

DLUŻNIEWSKI Artur, JOHN Łukasz, LASKOWSKI Mieczysław

## **METODY ELIMINACJI EMISJI ZABURZEŃ RADIOELEKTRYCZNYCH PRZEWODZONYCH W POKŁADOWEJ SIECI ZASILAJĄCEJ NISKIEGO NAPIĘCIA**

### *Streszczenie*

*W referacie przedstawiono problematykę badań taboru kolejowego w zakresie emisji zaburzeń przewodzonych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia w odniesieniu do dopuszczalnych poziomów zawartych w normach. Ponadto przedstawiono główne źródła zaburzeń radioelektrycznych występujące w pokładowej sieci zasilającej. Omówiono metodykę pomiarów oraz zamieszczono przykładowe wyniki normatywnych pomiarów przed zainstalowaniem filtru eliminującego nadmierne poziomy zaburzeń jak i po instalacji.*

### **WSTĘP**

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 3kV DC nie powinny wprowadzać nadmiernych zaburzeń elektromagnetycznych, w tym również zaburzeń radioelektrycznych, do portów pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia a.c. i d.c., portów odnoszących się do baterii akumulatorów, portów pomiarowych i sterowania służących do zasilania urządzeń elektronicznych oraz portów komunikacji i sygnalizacji pojazdu.

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

Jednym z podstawowych sposobów ograniczenia wpływu źródeł zaburzeń zasilanych z obwodu głównego jest separacja obwodów wysokiego i niskiego napięcia, która jest obecnie realizowana w pojazdach nowszej generacji. Znaczne ograniczenie możliwości wystąpienia sprzężenia indukcyjnego pomiędzy obwodami zapewnia na ogół znaczne obniżenie poziomu zaburzeń pod warunkiem, że dołączone do obwodu niskiego napięcia nie wytwarzają zaburzeń radioelektrycznych przekraczających dopuszczalne poziomy. Jeżeli takie zjawisko wystąpi wtedy konieczne jest stosowanie filtrów, ekranowania lub dodatkowej separacji źródeł.

Przez zaburzenia radioelektryczne przewodzone rozumiemy wszelkie niepożądane sygnały elektryczne występujące w paśmie częstotliwości od 0,15 MHz do 30 MHz.

# 1. 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 mające za zadanie poprawienie komfortu podróży. Wszystkie one muszą być odporne na zaburzenia radioelektryczne generowane w pokładowej sieci zasilającej jak i 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 z przewodem jezdnym,
- silniki trakcyjne w starszych typach pojazdów,
- falowniki trakcyjne,
- styki styczników liniowych i grupowych.

W obwodach niskiego napięcia można wytypować urządzenia, które mogą się również stać potencjalnym źródłem zaburzeń radioelektrycznych i są to:

- przetwornica wytwarzająca niskie napięcie pokładowe,
- urządzenia elektryczne i elektroniczne zasilane niskim napięciem.

## 1.1. 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. Pomiar normatywny emisji zaburzeń przewodzonych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia wykonywane są w trakcie postoju pojazdu zgodnie z metodyką zapisaną w normie [4].

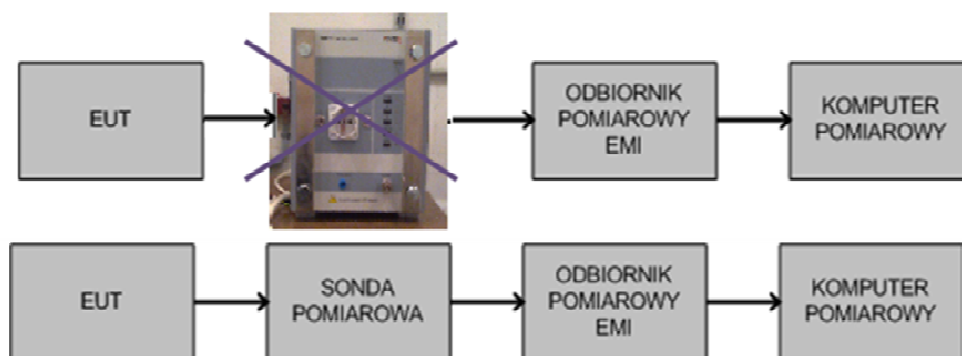
Zgodnie z zaleceniami wymienionej normy wykonuje się pomiary składowej niesymetrycznej napięcia zaburzeń radioelektrycznych w zakresie częstotliwości od 150 kHz do 30 MHz, z podziałem na dwa podzakresy częstotliwości:

- 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 zdefiniowane są w normie [5] i wynoszą: 24V DC, 48V DC, 110V DC oraz 230V AC.



