

Andrzej Białoń, Artur Dłużniewski, Łukasz John

# Eliminacja zaburzeń przewodzonych w pokładowej sieci zasilającej niskiego napięcia pojazdów trakcyjnych

*Kolejowe obiekty ruchome – takie jak lokomotywy elektryczne, elektryczne zespoły trakcyjne, wagony pasażerskie – stanowią 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 DC nie powinny wprowadzać nadmiernych zaburzeń elektromagnetycznych. Chodzi przede wszystkim o zaburzenia radioelektryczne w portach pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia stałego DC i przemiennego AC, portach związanych z bateriami akumulatorów, portach pomiarowych i sterowania, służących do zasilania urządzeń elektronicznych, oraz portach komunikacji i sygnalizacji pojazdu.*

Nasycanie w coraz większym stopniu taboru urządzeniami elektronicznymi w naturalny sposób wymusza konieczność współistnienia tych urządzeń w specyficznym środowisku elektromagnetycznym. Do bardzo istotnych pokładowych urządzeń elektronicznych można zaliczyć między innymi przetwornicę (lub przetwornice) niskiego napięcia, która nie powinna wytwarzać zaburzeń elektromagnetycznych o poziomach wyższych niż dopuszczalne, określone w normach.

Jednym z podstawowych sposobów ograniczenia wpływu źródeł zaburzeń elektromagnetycznych i radioelektrycznych, zasilanych z obwodu głównego, jest wzajemna separacja obwodów wysokiego i niskiego napięcia, która jest obecnie realizowana w pojazdach nowszej generacji. Znaczne ograniczenie możliwości wystąpienia sprzężenia indukcyjnego pomiędzy obwodami zapewnia w każdym przypadku obniżenie poziomu zaburzeń. Musi być przy tym spełniony warunek, że urządzenia dołączone do obwodu niskiego napięcia nie wytwarzają zaburzeń radioelektrycznych, przekraczających dopuszczalne poziomy. Jeżeli takie zjawisko wystąpi, to konieczne jest stosowanie filtrów obniżających

zaburzenia radioelektryczne, ekranowanie niektórych obwodów lub zastosowanie dodatkowej separacji poszczególnych źródeł.

Jako zaburzenia radioelektryczne przewodzone traktowane są wszystkie niepożądane sygnały wielkiej częstotliwości w paśmie od 0,15 do 30 MHz, które występują w energetycznej sieci zasilania niskiego napięcia oraz w torach sygnałowych obwodów elektrycznych.

## Potencjalne źródła zaburzeń radioelektrycznych w pojeździe

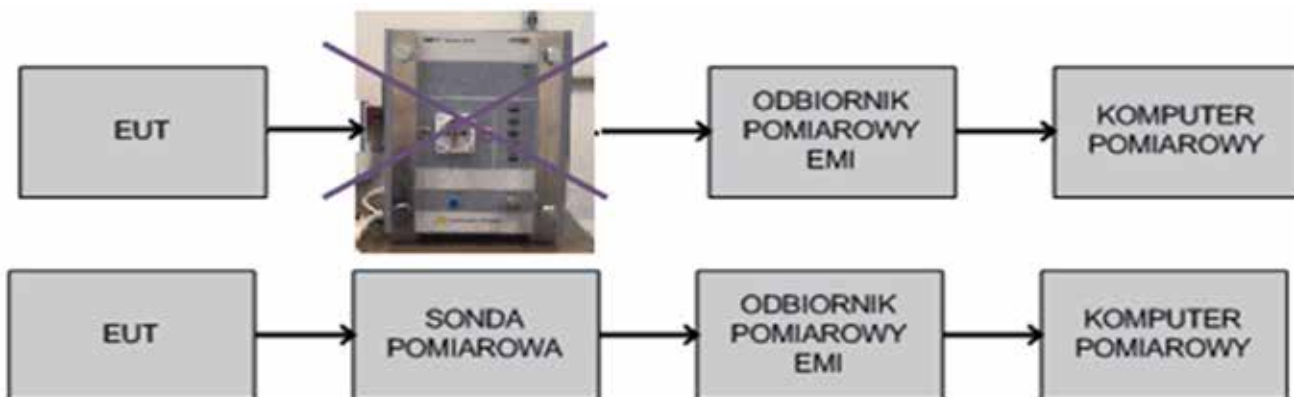
W obecnie produkowanych oraz modernizowanych pojazdach trakcyjnych instalowane są nowoczesne urządzenia i systemy nie tylko odpowiedzialne za sterowanie pojazdem, ale również systemy elektroniczne mające za zadanie poprawę bezpieczeństwa i komfortu podróży. Wszystkie one muszą być nie tylko odporne na zaburzenia radioelektryczne występujące w pokładowej sieci zasilającej, ale również same nie mogą być źródłem takich zaburzeń.

