiaru zaburzeń przewodzonych wykorzystuje się sondę pomiarową, do której podłączony jest poprzez kabel koncentryczny odbiornik pomiarowy, co ilustruje rysunek 3. Pomiary wykonywane są w trakcie postoju przy możliwie maksymalnym obciążeniu. Uzyskane wyniki porównywane są z wykonanym uprzednio pomiarem tła dla pokładowej sieci zasilającej.



Rys.3. Schemat układu pomiarowego do emisji zaburzeń przewodzonych

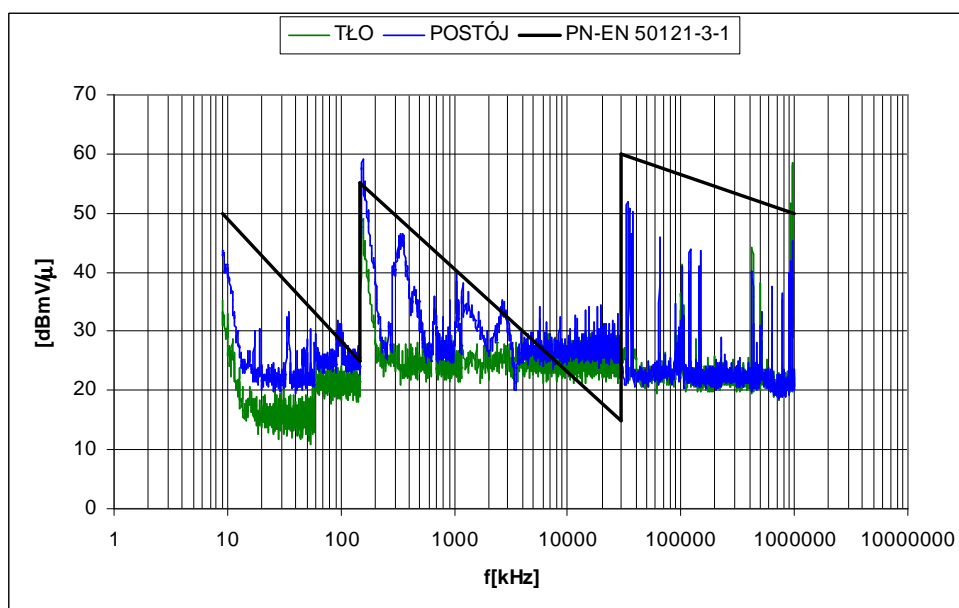
3. PRZYKŁADOWE WYNIKI POMIARÓW

3.1. Wyniki pomiarów emisji zaburzeń promieniowanych

Na rysunku 4 pokazano przykładowe wyniki pomiarów emisji zaburzeń promieniowanych pochodzących od elektrycznego zespołu trakcyjnego EZT typu 22 WE z uwzględnieniem wymagań zawartych w normie i zaburzeń postronnych.

Pomiary emisji zaburzeń promieniowanych wykonano dla następujących warunków:

- podczas postoju – rys.4,
- podczas jazdy – rys.5.



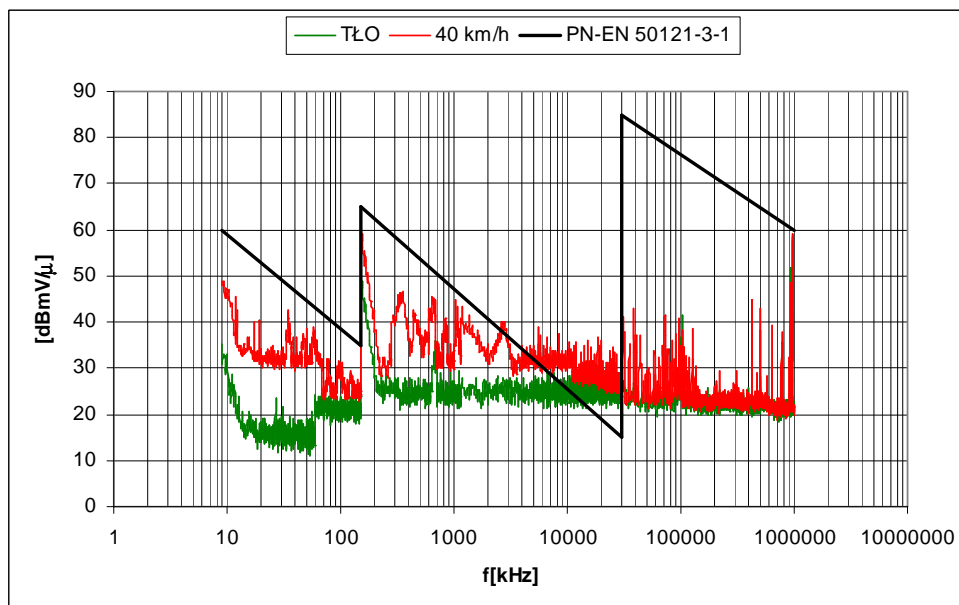
Rys.4. Zaburzenia emisji promieniowanej taboru kolejowego w trakcie postoju