Rys. 1. Schemat blokowy układu pomiarowego do pomiaru zakłóceń radioelektrycznych w pokładowej sieci niskiego napięcia

Do pomiaru zaburzeń przewodzonych wykorzystuje się wysokonapięciową sondę pomiarową, a nie jak w przypadku badania urządzeń sieć sztuczną, do której poprzez kabel koncentryczny podłączony jest odbiornik pomiarowy EMI, co ilustruje rysunek 1. Uzyskane wyniki są porównywane z wykonanymi wcześniej pomiarami poziomu zaburzeń postronnych (pomiar tła) występującymi w pokładowej sieci zasilającej niskiego napięcia przy odłączonym zasilaniu.

Odbiornik pomiarowy EMI wchodzący w skład wyposażenia pomiarowego musi spełniać wymagania normy [6].

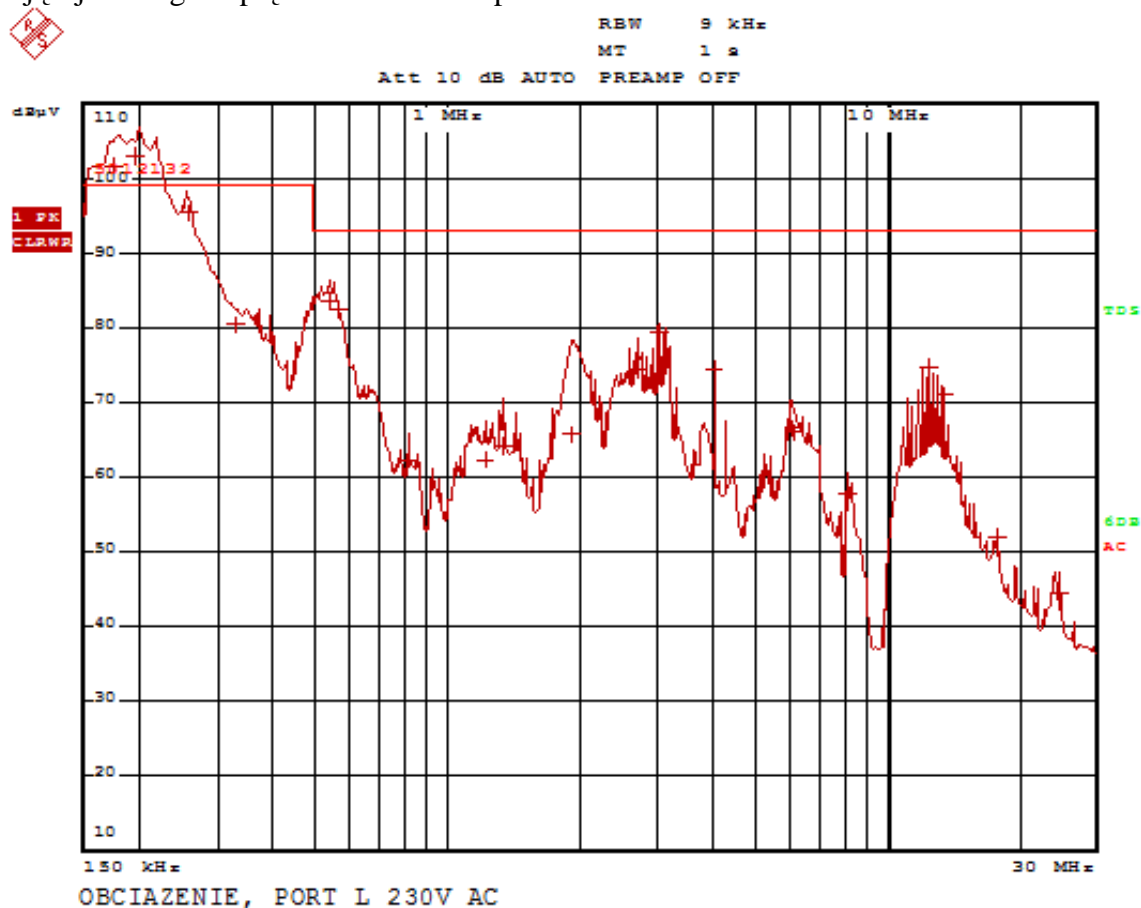
Dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń przewodzonych zawarte są w normie [3] i wynoszą:

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

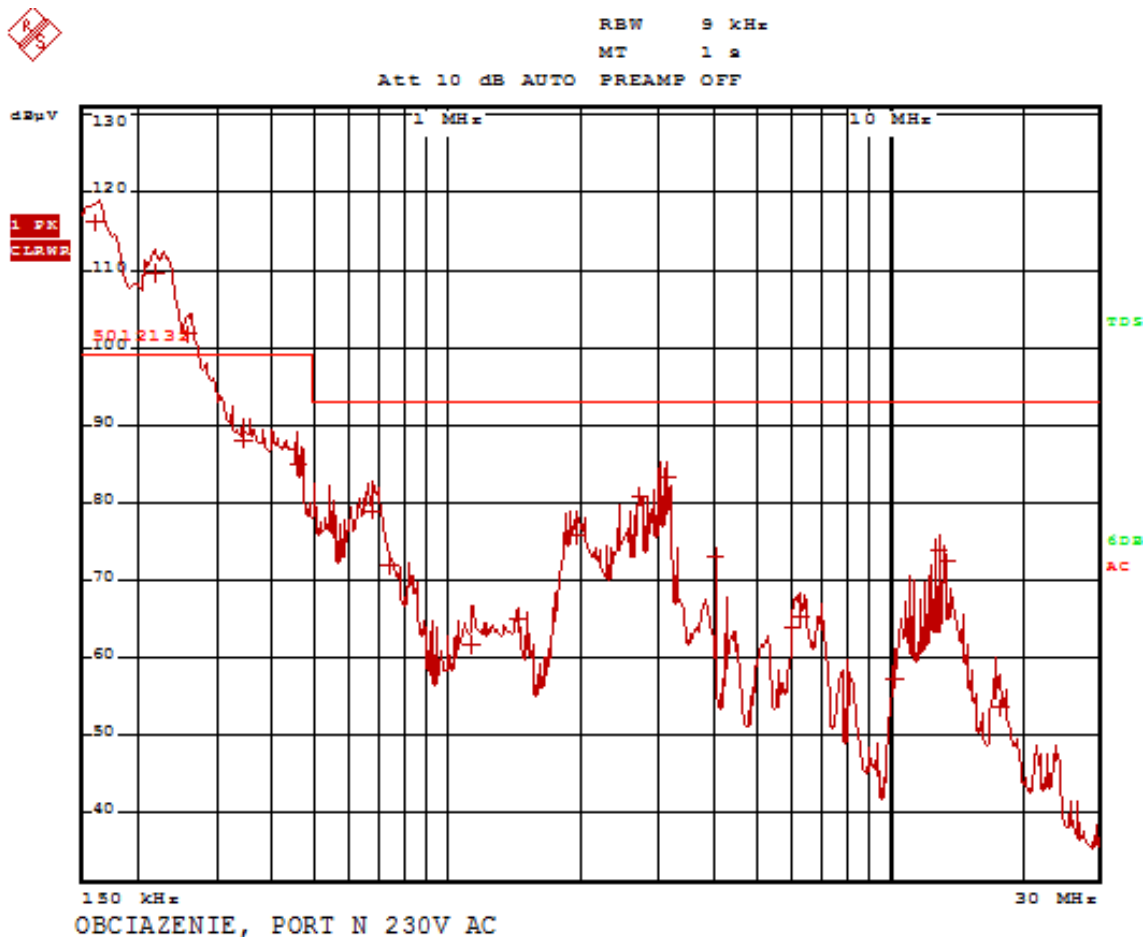
## 2. WYNIKI POMIARÓW

Badania emisji zaburzeń radioelektrycznych przewodzonych zostały przeprowadzone dla jednego ze zmodernizowanych elektrycznych pojazdów trakcyjnych. Modernizacja polegała na kompleksowej wymianie elementów sterowania oraz zasilania pojazdem, instalacji nowoczesnych systemów informacji pasażerskiej oraz instalacji systemu klimatyzacji.