W obwodach wysokiego napięcia występują jednak urządzenia, które potencjalnie mogą stać się głównym źródłem zaburzeń radioelektrycznych, do których zaliczamy:

- styk odbieraka prądu pojazdu z przewodem jezdny;
- silniki trakcyjne, szczególnie w starszych typach pojazdów oraz ich obwody nieodseparowane elektrycznie od obwodów niskiego napięcia;
- falowniki trakcyjne;
- styki styczników liniowych i grupowych.

W obwodach niskiego napięcia znajdują się urządzenia, które również mogą się stać potencjalnym źródłem zaburzeń radioelektrycznych, a mianowicie:

- ❖ przetwornica statyczna wytwarzająca niskie napięcie pokładowe przemiennie i stałe;
- ❖ przetwornice pomocnicze niskiego napięcia stałego i przemiennego;



**Rys. 1.** Schemat blokowy układu pomiarowego do pomiaru zakłóceń radioelektrycznych w pokładowej sieci niskiego napięcia  
 Źródło: oprac. własne.

**Tab. 1.** Zalecane konfiguracje elementów przeciwzakłóceńowych w zależności od impedancji linii zasilania i odbiornika energii

Impedancja źródła zaburzeń	Topologia filtru	Impedancja zakłóconego urządzenia
Niska		Wysoka
Wysoka		Niska
Wysoka		Wysoka
Wysoka – nieznaną		Wysoka – nieznaną
Niska		Niska
Niska – nieznaną		Niska – nieznaną

Źródło: oprac. własne.

❖ urządzenia elektryczne i elektroniczne zasilane niskim napięciem.

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

Emisja zaburzeń przewodzonych definiowana jest jako zaburzenie radioelektryczne, rozchodzące się wzdłuż przewodów elektrycznych lub linii transmisji sygnałów. Pomiary normatywne emisji zaburzeń przewodzonych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia wykonywane są w trakcie postoju pojazdu, zgodnie z metodyką zapisaną w normie [4].

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 2 podzakresy częstotliwości:

- 150 kHz–500 kHz;
- 500 kHz–30 MHz.

Pomiar emisji zaburzeń przewodzonych wykonywany jest na wszystkich portach pokładowej sieci zasilającej AC i DC, do których można zaliczyć:

- ❖ porty pomocniczego źródła zasilania prądu sinusoidalnego AC lub DC;
- ❖ porty odnoszące się do baterii akumulatorów;
- ❖ porty pomiarowe i porty sterowania służące do zasilania urządzeń elektronicznych.

Typowe wartości napięcia zasilania pokładowego w pojazdach zdefiniowane są w normie [3] i wynoszą: 24 V, 36 V, 48 V, 110 V DC oraz 230 V AC.

Do pomiaru zaburzeń przewodzonych, występujących w pokładowej sieci zasilania wszelkiego rodzaju pojazdów szynowych, wykorzystuje się wysokonapięciową sondę pomiarową, a nie – jak w przypadku badania innych typowych urządzeń – sieć sztuczną. Do sondy poprzez kabel koncentryczny podłączony jest odbiornik pomiarowy EMI, co ilustruje rys. 1.

Przed przystąpieniem do pomiaru poziomu zaburzeń radioelektrycznych w danym porcie należy wykonać pomiar zaburzeń postronnych (pomiar tła) występujących w tym obwodzie przy odłączonym zasilaniu.