Podczas postoju pojazd znajdował się na wprost anten i miał włączone wszystkie urządzenia pokładowe, które mogą stanowić potencjalne źródła zaburzeń radioelektrycznych.

Podczas jazdy wykonywany był pomiar na stanowisku pomiarowym przy prędkości lokomotywy $40\text{km/h} \pm 10\text{km/h}$ i w układzie, gdy pobór mocy wynosił 30 %.

Na rysunkach 4 i 5 zamieszczone są wyniki z pomiarów zaburzeń promieniowanych pochodzących od EZT 22WE podczas postoju pojazdu oraz w trakcie przejazdu przed antenami z wymaganą prędkością. Na wartości mierzone mają wpływ zaburzenia postronne i powinny one wynosić – 6dB wartości dopuszczalnej. Dlatego zgodnie z zaleceniami normy [4] na tych częstotliwościach, na których wystąpiły przekroczenia wartości dopuszczalnych poziomów wyniki z pomiarów nie podlegały ocenie w związku z wysokim

poziomem zaburzeń postronnych. W przypadku badanego pojazdu taka sytuacja miała miejsce w paśmie częstotliwości 10MHz – 200MHz.



Rys.5. Zaburzenia emisji promieniowanej taboru kolejowego w trakcie jazdy

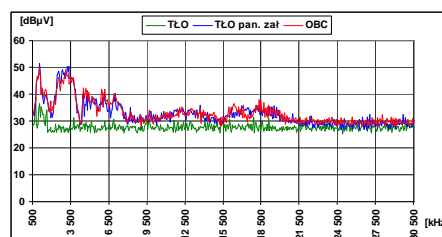
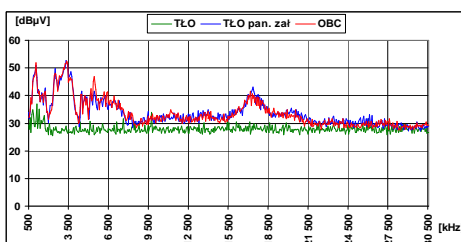
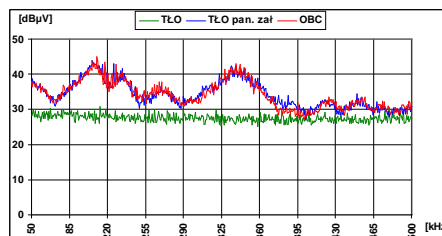
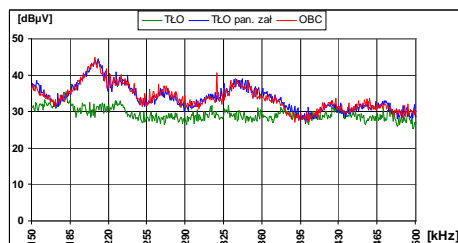
3.2. Wyniki pomiarów zaburzeń radioelektrycznych w niskonapięciowych obwodach zasilania elektrycznych lokomotyw

Kolejowe obiekty ruchome, takie jak lokomotywy, można traktować, jako specyficzne i złożone środowisko elektromagnetyczne. Pracujące w tym środowisku urządzenia nie powinny wpływać wzajemnie na siebie, a w szczególności urządzenia elektryczne zasilane napięciem 3 kV nie powinny wprowadzać nadmiernych poziomów zaburzeń radioelektrycznych do obwodów pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia i obwodów przesyłania sygnałów w pokładowych urządzeniach elektronicznych.