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



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



OBCIAZENIE, PORT N 230V AC

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

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

W obu przedstawionych przypadkach zanotowano przekroczenia wartości dopuszczalnej w paśmie częstotliwości od 150 kHz do 250 kHz.

### 3. METODY REDUKCJI ZABURZEŃ RADIOELEKTRYCZNYCH W SIECI ZASILANIA

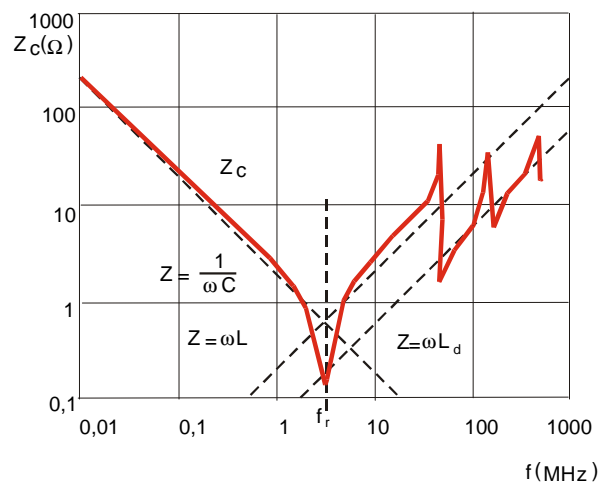
W przypadku stwierdzenia, że dane urządzenie dołączone do energetycznej sieci zasilania przekracza dopuszczalny poziom emisji zaburzeń radioelektrycznych należy zastosować środki służące do redukcji tego poziomu.

Podstawowymi środkami służącymi do obniżenia podwyższonego poziomu zaburzeń radioelektrycznych i instalowanymi wprost przy źródle są filtry przeciwzakłóceńowe o wybranych parametrach oraz pojedyncze elementy L i C. 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.

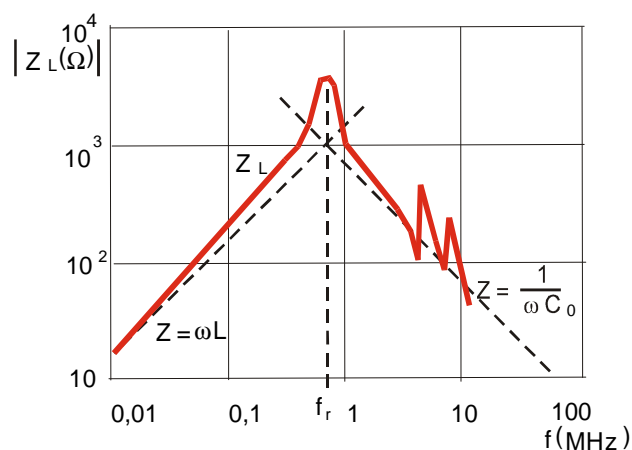
Prawidłowy dobór elementów L i C musi być poprzedzony znajomością zakresu tłumionych częstotliwości oraz parametrów obwodu. Wynika to z faktu, że każdy z instalowanych elementów L i C posiada własną częstotliwość rezonansową ograniczającą zakres jego zastosowania w danym urządzeniu. Im wyższy zakres częstotliwości podlegających tłumieniu, tym trudniejszy jest dobór elementu. Dotyczy to zarówno kondensatorów i dławików. Cechą charakteryzującą właściwości kondensatora w funkcji częstotliwości jest jego indukcyjność własna, która jak wynika z załączonej charakterystyki przebiegu jego impedancji w funkcji częstotliwości pokazanej na rysunku 4, obniża jego własną częstotliwość rezonansową, obniżając jednocześnie jego właściwości tłumiące zaburzenia radioelektryczne. Wśród dostępnych na rynku kondensatorów stosowanych do tłumienia zaburzeń radioelektrycznych bardzo korzystne parametry posiadają kondensatory przepustowe, których częstotliwości rezonansowa może wynosić powyżej 100 MHz. Stosowane praktycznie wartości pojemności nie wynoszą więcej niż kilka mikrofaradów ze względu na możliwość wystąpienia dopuszczalnego prądu upływu.