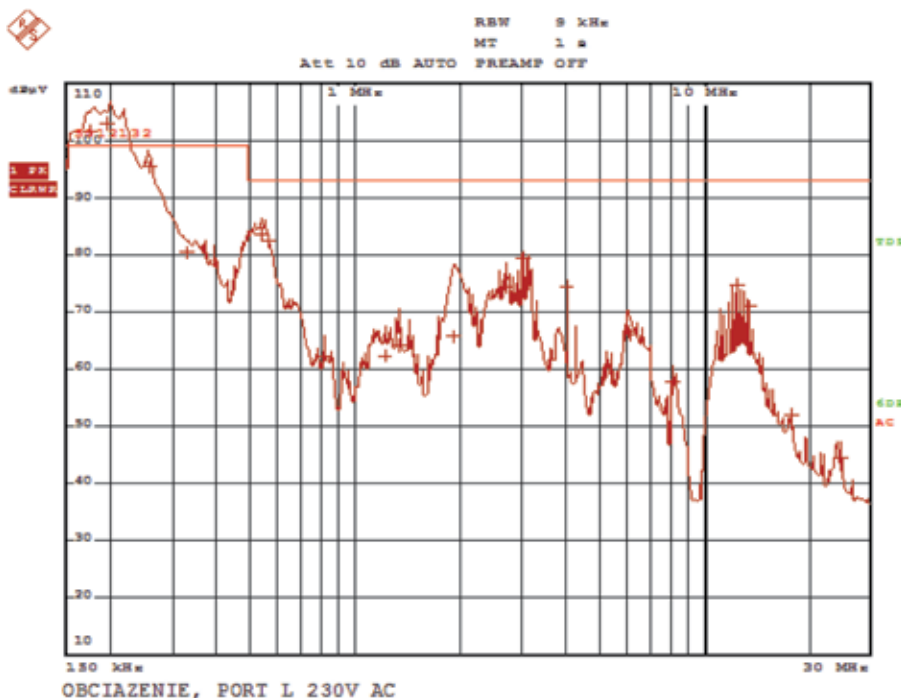
Odbiornik pomiarowy EMI, wchodzący w skład wyposażenia pomiarowego, musi spełniać wymagania norm [5, 6].

Dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń przewodzonych zawarte są w normie [2] i wynoszą:

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

### Wyniki pomiarów

Badania emisji zaburzeń radioelektrycznych przewodzonych przeprowadzane są dla nowych lub zmodernizowanych elektrycznych pojazdów trakcyjnych. Pokazane przykładowe wyniki badań dotyczą zmodernizowanego pojazdu trakcyjnego. Modernizacja tego pojazdu polegała na kompleksowej wymianie elementów układu sterowania oraz zasilania pojazdu, instalacji nowoczesnych systemów informacji pasażerskiej oraz instalacji systemu klimatyzacji.



**Rys. 2.** Przebieg charakterystyki napięcia zaburzeń radioelektrycznych w funkcji częstotliwości w paśmie 0,15 ÷ 30 MHz w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia

Źródło: oprac. własne.

Pomiary zaburzeń przewodzonych wykonano między innymi w pokładowej sieci zasilającej niskiego napięcia 230 V AC dla poru L i N.

Na rys. 2 i 3 zamieszczono przykładowe wyniki pomiarów, ilustrujące przebieg charakterystyki napięcia zaburzeń radioelektrycznych w funkcji częstotliwości, zarejestrowane w porcie zasilania napięciem 230 V AC.

