Artur DŁUŻNIEWSKI, Łukasz JOHN, Mieczysław LASKOWSKI

NOWELIZACJA PRZEPISÓW NORMALIZACYJNYCH DOTYCZĄCYCH BADAŃ TABORU KOLEJOWEGO W ZAKRESIE EMC

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodykę pomiarową emisji zaburzeń promieniowanych i przewodzonych w pokładowej sieci zasilającej niskiego napięcia taboru kolejowego na przykładzie obecnie obowiązujących wymagań normatywnych norm serii PN-EN 50121-x-x. Przedstawiono szczegółowo metodykę pomiarową, dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń promieniowanych na postoju i w trakcie jazdy pojazdu oraz emisji zaburzeń przewodzonych w pokładowej sieci zasilającej niskiego napięcia. Na koniec dokonano porównania obowiązujących wymagań normatywnych w tym zakresie z nowymi edycjami norm kolejowych, które mają zostać wprowadzone niebawem, ze względu na dość stare wydania obecnych dokumentów normalizacyjnych, w oparciu które należy badać tabor kolejowym pod kątem EMC celem spełnienia wymagań normatywnych.

WSTĘP

Przepisy normalizacyjne dotyczące badań taboru kolejowego w zakresie EMC podlegają modyfikacji, ponieważ sam tabor kolejowy i jego elektryczne oraz elektroniczne wyposażenie ulegają zmianom ze względu na wprowadzanie nowych rozwiązań. Przepisy normalizacyjne obowiązujące w tym zakresie w systemie normalizacyjnym UE opierają się o następujące rodzaje dokumentów:

1. Dyrektywy Rady Europy, publikowane w dzienniku urzędowym,
2. Dokumenty Harmonizujące HD *(Harmonization Dokument)*, przykładowo określające wprowadzenie dokumentu normalizacyjnego EN do zbioru norm krajowych lub wycofania norm niezgodnych z EN,
3. Normy CENELEC EN *(European Standard),* ENV *(European Prestandard)*, prEN *(projekt normy)*.

Pierwsze przepisy normalizacyjne obowiązujące w Polsce i dotyczące emisji zaburzeń radioelektrycznych generowanych przez tabor ruchomy zostały wprowadzone w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Zawierały one szczegółową metodykę pomiaru, dopuszczalne poziomy oraz zakres częstotliwości pomiarowych wynoszący od 150 kHz do 30 MHz.

Z chwilą przystąpienia Polski do UE zaczęły obowiązywać standardy europejskie dotyczące różnych systemów trakcji elektrycznej.

1. PRAWNE UWARUNKOWANIA DOTYCZĄCE ZAKRESU BADAŃ TABORU

Całkowity zakres certyfikacji taboru kolejowego jest wielowątkowy i jednym z etapów certyfikacji są badania kompatybilności elektromagnetycznej. Obowiązek ten wynika bezpośrednio z zapisów zawartych w dyrektywie Rady Europy 2004/108/WE dotyczącej kompatybilności elektromagnetycznej EMC [1]. Obejmuje ona urządzenia elektryczne i elektroniczne, systemy instalacji stacjonarnych i ruchomych znajdujących się na terenie kolejowym oraz urządzenia końcowe. Zatem obejmuje urządzenia, które mogą być źródłem zaburzeń elektromagnetycznych.

Badania kolejowego taboru szynowego w zakresie wymagań kompatybilności elektromagnetycznej muszą być wykonywane również zgodnie z obowiązującymi dokumentami normatywnymi, które są zharmonizowane z dyrektywą [1]. Normy zharmonizowane zawierają wymagania w zakresie niepożądanej emisji elektromagnetycznej oraz odporności na emisję pochodzenia naturalnego i emisję wywołaną przez postronne urządzenia. W przypadku emisji zaburzeń radioelektrycznych w normach zharmonizowanych zawarte są wymagania dotyczące zakresu częstotliwości pomiarowych, w którym należy wykonać badania, wartości dopuszczalnych poziomów emisji oraz metodykę wykonywania badań. Natomiast w zakresie odporności urządzeń na zewnętrzną emisję określono rodzaje występujących zaburzeń środowiskowych, dla których powinien być poddany tabor kolejowy, ostrość prób narażeń oraz metodę ich symulacji. Dla wymienionych obydwu przypadków zostały zdefiniowanie tryby pracy obiektu w czasie przeprowadzania badań certyfikacyjnych. Jednocześnie określono kryteria oceny zgodności służące za podstawę do analizy otrzymanych wyników z pomiarów.