Analogiczna sytuacja występuje w przypadku dławików wielkiej częstotliwości. Stosowane do tłumienia zaburzeń radioelektrycznych dławiki posiadają indukcyjność nie przekraczającą na ogół kilkuset  $\mu\text{H}$ , jednak nie więcej niż kilka mH. Im wyższy zakres częstotliwości, tym mniejszą pojemność własną powinien posiadać dławik i tym trudniejsza technologia jego wykonania. Najczęściej stosowanymi dławikami są dławiki otwarte nawinięte na rdzeniu w kształcie walca dla niezbyt wysokich wartości prądu roboczego. W przypadku dużych wartości prądu roboczego stosowane są dławiki ślimakowe.

Przykładową charakterystykę impedancji dla dławika ilustruje rysunek 5.



Rys. 4. Charakterystyka impedancji kondensatora w funkcji częstotliwości



Rys. 5. Charakterystyka impedancji dławika w funkcji częstotliwości

Prawidłowy dobór elementów L i C również filtrów przeciwzakłóceń pod względem doboru do zakresu tłumionych częstotliwości oraz ich skuteczność w eliminacji zaburzeń zależy w dużym stopniu od znajomości parametrów obwodu, do którego są dołączane. W tabeli 1 przedstawione są kryteria, jakie należy stosować przy instalowaniu elementów L i C w wybranym obwodzie. Jak wynika z danych zawartych w tabeli 1 pożądana jest przynajmniej orientacyjna znajomość impedancji źródła zaburzeń. I tak tłumienie zaburzeń radioelektrycznych generowanych przez impulsowy zasilacz o stabilizowanym napięciu wyjściowym będzie skuteczne jeżeli zostanie zwiększona jego impedancja wyjściowa w zakresie wysokich częstotliwości poprzez dołączenia na jego wyjściu dławika o również określonych parametrach częstotliwościowych. Dlatego obniżanie poziomu zaburzeń radioelektrycznych na wyjściu gotowego już urządzenia przysparza na ogół wiele trudności.

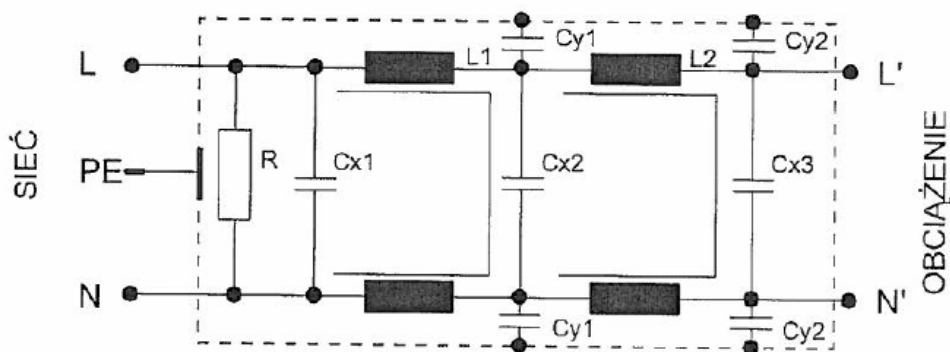
Problematyka ta powinna być rozwiązywana w fazie projektowania danego urządzenia lub w fazie modelu, ponieważ wtedy ilość środków dostępnych poza elementami L i C jest znacznie większa oraz można zastosować środki skuteczniejsze i tańsze. Ma to duże znaczenie przy produkcji nawet małoseryjnej.