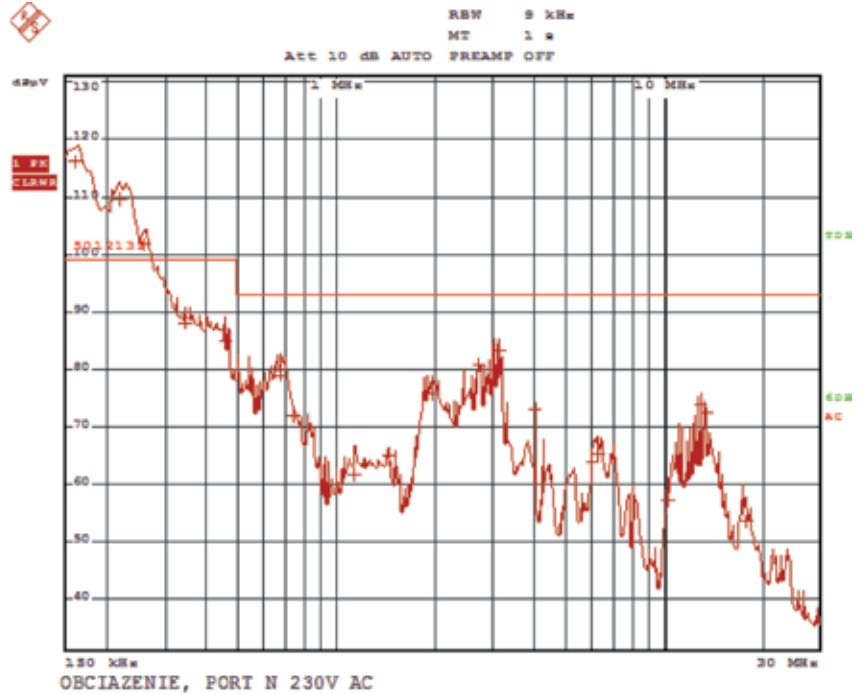
Na załączonych wykresach przebiegu charakterystyki poziomu zaburzeń przewodzonych w funkcji częstotliwości występują przekroczenia poziomu dopuszczalnego. Najwyższe przekroczenie zmierzono na porcie N-PE na częstotliwościach 154 kHz i 198 kHz. Wynoszą one odpowiednio 19 dB $\mu$ V i 10 dB $\mu$ V w stosunku do wartości dopuszczalnej. Stwierdzono również przekroczenia dopuszczalnego poziomu dla portu L-PE na częstotliwości 158 kHz o wartości 5 dB $\mu$ V w stosunku do wartości dopuszczalnej.

W obu przedstawionych przypadkach występujące przekroczenia wartości dopuszczalnej odnoszą się do pasma częstotliwości od 150 kHz do 250 kHz.

### Metody redukcji zaburzeń radioelektrycznych w sieci zasilającej

W przypadku stwierdzenia, że dane urządzenie dołączone do pokładowej energetycznej sieci zasilania przekracza dopuszczalny poziom emisji zaburzeń radioelektrycznych, należy zastosować środki służące do redukcji tego poziomu.

Podstawowymi środkami służącymi do obniżenia podwyższonego poziomu zaburzeń radioelektrycznych i instalowanym wprost przy źródle są filtry przeciwzakłóceńowe o wybranych parametrach oraz pojedyncze elementy L i C spełniające niezbędne wymagania. Również powszechnie stosowanym dodatkowym sposobem jest ekranowanie poszczególnych bloków urządzenia oraz ekranowanie poszczególnych obwodów w celu znacznego ograniczenia możliwości powstania niepożądanych sprzężeń indukcyjnych lub pojemnościowych w samym urządzeniu.



**Rys. 3.** Przebieg charakterystyki napięcia zaburzeń radioelektrycznych w funkcji częstotliwości w paśmie 0,15 ÷ 30 MHz w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia

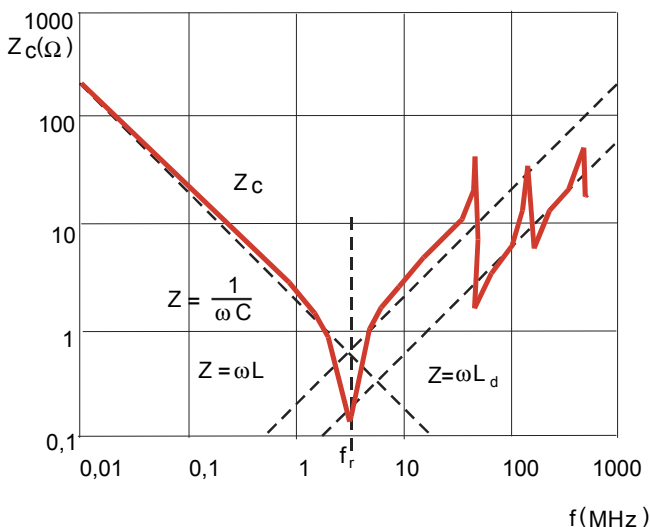
Źródło: oprac. własne.