Wymagania certyfikacji taboru kolejowego są zapisane również w Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności – Tabor (TSI Tabor). Biorąc pod uwagę złożoność interoperacyjnego systemu kolejowego powstały specyfikacje podzielone na dedykowane podsystemy. Został w nich opisany podsystem tabor. Ponadto w badaniach normatywnych tabor kolejowy w Polsce musi uzyskać zezwolenie na dopuszczenie do eksploatacji na terenie kolejowym. Jest ono wydawane na podstawie odpowiedniego rozporządzenia Ministra Infrastruktury przez Urząd Transportu Kolejowego.

Przeprowadzanie badań taboru kolejowego pod kątem spełniania wymagań w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej jest istotne przede wszystkim z powodu istnienia prawdopodobieństwa negatywnego oddziaływania na urządzenia sterowania ruchem kolejowym (srk), co może mieć wpływ na bezpieczeństwo tego ruchu, ale również na urządzenia i systemy użytku publicznego, których zabezpieczenie poprawnej pracy zapisane jest w normach przedmiotowych.

W pobliżu szlaków kolejowych coraz częściej znajdują się obiekty o charakterze publicznym, takie jak domy jednorodzinne, bloki mieszkalne oraz centra handlowe wyposażone różnorodnym sprzętem elektronicznym niezbędnym do ich funkcjonowania. Typowym przykładem dla takiego przypadku może tu być np. dworzec Berlin Hauptbahnhof lub hala główna dworca w Poznaniu wraz z kompleksem handlowo-usługowym znajdującym się w pobliżu samego dworca kolejowego.

Za podstawowy cel niniejszego artykułu autorzy uznali dokonanie porównania aktualnie obowiązujących wymagań normatywnych z znowelizowanymi edycjami norm kolejowych w tym zakresie,

których wprowadzanie planowane jest na bieżąco, ponieważ w starych wydaniach obowiązujących dokumentów normalizacyjnych, w oparciu które należy badać tabor kolejowy pod kątem kompatybilności elektromagnetycznej EMC nie są uwzględniane nowe modyfikacje.

2. OBOWIĄZUJĄCA METODYKA BADAŃ W ZAKRESIE EMISJI ZABURZEŃ PROMIENIOWANYCH

Badania dotyczące spełnienia wymagań w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej można rozważać w dwóch aspektach:

1. odporności - definiowanej jako zdolność pracy systemu, urządzenia bez pogorszenia jakości działania w miejscu, w którym występują zaburzenia elektromagnetyczne,
2. emisji - definiowanej jako oddziaływanie systemu lub urządzenia za pomocą wysyłanych fal elektromagnetycznych na inne systemy lub urządzenia, znajdujące się w pobliskim środowisku elektromagnetycznym.