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

Impedancja źródła zaburzeń	Topologia filtru	Impedancja zakłócanego urządzenia
Niska		Wysoka
Wysoka		Niska
Wysoka		Wysoka
Wysoka - Nieznana		Wysoka - Nieznana
Niska		Niska
Niska - Nieznana		Niska - Nieznana

#### 4. ZASTOSOWANE ŚRODKI ZARADCZE

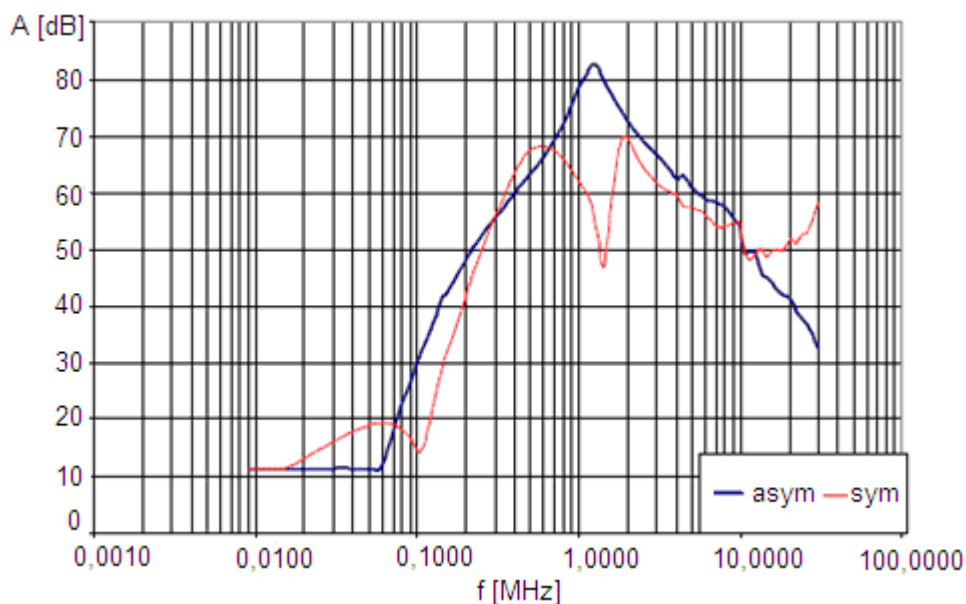
W celu obniżenia poziomu napięcia zaburzeń radioelektrycznych generowanych przez przetwornicę postanowiono zastosować filtr przeciwzakłóceńowy pokazany na rysunku 6. Tabela 2 zawiera podstawowe parametry wartości zastosowanych elementów filtru. Charakterystyka przebiegu tłumienności filtru w funkcji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



Rys. 6. Schemat ideowy filtra przeciwzakłócenieniowego typu CNW 102/20

Tab. 2 Parametry zastosowanego filtra

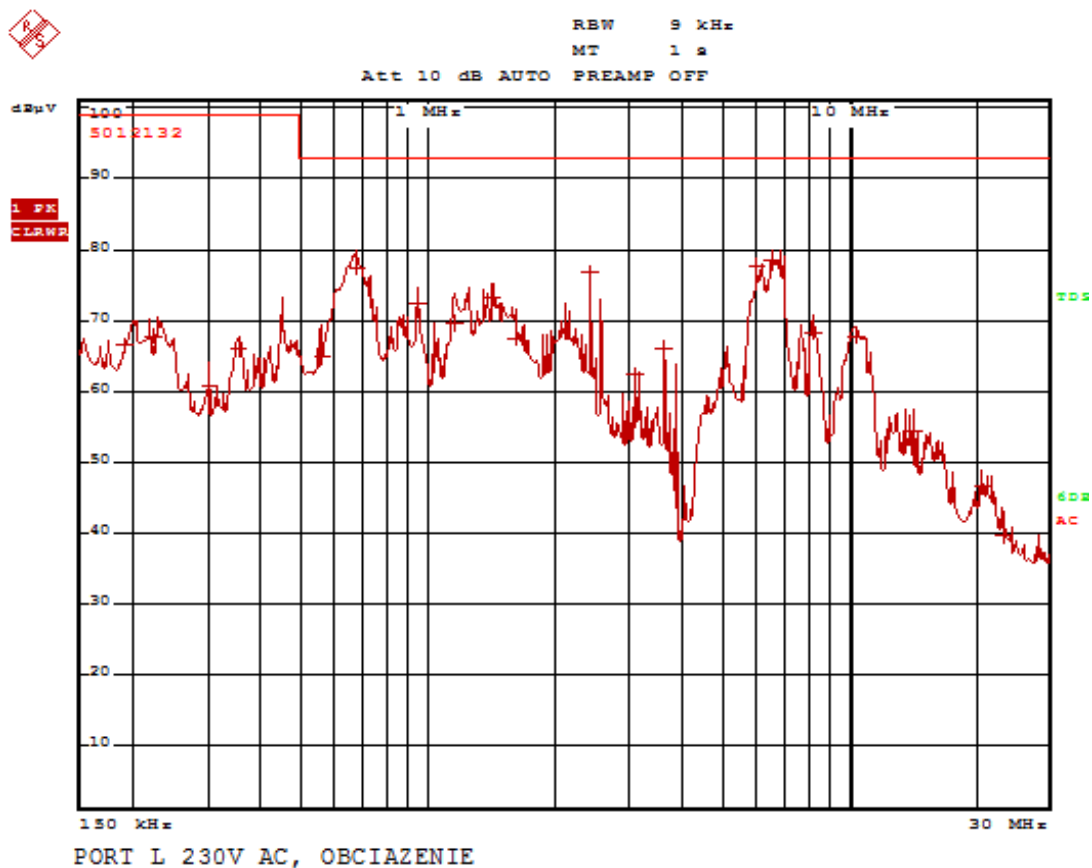
Typ	Prąd	Cx [ $\mu\text{F}$ ]	L [mH]	R [k $\Omega$ ]
CNW 102/20	20	0,94	2,0	560