W obwodach wysokiego napięcia występują potencjalne źródła zaburzeń radioelektrycznych takie jak: silniki trakcyjne, silnik wentylatora napędzający prądnicę prądu stałego, styki styczników liniowych i grupowych, styk odbieraka prądu z przewodem jezdny.

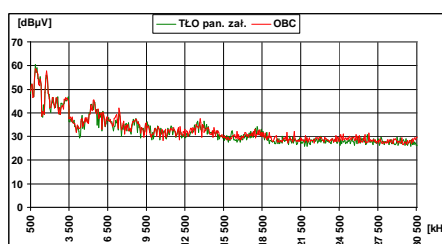
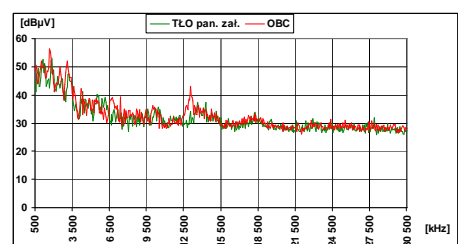
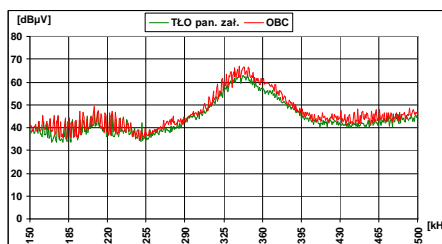
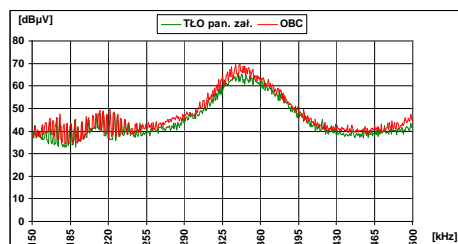
W obwodach niskiego napięcia znajdują się następujące istotne źródła zaburzeń radioelektrycznych i impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych: prądnicę prądu stałego, styki styczników niskonapięciowych, silniki napędów pomocniczych.

Przykładowe wyniki z wykonanych pomiarów zamieszczone na rysunku 6.



Zaburzenia emisji przewodzonej dla portu
+24V DC

Zaburzenia emisji przewodzonej dla portu
-24V DC



Zaburzenia emisji przewodzonej dla portu
L 230V AC

Zaburzenia emisji przewodzonej dla portu
N 230V AC

Rys.6. Zaburzenia emisji przewodzonej EZT 22WE

Na rysunku 6 przedstawiono wynik pomiarów emisji zaburzeń przewodzonych. Pomiar został wykonany w pokładowej sieci niskiego napięcia 24V DC oraz portu 230V AC

elektrycznego zespołu trakcyjnego typu 22 WE. W trakcie pomiarów nie stwierdzono przekroczeń dopuszczalnego poziomu emisji zaburzeń przewodzonych.

4. NIEPEWNOŚĆ POMIARU BADAŃ EMISJI ZABURZEŃ RADIOELEKTRYCZNYCH

Pomiar emisji zaburzeń promieniowanych jak i przewodzonych obarczony jest zawsze błędem pomiarowym wynikającym ze specyfiki pomiaru i dokładności zastosowanej aparatury pomiarowej. Prawidłowa ocena uzyskanych wyników wymusza oszacowanie niepewności pomiaru. Najistotniejszym elementem zgodności lub niezgodności z poziomem dopuszczalnym zaburzeń radioelektrycznych jest uwzględnienie niepewności pomiarów aparatury pomiarowej. Niepewność aparatury pomiarowej wykorzystywanej do badań zaburzeń radioelektrycznych powinno się oceniać uwzględniając wszystkie wymienione wielkości w normie PN-EN 55016-4-2 [8].

Niepewność standardową $u(x_i)$ w dB oraz współczynnik czułości c_i ocenia się dla estymacji x_i każdej wielkości. Niepewność standardową $u(y_i)$ dla estymacji wielkości u należy obliczyć wykorzystując zależność (1).

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_i c_i^2 \cdot u^2(x_i)} \quad (1)$$

gdzie:

$u_c(y)$ – (złożona) niepewność standardowa wielkości y

c_i – współczynnik czułości,

$u(x_i)$ – niepewność standardowa estymacji x_i .

Niepewność rozszerzoną wprowadzaną przez aparaturę pomiarową U_{lab} oblicza się wykorzystując zależność (2).

$$U_{lab} = 2 \cdot u_c(y) \quad (2)$$

gdzie:

U_{lab} – niepewność rozszerzona wielkości y ,

$u_c(y)$ – (złożona) niepewność standardowa wielkości y .

Zgodnie z wymaganiami dokumentów PCA oszacowana niepewność pomiaru zaburzeń radioelektrycznych promieniowanych i przewodzonych musi być podana w sprawozdaniu z badań.

WNIOSKI

Z przedstawionych wyników pomiarów emisji zaburzeń radioelektrycznych promieniowanych przez pojazd wynika, że występują przekroczenia poziomu dopuszczalnego w paśmie 10MHz – 200MHz. Biorąc jednak pod uwagę poziom zaburzeń postronnych występujących na poligonie pomiarowym można domniemywać, że mimo wszystko nie występują przekroczenia poziomu dopuszczalnego. Wynik pomiaru ma zdecydowany wpływ stan środowiska elektromagnetycznego, w którym występują znaczące poziomy zaburzeń radioelektrycznych pochodzące od niezidentyfikowanych

źródeł. Z przeprowadzonej analizy wynika, że badany EZT nie przekracza dopuszczalnych poziomów.

Przy wyborze poligonu pomiarowego należy dokładnie przebadać stan środowiska elektromagnetycznego. Jeżeli występują nadmierne poziomy od źródeł postronnych należy określić ich pochodzenie i zbadać okres występowania najwyższych poziomów emisji.

W przypadku przeprowadzania badań na nieprawidłowo wybranym poligonie pomiarowym przez mało doświadczony personel może dojść do złej interpretacji wyników pomiarów.

W trakcie badań zaburzeń radioelektrycznych przewodzonych występującej w pokładowej sieci zasilającej niskiego napięcia zauważono znaczny odstęp między zmierzonym poziomem zaburzeń a dopuszczalnymi wymaganiami normy. Z przedstawionej analizy wynika, że w przypadku pojazdu 22 WE wyższy poziom generowanych zaburzeń przewodzonych występuje w pokładowej sieci zasilającej niskiego dla portu zasilania 230V AC.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Dłużniewski, Ł. John, - *Sprawozdanie Nr LA/42/10 z badań EMC zaburzeń elektromagnetycznych promieniowanych i przewodzonych przez EZT 22 WE*,
- [2] PN-EN 50121-1: *Zastosowania kolejowe -- Kompatybilność elektromagnetyczna -- Część 1: Postanowienia ogólne*,
- [3] PN-EN 50121-2: *Zastosowania kolejowe -- Kompatybilność elektromagnetyczna -- Część 2: Oddziaływanie systemu kolejowego na otoczenie*,
- [4] PN-EN 50121-3-1: *Zastosowania kolejowe -- Kompatybilność elektromagnetyczna -- Część 3-1: Tabor -- Pociąg i kompletny pojazd*,
- [5] PN-EN 50121-3-2: *Zastosowania kolejowe -- Kompatybilność elektromagnetyczna -- Część 3-2: Tabor –Aparatura*,
- [6] PN-EN 55011: *Przemysłowe, naukowe i medyczne urządzenia o częstotliwości radiowej -- Charakterystyka zaburzeń elektromagnetycznych – Dopuszczalne poziomy i metody pomiarów*,
- [7] PN-T-01030: *Kompatybilność elektromagnetyczna – Terminologia*.
- [8] PN-EN 55016-4-2: *Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiarów zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia radioelektryczne – Część 4-2: Niepewność, statystyka i modelowanie poziomów dopuszczalnych. Niepewność w pomiarach EMC*.