Prawidłowy dobór elementów L i C musi być poprzedzony znajomością zakresu tłumionych częstotliwości oraz parametrów obwodu. Wynika to z faktu, że każdy z instalowanych elementów L i C może – wraz z elementami urządzenia – mieć własną częstotliwość rezonansową, ograniczającą zakres jego zastosowania w danym urządzeniu. Im wyższy zakres częstotliwości podlegających tłumieniu, tym trudniejszy jest dobór elementu. Dotyczy to zarówno kondensatorów, jak i dławików.

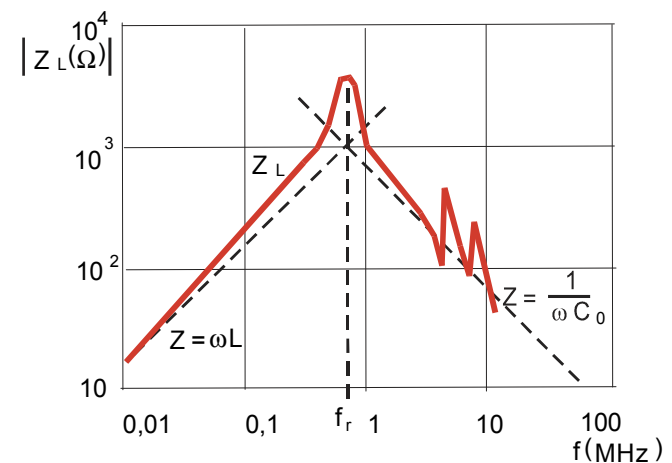
**Tab. 2.** Parametry zastosowanego filtra

Typ	Prąd	Cx [μF]	L [mH]	R [kΩ]
CNW 102/20	20	0,94	2,0	560

Źródło: oprac. własne.



**Rys. 4.** Charakterystyka impedancji kondensatora w funkcji częstotliwości  
Źródło: oprac. własne.



**Rys. 5.** Charakterystyka impedancji dławika w funkcji częstotliwości  
Źródło: oprac. własne.





znacznie większa oraz można zastosować środki skuteczniejsze i tańsze. Ma to duże znaczenie szczególnie przy produkcji małoseryjnej.

### Zastosowane środki zaradcze

W celu obniżenia poziomu napięcia zaburzeń radioelektrycznych generowanych przez przetwornicę postanowiono zastosować filtr przeciwzakłóceńowy, którego schemat elektryczny pokazany jest na rys. 6. Tabela 2 zawiera podstawowe wartości parametrów zastosowanych elementów filtru. Charakterystyka przebiegu tłumienności filtru w funkcji częstotliwości pokazana jest na rys. 7.

W celu eliminacji najwyższego poziomu generowanych zaburzeń radioelektrycznych zastosowano filtr o parametrach zawartych w tab. 2 oraz charakterystyce tłumienności w funkcji częstotliwości, pokazanych na rys. 7.

Zastosowanie wspomnianego filtru pozwoliło na eliminację zaburzeń radioelektrycznych, generowanych w pokładowej sieci zasilającej 230 V AC do poziomów już zgodnych z zaleceniami normy [2] i pokazanych na rys. 8 i 9.

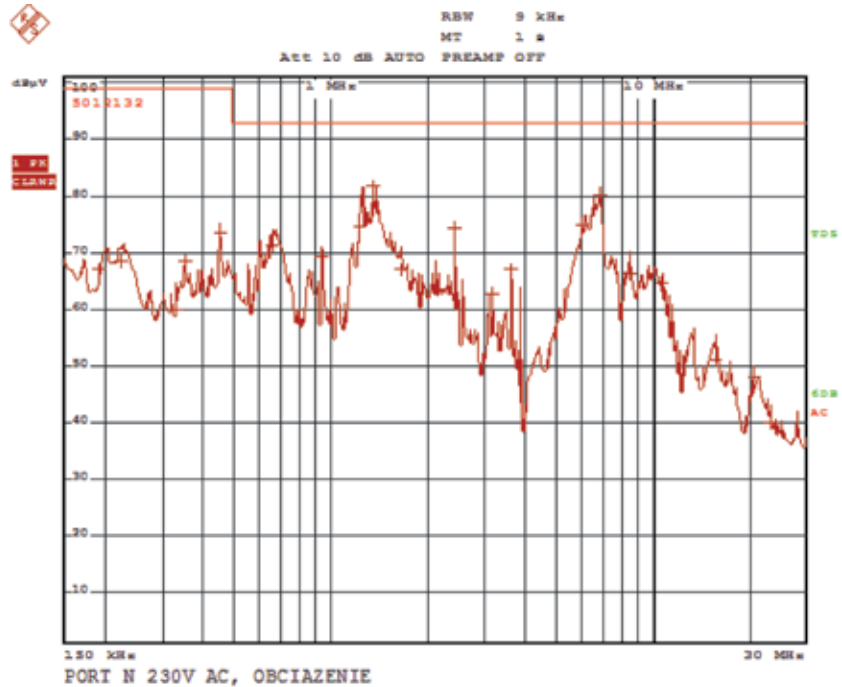
### Podsumowanie

Obniżenie nadmiernego poziomu zaburzeń radioelektrycznych jest procesem złożonym, wymagającym najczęściej indywidualnych rozwiązań polegających niekiedy na doborze w sposób doświadczalny zastosowanych elementów. W przedstawionym przypadku zastosowano filtr o określonej charakterystyce tłumienności w funkcji częstotliwości i znanej impedancji wejściowej, dopasowanej do impedancji źródła.

Z przebiegu charakterystyki impedancji filtru w funkcji częstotliwości (pokazanej na rys. 7) oraz przebiegu charakterystyki napięcia zaburzeń radioelektrycznych w funkcji częstotliwości (pokazanej na rys. 8 i 9) wynika, że uzyskano znaczące obniżenie poziomu zaburzeń nie tylko do wartości dopuszczalnej, ale znacznie poniżej. Zastosowany filtr typu CNW 102/20 MED pozwolił na obniżenie wartości zaburzeń dla portu L 230V AC o około 35 dB $\mu$ V, natomiast dla portu N 230V AC o około 48 dB $\mu$ V.

### Bibliografia:

1. Karta katalogowa filtru typu CNW 102/20 (single-phase mains filters 2-lines) firmy REO Inductive Components, 02.09.2013 r.
2. PN-EN 50121-3-2:2009 *Zastosowania kolejowe. Kompatybilność elektromagnetyczna*, cz. 3-2: Tabor. Aparatura.
3. PN-EN 50155:2007 *Zastosowania kolejowe. Wyposażenie elektroniczne stosowane w taborze*.
4. PN-EN 55011:2012 *Urządzenia przemysłowe, naukowe i medyczne. Charakterystyki zaburzeń o częstotliwości radiowej. Poziomy dopuszczalne i metody pomiaru*.
5. PN-EN 55016-1-1:2010/A1:2011 *Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia*, cz. 1-1: Aparatura do pomiaru zaburzeń radioelektrycznych i do badań odporności. Aparatura pomiarowa.
6. PN-EN 55016-1-1:2010 *Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia*, cz. 1-1: Aparatura do pomiaru za-



**Rys. 9.** Przebieg charakterystyki napięcia zaburzeń radioelektrycznych w funkcji częstotliwości w paśmie 0,15 ÷ 30 MHz w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia  
Źródło: oprac. własne.

burzeń radioelektrycznych i do badań odporności. Aparatura pomiarowa.

7. PN-EN 55016-4-2:2011 *Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia*, cz. 4-2: Niepewności, statystyka i modelowanie poziomu dopuszczalnego. Niepewność aparatury pomiarowej.
8. Sprawozdanie nr LA/43/12 z badań EMC elektromagnetycznych promieniowanych i przewodzonych, Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i telekomunikacji, październik 2012 r.
9. Sprawozdanie nr LA/43.1/12 z badań uzupełniających EMC elektromagnetycznych przewodzonych, Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i telekomunikacji, lipiec 2013 r.

### Autorzy:

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

### Methods of elimination disturbances conducted in the on-board low-voltage traction vehicles

The paper shows the main sources of radio disturbance occurring in the on-board power supply. Discusses the methodology of measurements and includes a examples of the results of normative measurements before installing a filter to eliminate excessive levels of disturbance and after installation. Presented in the paper the results show the effectiveness of the used filter and decrease the emission values disorders conducted by about 40 dB. The result so obtained by individual approach to problem-values overruns board approved levels in low-voltage network supply. Presents the problem of rolling stock testing on emissions conducted disturbances in the on-board low voltage power supply with respect to the maximum levels contained in the standards.