Rys. 7. Przebieg charakterystyki tłumienia filtra typu CNW 102/20 w funkcji częstotliwości

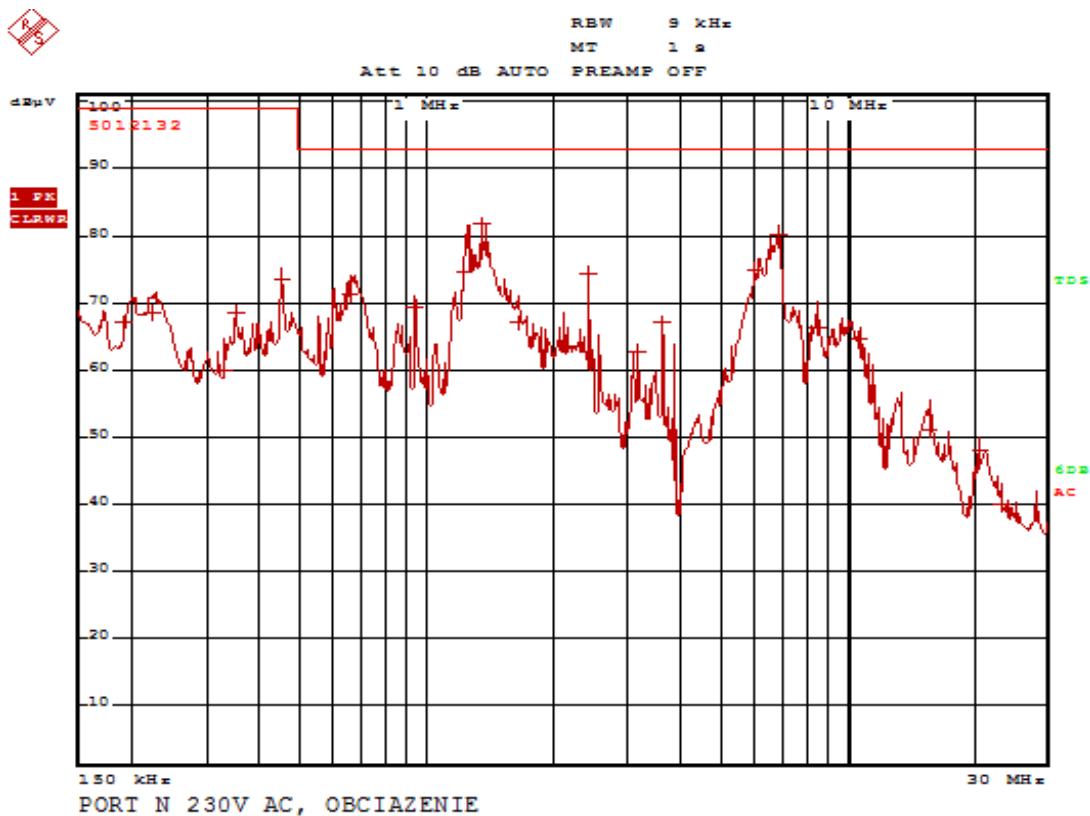
W celu eliminacji najwyższego poziomu generowanych zaburzeń radioelektrycznych zastosowano filtr o parametrach zawartych w tabeli 2 oraz charakterystyce tłumienia w funkcji częstotliwości pokazanych na rysunku 7.