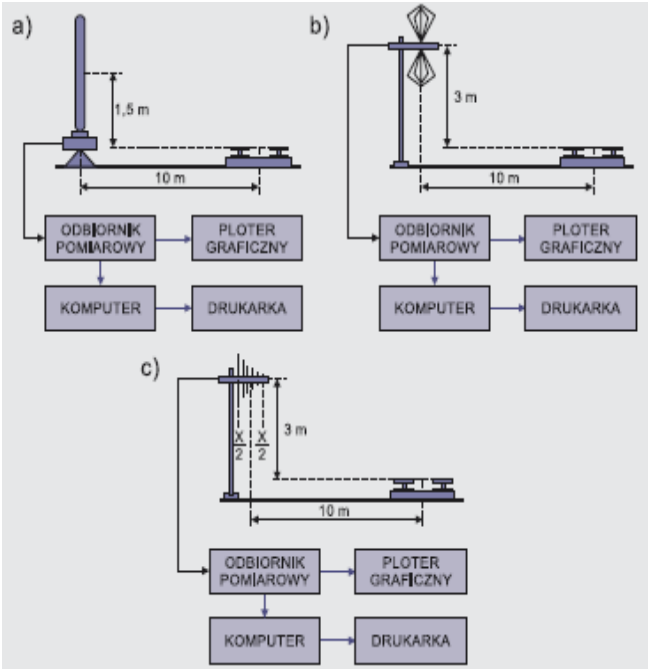
W zakresie badań dotyczących odporności taboru kolejowego na zaburzenia elektromagnetyczne w zapisach normatywnych nie jest zawarta konieczność przeprowadzania tego typu badań. Przyjęto bowiem założenia, że urządzenia zainstalowane w kompletnym pojeździe traktowanym jako całość mają zapewnioną wystarczającą odporność. Musi być w tym przypadku spełniony warunek, że został wdrożony i przygotowany kompleksowy plan dla spełnienia wymagań EMC z uwzględnieniem wartości granicznych zawartych w normie [3].

Natomiast problematyka badań emisji promieniowanej kolejowego taboru szynowego jest zawarta w następujących normach na podstawie ustalonej metodyki wymagań:

- **PN-EN 50121-1** Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 1: Postanowienia ogólne [2],
- **PN-EN 50121-2** Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 2: Oddziaływanie systemu kolejowego na otoczenie [3],
- **PN-EN 50121-3-1** Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 3-1: Tabor – Pociąg i kompletny pojazd [4].

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.

Zaburzenie promieniowane definiowane jest jako 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 wyłącznie jako pomiary natężenia pola w odległości 10 m od osi toru. Ze względu na znacząco szeroki zakres częstotliwości, pomiary zaburzeń promieniowanych emitowanych przez tabor kolejowy należy wykonywać przy pomocą 3 typów anten, co ilustruje rys. 1. Zalecenia zawarte w normie [3] dopuszczają wykonywanie pomiarów z użyciem 2 anten: ramowej i logarytmiczno-periodycznej.



Rys. 1. *Wymagane anteny do pomiaru emisji zaburzeń promieniowanych: a) antena ramowa, b) antena dwustożkowa, c) antena logarytmiczno-periodyczna.*

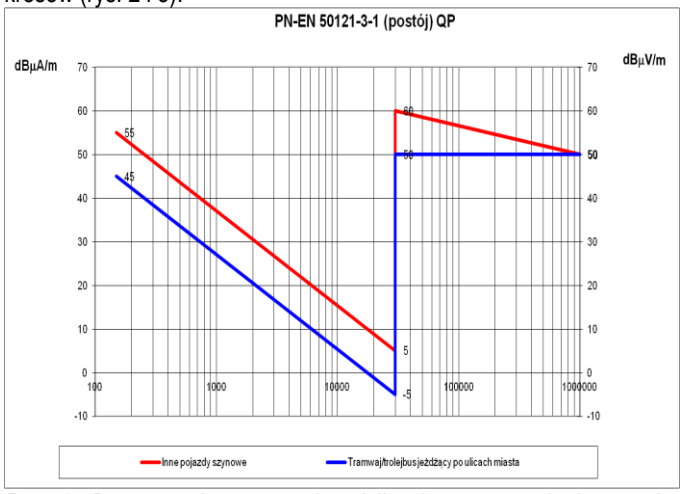
Pomiary emisji zaburzeń promieniowanych wykonuje się w paśmie 9 kHz ÷ 1 GHz z podziałem na dziewięć podzakresów, zgodnie z zapisami normy [4]:

- 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 i poziomej składowej elektrycznej natężenia pola przy zastosowaniu anteny dwustożkowej,
- 200 MHz ÷ 500 MHz – pomiar pionowej i poziomej składowej elektrycznej natężenia pola przy zastosowaniu anteny logarytmiczno-periodycznej,
- 500 MHz ÷ 1 GHz – pomiar pionowej i poziomej składowej elektrycznej natężenia pola przy zastosowaniu anteny logarytmiczno-periodycznej.

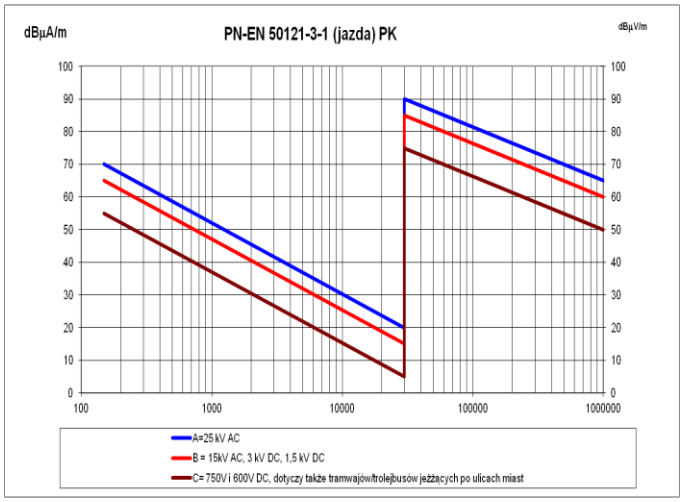
Anteny powinny być umieszczone w odległości 10 m od osi toru. Podczas pomiarów składowej magnetycznej w paśmie 9 kHz ÷ 30 MHz antena powinna być umieszczona na wysokości od 1 do 2 m, liczonej ponad poziom główki szyny, natomiast dla pasma 30 MHz ÷ 1 GHz powinna być umieszczona na wysokości 3 m.

Przed przystąpieniem do pomiarów badanego obiektu na każdym podzakresie częstotliwości należy sprawdzić, czy 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.

Dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń promieniowanych dla dwóch trybów badawczych są zawarte w normie [4] w postaci wykresów (rys. 2 i 3).



Rys. 2. *Dopuszczalne wartości emisji zaburzeń promieniowanych dla pojazdu na postoju.*



Rys. 3. *Dopuszczalne wartości emisji zaburzeń promieniowanych dla pojazdu w trakcie jazdy.*

3. OBOWIĄZUJĄCA METODYKA BADAŃ W ZAKRESIE EMISJI ZABURZEŃ PRZEWODZONYCH

Emisja zaburzeń przewodzonych definiowana jest jako zaburzenie elektromagnetyczne rozchodzące się wzdłuż przewodów elektrycznych lub linii transmisji sygnałów. Pomiary normatywne emisji zaburzeń przewodzonych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia wykonywane są w warunkach postoju badanego pojazdu zgodnie z metodyką zawartą w normie [5].

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

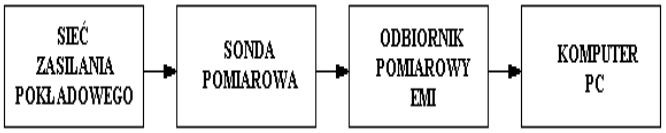
– 150 kHz – 500 kHz,
– 500 kHz – 30 MHz.

Pomiar emisji zaburzeń przewodzonych wykonywany jest na wszystkich portach pokładowej sieci zasilającej niskiego napięcia 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 [6] i wynoszą: 24V DC, 36V DC, 48V DC, 110V DC oraz 230V AC.

Do pomiaru poziomu zaburzeń przewodzonych wykorzystuje się wysokonapięciową sondę pomiarową, do której poprzez kabel koncentryczny podłączony jest odbiornik pomiarowy EMI, co ilustruje rysunek 4. Tak jak uprzednio przed każdym pomiarem należy ocenić poziom postronnych zaburzeń określonych jako tło w warunkach odłączenia zasilania. Uzyskane wyniki porównywane są z wykonanymi uprzednio pomiarami zaburzeń postronnych (tła) występującymi w pokładowej sieci zasilającej niskiego napięcia przy odłączonym zasilaniu.



Rys. 4. *Schemat blokowy układu pomiarowego do pomiaru zakłóceń radioelektrycznych w pokładowej sieci zasilającej niskiego napięcia.*

Całe wyposażenie pomiarowe wchodzące w skład toru pomiarowego musi spełniać wymagania normy [7]. Dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń przewodzonych zawarte są w normie [8] i wynoszą:

– dla pasma 150÷500 kHz – 99 dBµV,
– dla pasma 0,5÷30 MHz – 93 dBµV.

4. AKTUALNE WPROWADZANE ZMIANY NORMALIZACYJNE W NOWYCH EDYCJACH NORM KOLEJOWYCH W ZAKRESIE BADAŃ TABORU

We wrześniu 2014 roku CENELEC opublikował na etapie FINAL DRAFT projekty nowych wydań aktów normatywnych serii EN-50121-x-x, które mają zastąpić dotychczasowe już dość stare wydania obecnie aktualnych wymagań normatywnych w zakresie badań taboru kolejowego pod kątem kompatybilności elektromagnetycznej.

W zakresie najważniejszych zmian w wyżej wymienionych wcześniej normach wystąpiły następujące zmiany dotyczące samego poligonu pomiarowego oraz również metodyki pomiarowej. Zmiany dotyczą zakresu emisji zaburzeń promieniowanych oraz poligonu pomiarowego.

W zakresie wymagań dotyczących poligonu pomiarowego, na którym powinny być przeprowadzone badania taboru kolejowego proponowane zmiany zostały określone mało szczegółowo i precyzyjnie np. w przypadku odległości pomiarowych. Zdefiniowano szczegółowo następujące zagadnienia:

– brak podanej odległości od drzew, ścian, mostów, tuneli i innych pojazdów,
– brak odległości oddalenia od podstacji trakcyjnej, linii zasilających dużej mocy, czy kabli energetycznych,
– brak przeszkód pomiędzy badanym pojazdem a anteną pomiarową,
– punkt pomiarowy powinien znajdować się pomiędzy konstrukcją sieci jezdnej,
– pomiary zaburzeń postronnych (tła) powinny być wykonane przed i po serii pomiarów normatywnych, gdy wyłączony pojazd znajduje się przed anteną pomiarową,
– oddalenie od nieciągłości sieci trakcyjnej zmniejszono z 3 km do 200 m.

Kolejna zmiana wprowadzona tym razem w normie [2] i dotycząca emisji zaburzeń promieniowanych polega na zmniejszeniu

liczby podzakresów częstotliwości badań taboru kolejowe z 9 do 7. W ten sposób pomiary przeprowadzane są w zakresie częstotliwości od 150 kHz do 1 GHz, a nie jak poprzednio od 9 kHz. Dodatkowo pomimo wielu rozważań nie zdecydowano się rozszerzyć pasma pomiarowego do 3 GHz. Byłoby to zgodne z obecną tendencją w zakresie emisji promieniowanej oraz umożliwiłoby to weryfikację urządzeń pracujących w paśmie częstotliwości do 3GHz, które są już instalowane na pojazdach trakcyjnych. Ponadto w przypadku zastosowania anten pomiarowych (dwustożkowej i logarytmiczno-periodycznej) zmiana polega na zwiększeniu wysokości zawieszenia anteny.

Natomiast w przypadku pomiaru emisji zaburzeń przewodzonych w pokładowej sieci zasilającej niskiego napięcia nastąpiła dość radykalna zmiana odnosząca się do przyłączy zasilania prądu przemiennego. W przyłączu wyjściowym prądu przemiennego 230V AC dla urządzeń publicznych podłączanych do nich pojawiło się nowe kryterium oceny według normy [10]. Zdefiniowane zostały metody pomiaru i interpretacja uzyskiwanych wyników pomiaru jakości energii w sieciach zasilających prądu przemiennego o częstotliwości 50/60 Hz (współczynnik interharmonicznych THD). Metody pomiaru są opisane dla każdego istotnego wymienionego parametru w warunkach, które dają wiarygodne i powtarzalne wyniki niezależnie od stosowanych metod. Standard ten dotyczy metod pomiarowych w warunkach *in situ*.

BIBLIOGRAFIA

1. Directive 2004/108/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility and repealing Directive 89/336/EEC.
2. PN-EN 50121-1, *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 1: Postanowienia ogólne*, PKN, Warszawa 2010 r.
3. PN-EN 50121-2, *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna Część 2: Oddziaływanie systemu kolejowego na otoczenie*, PKN, Warszawa 2010 r.
4. PN-EN 50121-3-1, *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 3-1: Tabor – pociąg i kompletny pojazd*, PKN, Warszawa 2010 r.
5. PN-EN 55011, *Przemysłowe, naukowe i medyczne urządzenia o częstotliwości radiowej -- Charakterystyka zaburzeń elektromagnetycznych – Dopuszczalne poziomy i metody pomiarów*, PKN, Warszawa 2012 r.
6. PN-EN 50155, *Zastosowania kolejowe -- Kompatybilność elektromagnetyczna – Wyposażenie elektroniczne stosowane w taborze,* PKN, Warszawa 2007 r.
7. PN-EN 55016-1-1, *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),* PKN, Warszawa 2010 r.
8. PN-EN 50121-3-2, *Zastosowania kolejowe -- Kompatybilność elektromagnetyczna -- Część 3-2: Tabor –Aparatura,* PKN, Warszawa 2009 r.
9. PN-EN 55016-4-2, *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,* PKN, Warszawa 2011 r.
10. PN-EN 61000-4-30, *Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 4-30: Metody badań i pomiarów – metody pomiaru jakości energii*, PKN, Warszawa 2014 r.
11. 11. PN-T-01030, *Kompatybilność elektromagnetyczna – Terminologia,* PKN, Warszawa 1996 r.
12. 12. Słownictwo z dziedziny kompatybilności elektromagnetycznej, Normalizacyjna Komisja Problemowa nr 104 ds. Kompatybilności Elektromagnetycznej przy PKN, Warszawa-Wrocław 2000.

THE AMENDMENT OF THE STANDARIZATION RULES CONCERNING TESTING OF ROLLING STOCK IN TERMS OF EMC

Abstract

The paper presents the methodology of measurement radiation and conducting disturbance emission in on-board rolling stock power low voltage network in reference to current obligatory normative standard requirements PN-EN 50121-x-x. The article presents in detail the methodology of measurement, methodology of permissible levels of radiation emission disturbance during stand and during vehicle ride and the levels of conducted disturbance emission in on-board low voltage power network. In conclusion paper presents comparison of obligatory, normative standard requirements in this range and along with new edition of rail standards, which will be deploy soon, due to the old editions of current standards documents based on rolling stock should be tested in terms of EMC in order to fulfill normative requirements.

Autorzy:
mgr inż. **Artur Dłużniewski** – Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji, 04-275 Warszawa; ul. J. Chłopickiego 50; Tel. (22) 47-31-399; Fax. (22) 47-31-036; e-mail: adluzniewski@ikolej.pl
mgr inż. **Łukasz John** – Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji, 04-275 Warszawa; ul. J. Chłopickiego 50; Tel. (22) 47-31-421; Fax. (22) 47-31-036; e-mail: ljohn@ikolej.pl
dr inż. **Mieczysław Laskowski** – Instytut Kolejnictwa, Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki, 04-275 Warszawa; ul. J. Chłopickiego 50; Tel. (22) 47-31-358; Fax. (22) 47-31-036; e-mail: mlaskowski@ikolej.pl