

Dr inż. Andrzej Białoń,  
Mgr inż. Artur Dłużniewski,  
Mgr inż. Łukasz John  
Instytut Kolejnictwa

# EMISJA ZABURZEŃ RADIOELEKTRYCZNYCH GENEROWANYCH PRZEZ TABOR KOLEJOWY

## SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. Uwarunkowania prawne badań taboru kolejowego
3. Metodyka pomiarów emisji zaburzeń radioelektrycznych
4. Przykładowe wyniki pomiarów zaburzeń radioelektrycznych taboru kolejowego
5. Niepewność pomiaru badań emisji zaburzeń radioelektrycznych
6. Podsumowanie

## STRESZCZENIE

*W artykule przedstawiono problematykę badań taboru kolejowego w zakresie oceny emisji zaburzeń promieniowanych, generowanych przez tabor oraz poziomu zaburzeń przewodzonych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia z uwzględnieniem dopuszczalnych poziomów zapisanych w normach i innych dokumentach. Omówiono metodykę pomiarów emisji zaburzeń promieniowanych i przewodzonych. Podstawą oceny emisji elektromagnetycznych zaburzeń promieniowanych jest wartość natężenia pola elektromagnetycznego, zmierzona w pobliżu obiektów ruchomych. Przedstawiono główne źródła zaburzeń radioelektrycznych występujących na terenach kolejowych jak również źródła zaburzeń radioelektrycznych w pokładowej sieci zasilającej. Zamieszczono również przykładowe wyniki normatywnych pomiarów zaburzeń radioelektrycznych przewodzonych w pokładowej sieci niskiego napięcia oraz wyniki pomiarów dodatkowych w konfiguracji z załączonymi i wyłączonymi filtrami na podstacji, zarejestrowanych przy różnych prędkościach elektrycznego zespołu trakcyjnego ED74. Zamieszczono również wyniki z pomiarów emisji elektromagnetycznych zaburzeń promieniowanych pochodzących od ezt 22WE (ELF). Opisano metodę szacowania niepewności pomiarów w badaniach emisji zaburzeń od taboru kolejowego.*

## 1. WSTĘP

Kolejowe środowisko elektromagnetyczne jest bardzo specyficzne ze względu na występowanie w nim wielu różnych systemów elektrycznych i elektronicznych, współpracujących ze sobą, rozmieszczonych niejednokrotnie na dużym obszarze.

Ocena aktualnego stanu środowiska elektromagnetycznego dotyczy wartości natężenia pola elektromagnetycznego, zaburzeń radioelektrycznych pochodzących od pojazdów trakcyjnych poruszających się na szlaku, promieniowania sieci trakcyjnej, poziomu zaburzeń radioelektrycznych i przepięć w energetycznej sieci zasilania obiektów stacjonarnych i w pokładowej sieci zasilania pojazdów trakcyjnych oraz wagonów pasażerskich.

## 2. UWARUNKOWANIA PRAWNE BADAŃ TABORU KOLEJOWEGO

W zakres certyfikacji kolejowego taboru szynowego wchodzi między innymi badanie kompatybilności elektromagnetycznej. Wynikają one z zapisów zawartych w dyrektywie Rady Europy 2004/108/WE dotyczącej kompatybilności elektromagnetycznej [2].

Obejmuje ona 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. Zawarte w niej zapisy określają zasady wprowadzenia na rynek lub do użytkowania nowych urządzeń, zasadnicze procedury związane z kontrolą oraz oznakowaniem znakiem CE. W przypadku emisji zaburzeń, normy zharmonizowane podają wymagania dotyczące zakresu częstotliwości, dla których 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. Przykładem takiej normy zharmonizowanej jest norma EN 50238 *Compatibility between Rolling Stock and Train Detection*. Jej polskim odpowiednikiem jest wprowadzona metodą uznaniową norma [9]. Dokumentami związanymi przedmiotowo są także karty UIC 512 oraz UIC 790, określające wymagania związane z cechami (np. konstrukcyjnymi) taboru mającymi wpływ na poprawną pracę innych urządzeń kolejowych (np. urządzeń do stwierdzania obecności taboru na linii). Norma [9] określa ogólne wytyczne i zasady postępowania w zakresie ustalania wartości dopuszczalnych oraz oceny zgodności taboru w procesie dopuszczania do eksploatacji. Zaletą normy jest dość ściśle zdefiniowanie procesu (tzw. *compatibility case*) służącego do wykazania, że dany typ taboru poprawnie współpracuje z urządzeniami detekcji na

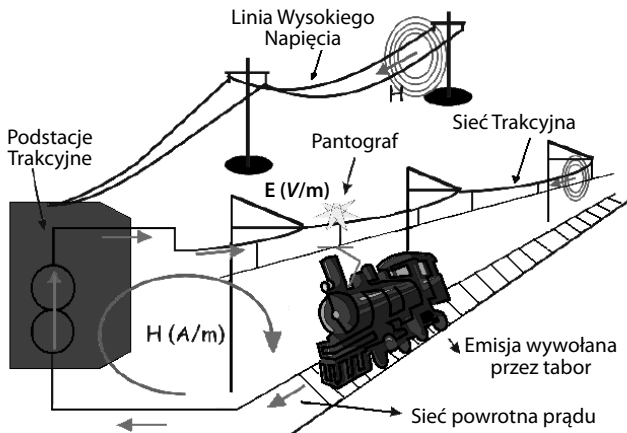
danej linii kolejowej, tzn. może być wprowadzony do ruchu na pewnym zamkniętym obszarze infrastruktury kolejowej. W normie [9] nie jest jednak zdefiniowany ani rodzaj wielkości zakłócających, jakie należy rozpatrywać w analizie kompatybilności, ani ich poziom. Nie jest podana także znormalizowana metoda badań taboru przed dopuszczeniem do eksploatacji.

Wymagania certyfikacji taboru kolejowego są również zapisane w Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności – Tabor (TSI-Tabor). Ze względu na złożoność interoperacyjnego systemu kolejowego, powstały specyfikacje podzielone na dedykowane podsystemy, gdzie podsystem tabor został opisany w wymienionej specyfikacji. Dodatkowo po badaniach normatywnych taboru kolejowego w Polsce musi uzyskać Świadectwo dopuszczenia do eksploatacji na terenie kolejowym, wydawane przez Urząd Transportu Kolejowego na podstawie odpowiednich rozporządzeń Ministra Infrastruktury.

Przeprowadzanie badań taboru kolejowego pod względem kompatybilności elektromagnetycznej jest ważne nie tylko z powodu możliwości występowania negatywnego oddziaływania na urządzenia srk, co może mieć bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo ruchu kolejowego, 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 centrach handlowych wypełnionych różnorodnymi systemami i urządzeniami elektronicznymi. Przykładem tu może być np. Dworzec Wileński w Warszawie.

W związku z tym zdefiniowano główne źródła zaburzeń radioelektrycznych występujące na terenie kolejowym. Do najważniejszych obiektów generujących zaburzenia radioelektryczne na terenach kolejowych należą (rys. 1):

- elektryczne i spalinowo-elektryczne pojazdy trakcyjne,
- sieć trakcyjna,
- podstacje trakcyjne,
- urządzenia sterowania ruchem.



Rys. 1. Podstawowe źródła zaburzeń elektromagnetycznych

Sieć trakcyjna sama w sobie nie jest źródłem zaburzeń radioelektrycznych. Stanowi ona linię transmisyjną dla zaburzeń radioelektrycznych. Ponadto kolejowe obiekty ruchome, takie jak lokomotywy elektryczne, elektryczne zespoły trakcyjne i wagony pasażerskie, stanowią specyficzne i złożone środowisko elektromagnetyczne. Pracujące w tym środowisku urządzenia nie powinny wpływać wzajemnie na siebie, a w szczególności urządzenia zasilane napięciem 3 kV nie powinny wprowadzać nadmiernych zaburzeń elektromagnetycznych do obwodów sieci zasilania niskiego napięcia oraz obwodów przysyłania sygnałów, zainstalowanych w pokładowych urządzeniach elektrycznych.

W obwodach wysokiego napięcia pojazdów trakcyjnych występują następujące potencjalne źródła zaburzeń radioelektrycznych:

- silniki trakcyjne,
- silnik wentylatora napędzający jednocześnie prądnicę prądu stałego,
- styki styczników liniowych i grupowych,
- styk odbieraka prądu z przewodem jezdny.

W obwodach niskiego napięcia znajdują się również następujące potencjalne źródła zaburzeń radioelektrycznych i impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych, do których należą:

- prądnica prądu stałego,
- styki styczników niskonapięciowych,
- silniki napędów pomocniczych.

### **3. METODYKA POMIARÓW EMISJI ZABURZEŃ RADIOELEKTRYCZNYCH**

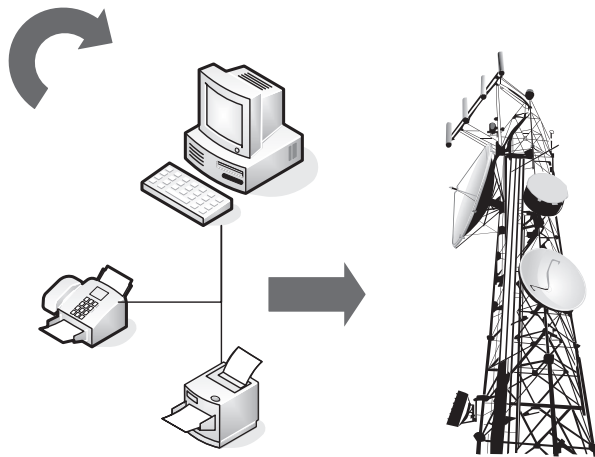
Badania kompatybilności elektromagnetycznej kolejowego taboru szynowego są przeprowadzane na podstawie metodyki oraz obowiązujących wymagań normatywnych zawartych w następujących normach:

- PN-EN 55011 Urządzenia przemysłowe, naukowe i medyczne – Charakterystyki zaburzeń o częstotliwości radiowej – Dopuszczalne poziomy i metody pomiaru,
- PN-EN 50121-1 Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna. Część 1: Postanowienia ogólne,
- PN-EN 50121-2 Zastosowania 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 kompletny pojazd,
- PN-EN 50121-3-2 Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna. Część 3-2: Tabor – Aparatura.

Wymienione 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 można rozważać w dwóch aspektach:

- oddziaływania systemu lub urządzenia przez emisję fal elektromagnetycznych na inne systemy lub urządzenia znajdujące się w pobliskim środowisku elektromagnetycznym (rys. 2),
- odporności urządzeń, definiowanej jako zdolność pracy systemu lub urządzenia bez pogorszenia jakości działania w miejscu, gdzie występują zaburzenia elektromagnetyczne.

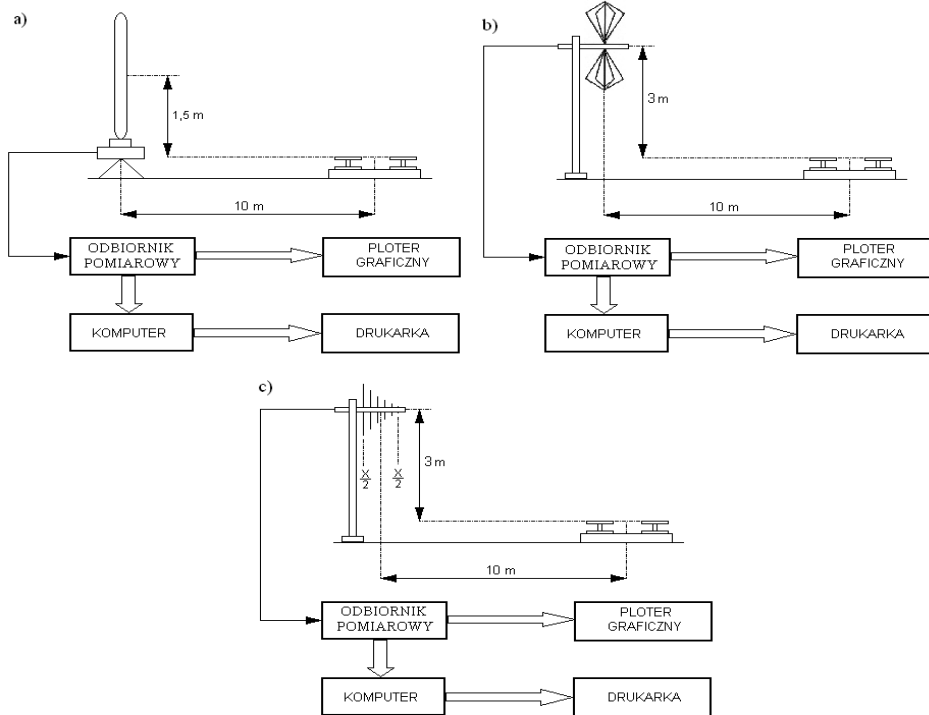


Rys. 2. Inne źródła zaburzeń elektromagnetycznych

Badania kolejowego taboru szynowego pod względem generowanej emisji zaburzeń radioelektrycznych są wykonywane dla emisji zaburzeń promieniowanych i przewodzonych.

### 3.1. Pomiar emisji zaburzeń promieniowanych

Zaburzenie radioelektryczne promieniowane jest definiowane jako zaburzenie wysyłane w formie fal elektromagnetycznych. Ze względu na specyfikę urządzeń trakcji elektrycznej (wysokie napięcie i duże pobory prądu), pomiary poziomu zaburzeń promieniowanych wykonuje się wyłącznie 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 trzech typów anten, co ilustruje rysunek 3. Aktualne zalecenia zawarte w normie [6] dopuszczają wykonywanie pomiarów za pomocą 2 anten (aktywnej ramowej i logarytmiczno-periodycznej). W skład układu pomiarowego wchodzi odbiornik pomiarowy EMI spełniający wymagania normy [10] oraz komputer wraz z drukarką.



Rys. 3. Wymagane anteny do pomiaru zaburzeń emisji promieniowanej:  
 a) antena ramowa, b) antena dwustożkowa, c) antena logarytmiczno-periodyczna

Pomiary emisji zaburzeń promieniowanych wykonuje się w paśmie  $9 \text{ kHz} \div 1 \text{ GHz}$  z podziałem na dziewięć podzakresów zgodnie z zapisami normy [6]:

$9 \text{ kHz} \div 59 \text{ kHz}$ $59 \text{ kHz} \div 150 \text{ kHz}$ $150 \text{ kHz} \div 1,15 \text{ MHz}$ $1 \text{ MHz} \div 11 \text{ MHz}$ $10 \text{ MHz} \div 20 \text{ MHz}$ $20 \text{ MHz} \div 30 \text{ MHz}$	<p>pomiar składowej magnetycznej natężenia pola zaburzeń przy zastosowaniu anteny ramowej</p>
$30 \text{ MHz} \div 230 \text{ MHz}$	<p>pomiar pionowej składowej elektrycznej natężenia pola przy zastosowaniu anteny dwustożkowej</p>
$200 \text{ MHz} \div 500 \text{ MHz}$ $500 \text{ MHz} \div 1 \text{ GHz}$	<p>pomiar pionowej składowej elektrycznej natężenia pola przy zastosowaniu anteny logarytmiczno-periodycznej</p>

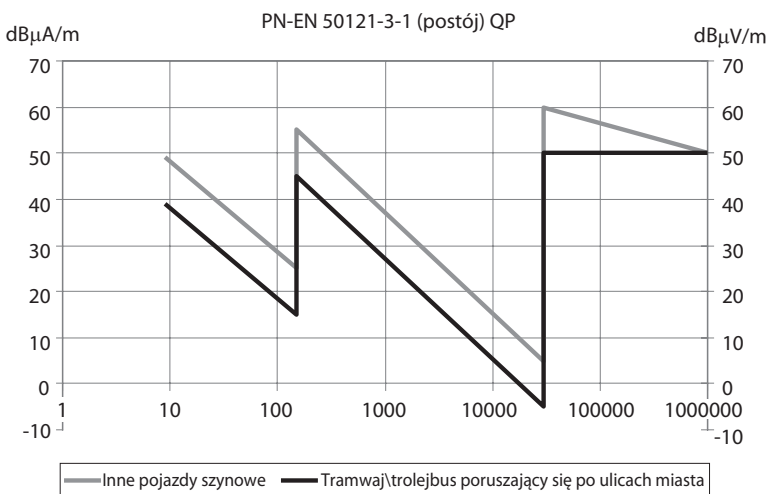
Anteny należy umieszczać w odległości 10 m od osi toru. Podczas pomiarów składowej magnetycznej w paśmie  $9 \text{ kHz} \div 30 \text{ MHz}$ , antena ramowa powinna być umieszczona na wysokości od 1 do 2 m liczonej ponad poziom główki szyny, natomiast dla

pasma 30 MHz÷1 GHz, antena dwustożkowa i logarytmiczno-periodyczna powinna być umieszczona na wysokości 3 m.

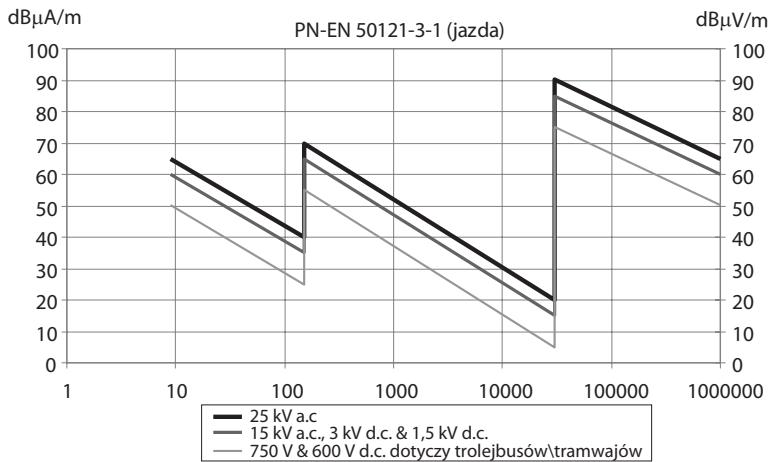
Ponieważ na wynik pomiaru mają wpływ konstrukcje wsporcze górnej sieci trakcyjnej, to punkt pomiaru powinien znajdować się w środku pomiędzy konstrukcjami, po przeciwnej stronie toru. W przypadku gdy badania są przeprowadzane na linii dwutorowej, anteny powinny być zlokalizowane po stronie toru, po którym porusza się badany pojazd trakcyjny. Jeżeli obiekt badań zasilany jest z tak zwanej trzeciej szyny, to anteny pomiarowe powinny znajdować się po stronie tej szyny. Jest to istotne, ponieważ badany jest zawsze najgorszy przypadek. Lokalizacja punktu pomiarowego powinna uwzględniać „nieskończoność” górnej sieci trakcyjnej (lub trzeciej szyny) po obu stronach punktu pomiarowego na odległość 3 km dla taboru kolejowego i 500 m dla pojazdów miejskich.

Pomiary emisji zaburzeń przewodzonych powinny być wykonywane w oddaleniu od drzew, ścian i tuneli o 30 m dla pojazdów kolejowych i 10 m dla pojazdów miejskich. Norma [6] zaleca również oddalenie punktu pomiarowego od linii zasilających dużych mocy, w tym kabli ziemnych i podstacji transformatorowych.

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 zwane tłem. Poziom zaburzeń obcych stanowiących tło powinien być mniejszy o co najmniej 6 dB od dopuszczalnych poziomów dla danego zakresu pomiarowego. W przypadku stwierdzenia zbyt wysokiego poziomu emisji zaburzeń postronnych (tła) dla danej częstotliwości lub dla pasma częstotliwości, ten zakres nie jest poddawany ocenie. Dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń promieniowanych dla dwóch trybów badawczych są zawarte w normie [6] w postaci wykresów przedstawionych na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Dopuszczalne wartości zaburzeń na postoju



Rys. 5. Dopuszczalne wartości zaburzeń w trakcie jazdy

### 3.2. Pomiar emisji zaburzeń radioelektrycznych przewodzonych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia

Emisja zaburzeń radioelektrycznych przewodzonych jest definiowana jako zaburzenie rozchodzące się wzdłuż przewodów elektrycznych lub linii transmisji sygnałów. Pomiar normatywny emisji zaburzeń przewodzonych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia wykonywane są w trakcie postoju pojazdu, zgodnie z metodyką zapisaną w normie [3].

Zgodnie z zaleceniami wymienionej normy, wykonuje się pomiary składowej niesymetrycznej napięcia zaburzeń radioelektrycznych w zakresie częstotliwości od 150 kHz do 30 MHz, z podziałem na dwa podzakresy częstotliwości:

- 150 kHz ÷ 500 kHz,
- 500 kHz ÷ 30 MHz.

Pomiar emisji zaburzeń przewodzonych wykonywany jest na wszystkich portach pokładowej sieci zasilającej a.c. i d.c., do których można zaliczyć:

- porty pomocniczego źródła zasilania prądu sinusoidalnego a.c. lub d.c.,
- porty odnoszące się do baterii akumulatorów,
- porty pomiarowe i porty sterowania służące do zasilania urządzeń elektronicznych.

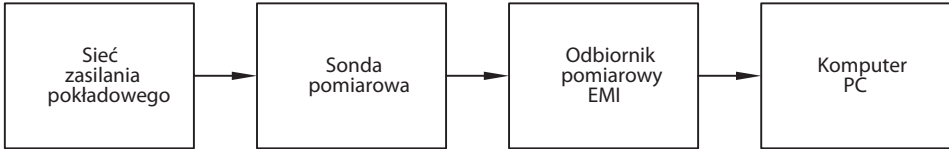
Typowe wartości napięcia zasilania pokładowego w pojazdach są zdefiniowane w normie [8] i wynoszą: 24V DC, 48V DC, 110V DC oraz 230V AC.

Do pomiaru zaburzeń przewodzonych wykorzystuje się wysokonapięciową sondę pomiarową, do której przez kabel koncentryczny jest podłączony odbiornik pomiarowy EMI, co ilustruje rysunek 6. Uzyskane wyniki są porównywane z wykonanymi uprzednio pomiarami zaburzeń postronnych (tła) występującymi w pokładowej sieci zasilającej niskiego napięcia przy odłączonym zasilaniu.



Odbiornik pomiarowy EMI, wchodzący w skład wyposażenia pomiarowego musi spełniać wymagania normy [10]. Dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń przewodzonych zawarte są w normie [9] i wynoszą:

- dla pasma 150÷500 kHz – 99 dB $\mu$ V,
- dla pasma 0,5÷30 MHz – 93 dB $\mu$ V.

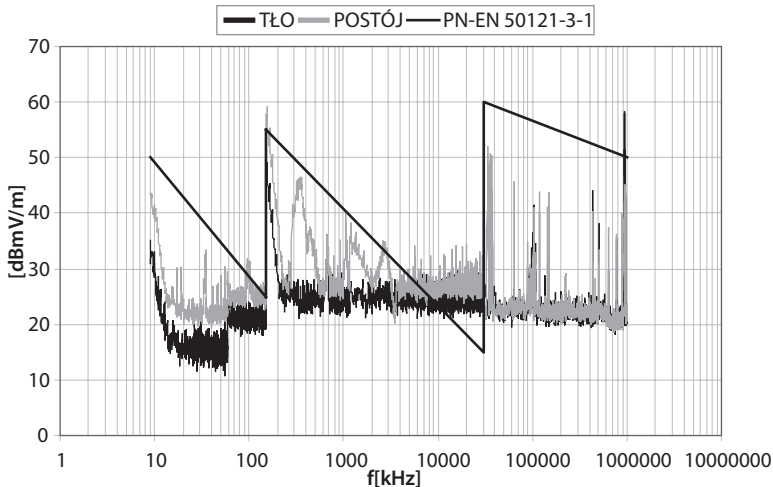


Rys. 6. Schemat blokowy układu pomiarowego do pomiaru zakłóceń radioelektrycznych w pokładowej sieci niskiego napięcia

#### 4. PRZYKŁADOWE WYNIKI POMIARÓW ZABURZEŃ RADIOELEKTRYCZNYCH TABORU KOLEJOWEGO

Na rysunku 7 i 8 pokazano przykładowe wyniki pomiarów emisji zaburzeń promieniowanych pochodzących od elektrycznego zespołu trakcyjnego ezt typu 22 WE, z uwzględnieniem wymagań zawartych w normie i poziomu zaburzeń postronnych. Pomiary emisji zaburzeń promieniowanych wykonano dla następujących warunków:

- podczas postoju – rys. 7,
- podczas jazdy – rys. 8.

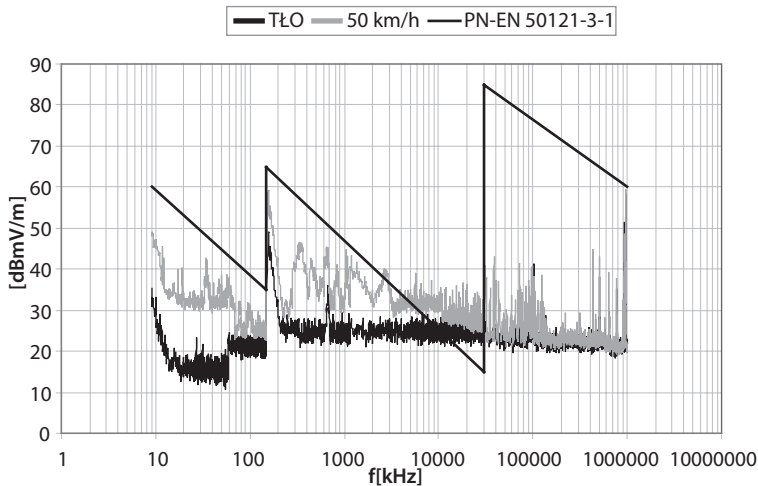


Rys. 7. Zaburzenia promieniowane taboru na postoju

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

Podczas jazdy pomiar był wykonywany na stanowisku pomiarowym przy prędkości lokomotywy  $50 \text{ km/h} \pm 10 \text{ km/h}$  dla pojazdów kolejowych. Badania pojazdów miejskich powinny być wykonywane z prędkością  $20 \text{ km/h} \pm 10 \text{ km/h}$ . W obu przypadkach pobór mocy przed anteną powinien wynosić 30%. Taki zapis zawarty w normie wymusza przejazd z obciążeniem prądowym kontrolowanym w trakcie pomiarów, a średnia wartość poboru prądu wyniosła 250 A. Zalecenia normatywne przewidują również przeprowadzanie badań elektrycznego taboru w trakcie hamowania pojazdu przed antenami, ale tylko dla pojazdów, w których zachodzi zjawisko rekuperacji energii do sieci trakcyjnej.

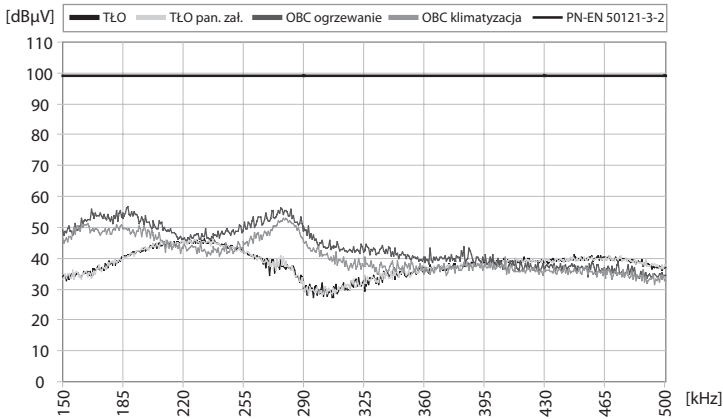
Na rysunkach 7 i 8 zamieszczono wyniki z pomiarów zaburzeń promieniowanych pochodzących od ezł 22WE podczas postoju pojazdu oraz w trakcie przejazdu przed antenami pomiarowymi z wymaganą prędkością. Na uzyskane wartości z pomiarów mają wpływ zaburzenia postronne. Powinny one być mniejsze o co najmniej 6 dB od wartości dopuszczalnej. Dlatego zgodnie z zaleceniami normy [6] na tych częstotliwościach, na których wystąpiły przekroczenia wartości dopuszczalnych poziomów, wyniki z pomiarów nie podlegały ocenie w związku z wysokim poziomem zaburzeń postronnych. Taka sytuacja miała miejsce podczas badań w paśmie częstotliwości  $10 \text{ MHz} \div 200 \text{ MHz}$ .



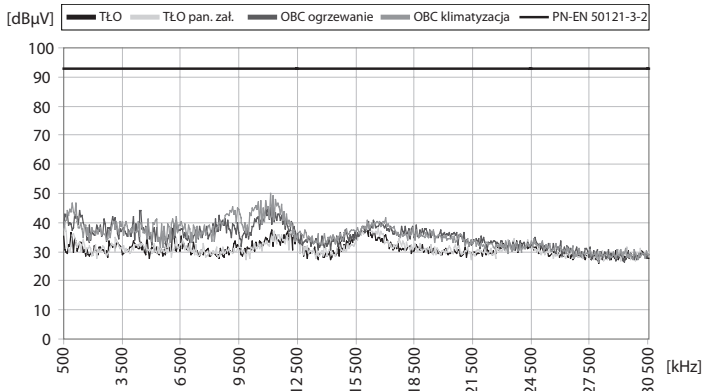
Rys. 8. Zaburzenia promieniowane taboru w trakcie jazdy

Natomiast na rysunkach 9–12 pokazano przykładowe wyniki pomiarów normatywnych emisji zaburzeń przewodzonych w pokładowej sieci niskiego napięcia elektrycznego zespołu trakcyjnego (ezł) ED74, z uwzględnieniem wymagań zawartych w normie i poziomu zaburzeń postronnych. Pomiar emisji zaburzeń przewodzonych wykonano podczas postoju pojazdu zgodnie z normą przy maksymalnym jego obciążeniu (włączona klimatyzacja, oświetlenie, włączony system informacji pasażerskiej). W praktyce maksymalne obciążenie uzyskiwane jest dla wariantu z włączoną w pojeździe klimatyzacją. Pomiar przeprowadzono dla przyłącza zasilania pokładowego niskiego napięcia

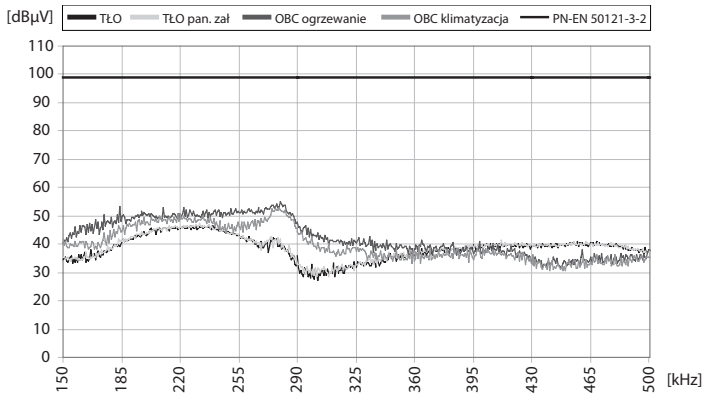
24V DC dla obwodu zasilania „+” i „-”. Taki wariant jest determinowany tym, że wszystkie pokładowe urządzenia sterujące były zasilane z wymienionego portu zasilającego.



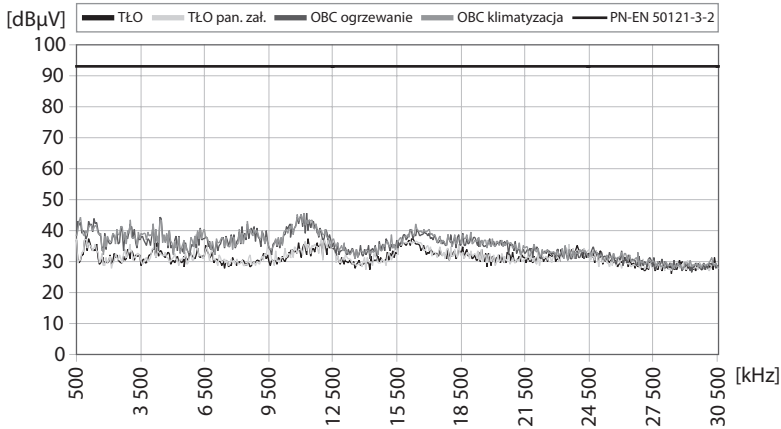
Rys. 9. Zaburzenia emisji przewodzonej dla portu +24V DC



Rys. 10. Zaburzenia emisji przewodzonej dla portu +24V DC



Rys. 11. Zaburzenia emisji przewodzonej dla portu -24V DC

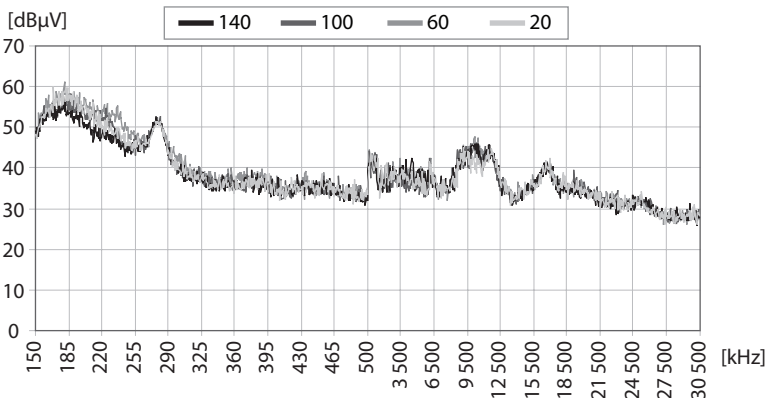


Rys. 12 Zaburzenia emisji przewodzonej dla portu -24V DC

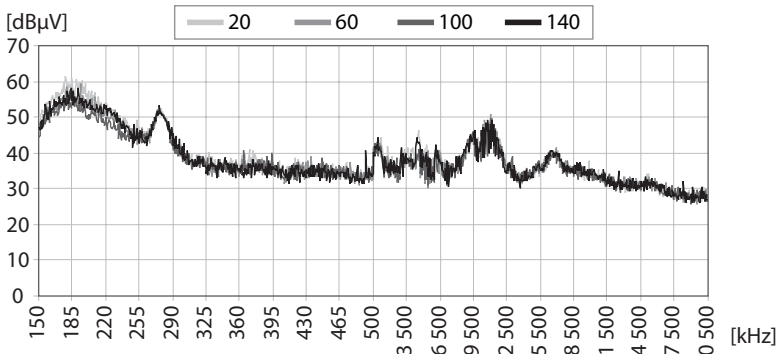
Kolejny etap pomiarów polegał na zmierzeniu poziomu zakłóceń radioelektrycznych w pokładowej sieci niskiego napięcia 24V DC podczas jazdy ezt ED74 po torze doświadczalnym w Żmigrodzie dla różnych prędkości (20, 60, 100 i 140 km/h). Pomiarów były wykonane dla dwóch wariantów:

- wyłączone filtry na podstacji,
- włączone filtry na podstacji.

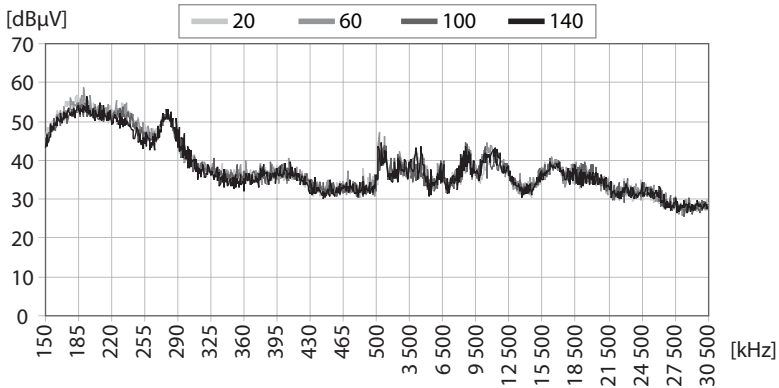
Oba warianty badań miały na celu ocenę sprzężenia pokładowych obwodów zasilania ze zmieniającymi się parametrami obwodu w głównym przewodzie jezdnym. Blok filtrów na podstacji trakcyjnej ma za zadanie odfiltrować harmoniczne o częstotliwościach: 600, 1200 i 2400 Hz. W przypadku, gdy blok filtrów jest wyłączony, częstotliwość podstawowa 600 Hz nie jest odfiltrowywana. W sieci trakcyjnej pojawiają się wtedy harmoniczne napięcia zasilającego, powstające w wyniku prostowania napięcia za pomocą zespołów prostowniczych 12-pulsowych. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunkach 13–16.



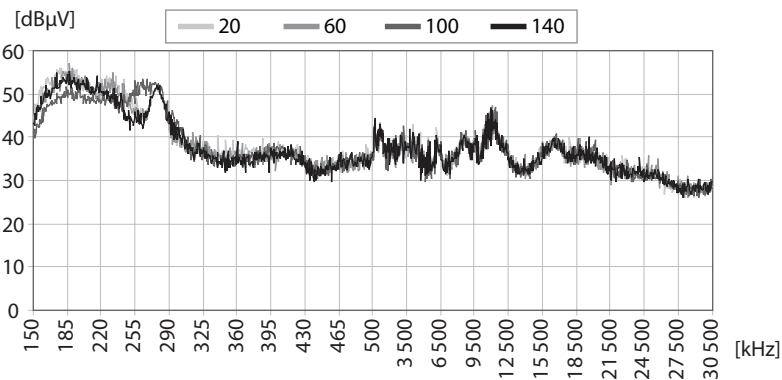
Rys. 13. Zaburzenia emisji przewodzonej dla portu +24V DC przy wyłączonych filtrach na podstacji



Rys. 14. Zaburzenia emisji przewodzonej dla portu +24V DC przy załączonych filtrach na podstacji



Rys. 15. Zaburzenia emisji przewodzonej dla portu -24V DC przy wyłączonych filtrach na podstacji



Rys. 16. Zaburzenia emisji przewodzonej dla portu -24V DC przy załączonych filtrach na podstacji

## 5. NIEPEWNOŚĆ POMIARU BADAŃ EMISJI ZABURZEŃ RADIOELEKTRYCZNYCH

Pomiar emisji zaburzeń promieniowanych, jak i przewodzonych jest zawsze obarczony błędem pomiarowym wynikającym ze specyfiki metod pomiaru i dokładności zastosowanej aparatury pomiarowej. Prawidłowa ocena uzyskanych wyników wymusza oszacowanie niepewności pomiaru. Najistotniejszym elementem zgodności lub niezgodności wyników z poziomem dopuszczalnym zaburzeń radioelektrycznych zawartych w normie, jest uwzględnienie niepewności pomiarów wynikającej z zastosowanej aparatury pomiarowej. Niepewność aparatury pomiarowej wykorzystywanej do badań zaburzeń radioelektrycznych powinno się oceniać, uwzględniając wszystkie wymienione wielkości w normie [11].

Niepewność standardową  $u(x_i)$  w dB oraz współczynnik czułości  $c_i$  ocenia się dla estymacji  $x_i$  każdej wielkości. Niepewność standardową  $u(y)$  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.

## 6. PODSUMOWANIE

Z przedstawionych wyników pomiarów emisji zaburzeń radioelektrycznych promieniowanych przez pojazd wynika, że występują przekroczenia poziomu dopuszczalnego w paśmie 10 MHz÷200 MHz. Biorąc jednak pod uwagę fakt występowania znaczącego poziomu zaburzeń postronnych na poligonie pomiarowym, można domniemywać, że

mimo wszystko nie stwierdzono przekroczenia poziomu dopuszczalnego. Na wynik pomiaru zdecydowany wpływ ma stan środowiska elektromagnetycznego, w którym występują znaczące poziomy zaburzeń radioelektrycznych postronnych, pochodzących od niezidentyfikowanych źródeł. Z przeprowadzonej analizy wynika, że badany ezt nie przekracza dopuszczalnych poziomów zaburzeń radioelektrycznych.

Przy wyborze poligonu pomiarowego należy dokładnie przebadać stan środowiska elektromagnetycznego. Jeżeli występują nadmierne poziomy zaburzeń od źródeł postronnych należy wtedy 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, występujących w pokładowej sieci niskiego napięcia, można zauważyć znaczny odstęp między zmierzonym poziomem zaburzeń radioelektrycznych a dopuszczalnym poziomem zawartym w normie. Ponadto stwierdza się, że elektryczny zespół trakcyjny nie przekracza w pokładowej sieci niskiego napięcia dopuszczalnych poziomów zawartych w normie [6].

Przeprowadzone badania zaburzeń radioelektrycznych w pokładowej sieci niskiego napięcia wykazały różnice w uzyskanych wynikach pomiędzy metodyką normatywną a dodatkowo przeprowadzonymi badaniami. Poziom zaburzeń przewodzonych zarejestrowany w czasie jazdy, był dla pasma 150 kHz do 250 kHz wyższy o około 10 do 20 dB, niż dla poziomu uzyskanego dla pomiarów normatywnych. Można zatem wykluczyć możliwość bezpośredniego wpływu zaburzeń generowanych przez podstację i wypromieniowanych przez sieć trakcyjną na pokładowe obwody niskiego napięcia.

## BIBLIOGRAFIA

1. Dłużniewski A., John Ł.: *Sprawozdanie Nr LA/42/10 z badań EMC zaburzeń elektromagnetycznych promieniowanych i przewodzonych przez ezt 22 WE*. Warszawa grudzień, 2010 r.
2. Dyrektywa 2004/108/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15.12.2004 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstwa Państw Członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej oraz uchylająca dyrektywę 89/336/EWG (Dz.U. UE L390/23 PL).
3. PN-EN 55011:2010 *Urządzenia przemysłowe, naukowe i medyczne – Charakterystyki zaburzeń o częstotliwości radiowej – Dopuszczalne poziomy i metody pomiaru*.
4. PN-EN 50121-1:2008. *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna. Część 1: Postanowienia ogólne*.
5. PN-EN 50121-2:2010 *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna. Część 2: Oddziaływanie systemu kolejowego na otoczenie*.

6. PN-EN 50121-3-1:2010 *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna. Część 3-1: Tabor – Pociąg i kompletny pojazd.*
7. PN-EN 50121-3-2:2009 *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna. Część 3-2: Tabor – Aparatura.*
8. PN-EN 50155:2007 *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Wyposażenie elektroniczne stosowane w taborze.*
9. PN-EN 50238:2003 *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność pomiędzy taborem a urządzeniami wykrywania pociągów.*
10. PN-EN 55016-1-1:2010 *Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia. Część 1-1: Aparatura do pomiaru zaburzeń radioelektrycznych i do badań odporności – Aparatura pomiarowa (CISPR 16-1-1).*
11. PN-EN 55016-4-2:2006 *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.*
12. PN-T-01030:1996 *Kompatybilność elektromagnetyczna – Terminologia.*
13. Ustawa z dnia 13.04.2007 r. o kompatybilności elektromagnetycznej (Dz.U. nr 82, poz. 556).