Zastosowanie powyższego filtra pozwoliło na eliminację zaburzeń radioelektrycznych generowanych w pokładowej sieci zasilającej 230V AC do poziomów pokazanych na rysunkach 8 i 9.



PORT L 230V AC, OBCIAZENIE

Rys. 8. Przebieg charakterystyki napięcia zaburzeń radioelektrycznych w funkcji częstotliwości w paśmie 0,15 ÷ 30MHz w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia



PORT N 230V AC, OBCIAZENIE

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



## PODSUMOWANIE

W ogólnym przypadku obniżenie nadmiernego poziomu zaburzeń radioelektrycznych jest procesem złożonym wymagającym indywidualnych rozwiązań polegających niekiedy na doborze doświadczalnie zastosowanych elementów.

Postanowiono zastosować filtr o określonej charakterystyce tłumienności w funkcji częstotliwości i znanej jego impedancji wejściowej.

Z przedstawionych na rysunkach 8 i 9 wynika, że uzyskano znaczące obniżenie poziomu zaburzeń nie tylko do wartości dopuszczalnej ale znacznie poniżej po zastosowaniu filtru typu CNW 102/20 MED. Zastosowany filtr 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. Sprawozdanie nr LA/43/12 z badań EMC elektromagnetycznych promieniowanych i przewodzonych, Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i telekomunikacji, październik 2012 r.
2. Sprawozdanie nr LA/43.1/12 z badań uzupełniających EMC elektromagnetycznych przewodzonych, Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i telekomunikacji, lipiec 2013 r.
3. PN-EN 50121-3-2:2009 Zastosowania kolejowe -- Kompatybilność elektromagnetyczna - - Część 3-2: Tabor -- Aparatura
4. PN-EN 55011:2012 Urządzenia przemysłowe, naukowe i medyczne -- Charakterystyki zaburzeń o częstotliwości radiowej -- Poziomy dopuszczalne i metody pomiaru.
5. PN-EN 50155:2007 Zastosowania kolejowe -- Wyposażenie elektroniczne stosowane w taborze
6. PN-EN 55016-4-2:2011 Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia -- Część 4-2: Niepewność, statystyka i modelowanie poziomów dopuszczalnych -- Niepewność przyrządów pomiarowych,
7. Dłużniewski A., John Ł., Laskowski M., „Pomiar emisji zaburzeń przewodzonych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia elektrycznego zespołu trakcyjnego 16Wek (ED74)” XIII Krajowe Warsztaty Kompatybilności elektromagnetycznej Wrocław 2011,
8. Karta katalogowa filtru typu CNW 102/20 (single-phase mains filters 2-lines) firmy REO Inductive Components, 02.09.2013 r.

# METHODS OF ELIMINATION OF EMISSION RADIOELECTRIC DISTURBANCES CONDUCTED ON-BOARD LOW-VOLTAGE NETWORK

## *Abstract*

*The paper studies presents the problem matter of the research of railway rolling stock in conducted disturbances emission in deck net supply low voltage. This research refers to permissible levels included in the norms. Moreover the paper studies reveal major sources of radio disturbances in deck net supply. Discusses the measurement methodology and includes a examples of the results of normative measurements before installing a filter to eliminate excessive levels of disturbance and after installation.*

## **Autorzy:**

mgr inż. **Artur Dłużniewski** – Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji

mgr inż. **Łukasz John** – Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji

dr inż. **Mieczysław Laskowski** – Instytut Kolejnictwa, Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki