

BADANIE EMISJI ZABURZEŃ PROMIENIOWANYCH POJAZDÓW SZYNOWYCH W TRAKCJI WIELOKROTNEJ

W artykule omówiony został pomiar emisji zaburzeń elektromagnetycznych promieniowanych generowanych przez podmiejskie elektryczne zespoły trakcyjne w trakcji wielokrotnej. Przedstawiono metodykę pomiarową, dopuszczalne wartości natężenia pola magnetycznego i elektrycznego wg normy PN-EN 50121-3-1 w trakcie jazdy i podczas postoju elektrycznych zespołów trakcyjnych. W artykule zaprezentowano przykładowe wyniki badań oraz przeprowadzono ocenę otrzymanych wyników pomiarów według obowiązujących unormowań.

WSTĘP

Na obszarze kolejowym istnieją zamierzone i niezamierzone (stacjonarne i niestacjonarne) źródła promieniowania elektromagnetycznego, które mogą zakłócać pracę systemów oraz urządzeń elektrycznych i elektronicznych. W kolejowym środowisku elektromagnetycznym wyróżniamy następujące źródła zakłóceń elektromagnetycznych:

- stacjonarne - pochodzące od sieci trakcyjnej, sieci elektroenergetycznej zasilającej podstacje trakcyjne oraz linii zasilającej systemy sterowania ruchem kolejowym (srk),
- ruchome - zakłócenia generowane przez pojazdy trakcyjne (elektryczne zespoły trakcyjne, lokomotywy elektryczne, spalinowe).

Nowoczesne pojazdy szynowe wyposażone są w urządzenia, systemy elektryczne i elektroniczne które mogą stanowić potencjalne źródło zakłóceń tj. falowniki trakcyjne, przetwornice statyczne, silniki asynchroniczne, systemy: klimatyzacji, informacji pasażerskiej, bezpieczeństwa (Europejski System Sterowania Pociągiem ETCS), samoczynne hamowanie pociągu SHP, czuwak aktywny, radiotelefon, itp. W obecnych czasach wymaga się od urządzeń i systemów stosowanych na pojazdach szynowych miniaturyzacji, ograniczonego poboru energii elektrycznej oraz dużej niezawodności działania [1,2,3]. Wprowadzenie tych ograniczeń konstrukcyjnych wiąże się ze wzrostem prawdopodobieństwa poziomu zakłóceń generowanych przez pojazdy trakcyjne. Dlatego takim ważnym problemem jest ciągła analiza stanu środowiska elektromagnetycznego w aspekcie natężenia pola magnetycznego i elektrycznego generowanego przez pojazdy szynowe poruszające się po szlaku kolejowym (diagnostyka środowiska elektromagnetycznego).

1. POMIAR EMISJI ZABURZEŃ PROMIENIOWANYCH POJAZDÓW SZYNOWYCH PODMIEJSKICH W TRAKCJI WIELOKROTNEGO ROZDZIAŁU

1.1. Trakcja wielokrotna elektrycznych zespołów trakcyjnych

Trakcją wielokrotną nazywamy połączenie minimum dwóch pojazdów szynowych w ramach jednego składu pociągu za pomocą sprzęgu mechanicznego oraz pneumatycznego (rys.1).



Rys 1. Dwuczłonowe elektryczne zespoły trakcyjne w trakcji wielokrotnej.

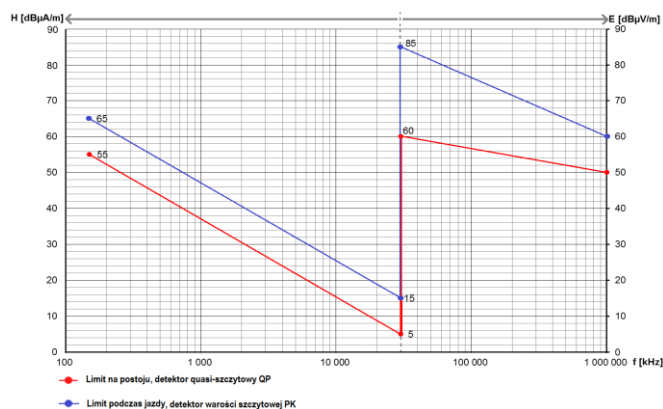
Sterowanie pojazdami odbywa się z jednego aktywnego pulpitu sterującego znajdującego się w kabinie maszynisty pojazdu prowadzącego. W trakcji wielokrotnej każdy pojazd musi mieć aktywny co najmniej jeden pantograf.

Metodyka pomiaru

Badania kompatybilności elektromagnetycznej emisji zaburzeń promieniowanych przeprowadzane są zgodnie z normą PN-EN 50121-3-1 [4] w paśmie częstotliwości 150 kHz÷ 1 GHz z podziałem na dwa podzakresy:

- pomiar składowej magnetycznej natężenia pola (150 kHz ÷ 30 MHz)
- pomiar składowej elektrycznej natężenia pola (30 MHz ÷ 1 GHz).

Do pomiar składowej magnetycznej natężenia pola stosuje się antenę ramową (pętlową), natomiast do pomiar składowej elektrycznej antenę dwustożkową i antenę logarytmiczno- periodyczną. Na rysunku 2 przedstawiono dopuszczalne wartości natężenia pola magnetycznego i elektrycznego dla pojazdów podmiejskich zasilanych napięciem 3kV DC [4].



Rys. 2. Wartości dopuszczalne zaburzeń promieniowanych dla pojazdów podmiejskich zasilanych napięciem 3kV DC

Pomiary natężenia pola elektromagnetycznego przeprowadza się na Okręgu Doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie, na szlaku kolejowym lub torze postojowym, gdzie brak drzew, podstacji, transformatorów i urządzeń sterowania ruchem kolejowym (srk) w promieniu minimum 30m (zakłócenie – zniekształcenie pola pierwotnego, oddziaływanie środowiska – obiektów biologicznych, przeszkód budowlanych na warunki pomiaru). Inne pojazdy trakcyjne nie powinny znajdować się na tej samej sekcji zasilania w odległości co najmniej 1km od badanych elektrycznych zespołów trakcyjnych.

Przed przystąpieniem do badań zaburzeń promieniowanych generowanych przez pojazdy szynowe w trakcji wielokrotnej należy zmierzyć tło środowiska pola elektromagnetycznego w zakresach częstotliwości podanych w tabeli 1.

Tab. 1. Wytyczne dotyczące pojazdów w trakcji wielokrotnej [4]

Podzakres [Hz]	Szerokość pasma [kHz]	Czas przemieszczenia [ms]
150 k ÷ 1,15M	9 lub 10	37
1 M ÷ 11 M	9 lub 10	370
10 M ÷ 20 M	9 lub 10	370
20 M ÷ 30 M	9 lub 10	370
30 M ÷ 230 M	100 lub 120	42
200 M ÷ 500 M	100 lub 120	63
500 M ÷ 1 G	100 lub 120	100

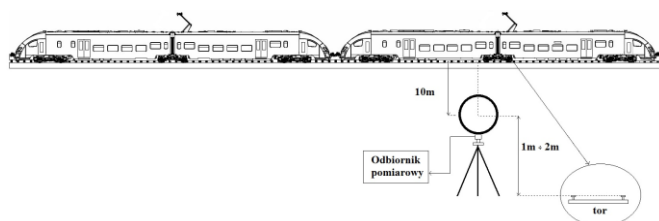
Poziom zaburzeń postronnych – wytwarzanych przez inne źródła pola elektromagnetycznego powinien być niższy o co najmniej 6 dB od dopuszczalnych poziomów (rys. 2.). Jeśli tło przekracza poziom -6 dB dla danego pasma częstotliwości, podczas oceny wyników należy nie brać tego zakresu pod uwagę.

Pojazdy szynowe podmiejskie (dalekobieżne) w trakcji wielokrotnej badane są w dwóch trybach pracy: podczas postoju i w trakcie jazdy z prędkością (50 ± 10) km/h. W tym czasie załączone są wszystkie systemy (system klimatyzacji, Europejski System Sterowania Pociągiem ETCS, system informacji pasażera, itp.), oświetlenia wewnętrzne i zewnętrzne znajdujące się na pojazdach. W przypadku badania podczas postoju punkt pomiarowy należy ustalić korzystając z odbiornika pomiarowego i anten. Pojazdy powinny poruszać się z prędkością około 10 km/h naprzeciwko anten, w celu odczytania na odbiorniku wartości natężenia pola. Po próbnym przejeździe pojazdy ustawiane są w miejscu największego poziomu zaburzeń promieniowanych generowanych przez badany obiekt. Pomiar wykonuje się detektorem quasi-szczytowym [4,6,8,9].

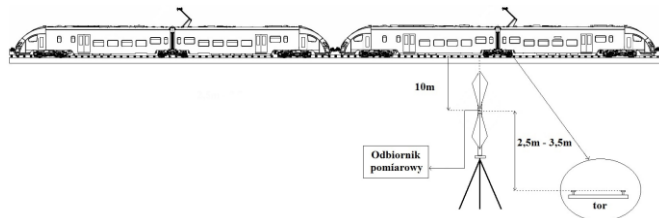
W przypadku badania w trakcie jazdy na przeciwko stanowiska pomiarowego, pojazd powinien przyspieszać lub zwalniać wykorzystując 1/3 maksymalnej siły pociągowej w danym zakresie prędkości. Pomiar wykonuje się detektorem quasi-szczytowym. Anteny pomiarowe dla w/w trybów pracy ustawione są w odległości 10 m od osi toru oraz umieszczone są na różnych wysokościach w zależności od typu zastosowanej anteny:

- ramowa – 1 m ÷ 2 m nad główką szyny,
- dwustożkowa oraz logarytmiczno- periodyczna- 2,5 m ÷ 3,5 m nad główką szyny.

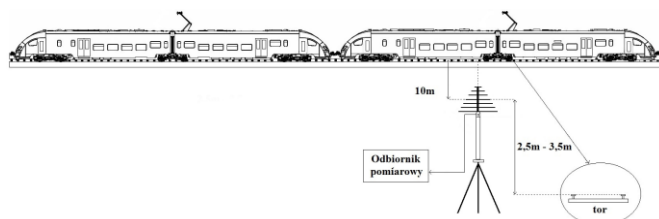
Wysokość anteny dobiera się tak, aby otrzymać maksymalny poziom emitowanych zaburzeń pola elektromagnetycznego. Pomiary należy wykonać dla polaryzacji anteny pionowej i poziomej. Po wykonaniu badań na postoju oraz w trakcie jazdy należy ponownie zmierzyć poziom zaburzeń postronnych środowiska elektromagnetycznego - TŁO. Przykładowe stanowiska pomiarowe przedstawiono na rysunkach 3, 4 i 5.



Rys. 3. Pomiar emisji zaburzeń promieniowanych w paśmie częstotliwości 150 kHz ÷ 30 MHz z wykorzystaniem anteny ramowej



Rys. 4. Pomiar emisji zaburzeń promieniowanych w paśmie częstotliwości 30 ÷ 230 MHz z wykorzystaniem anteny dwustożkowej



Rys. 5. Pomiar emisji zaburzeń promieniowanych w paśmie częstotliwości 230 MHz ÷ 1 GHz z wykorzystaniem anteny logarytmiczno-periodycznej

Wyniki pomiarów emisji zaburzeń promieniowanych

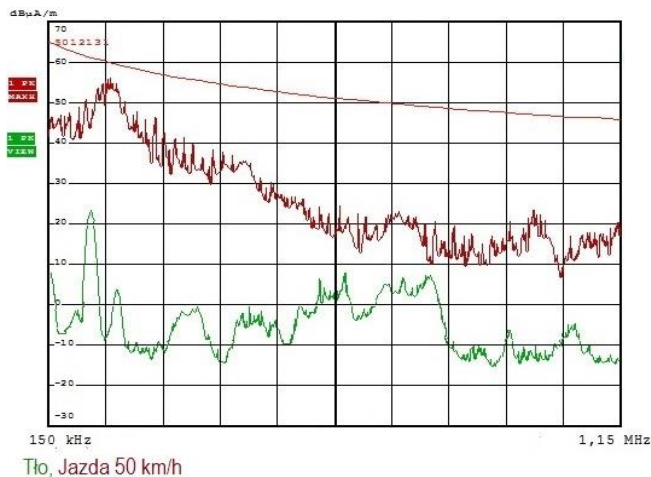
Badania wykonano na Okręgu Doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa dla dwóch elektrycznych zespołów trakcyjnych w trakcji wielokrotnej. Pojazdy zasilane były napięciem 3kV DC. W czasie badań na pojazdach załączone były wszystkie systemy elektryczne, elektroniczne i elektrotechniczne, które są wykorzystywane podczas normalnej eksploatacji (pobierają określony prąd obciążenia i wytwarzają zakłócenia przewodzone lub promieniowane). Zasilanie układów pomocniczych było realizowane za pomocą przetwornic statycznych. Pomiary zostały wykonane przy użyciu odbiornika oraz trzech anten pomiarowych [5]: ramowej, dwustożkowej i logarytmiczno - periodycznej dla dwóch trybów pracy: postój oraz jazda. Testy z wykorzystaniem anteny dwustożkowej i logarytmiczno-periodycznej wykonano dla obu polaryzacji anteny: pionowej oraz poziomej. W czasie badania na postoju stanowisko pomiarowe (anteny pomiarowe) znajdowało się naprzeciwko przetwornicy statycznej oraz falownika drugiego pojazdu. W przypadku badania w trakcie jazdy pojazdy poruszały się z prędkością 50 km/h z wykorzystując 1/3 maksymalnej siły pociągowej w danym zakresie prędkości [6,7].

Na rysunku 6 przedstawiono antenę dwustożkową z masztem podczas pomiaru emisji zaburzeń postronnych środowiska elektromagnetycznego (tzw. TŁO – określane także w literaturze dotyczącej kompatybilności elektromagnetycznej elektrosmogiem). Tło w czasie badań zostało zmierzone przed i po przeprowadzonych pomiarach.

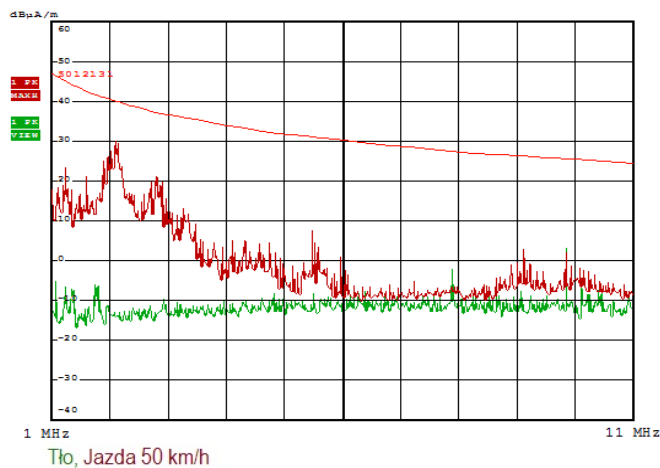


Rys.6. Antena dwustożkowa z masztem podczas pomiar emisji zaburzeń postronnych środowiska elektromagnetycznego (Tlo)

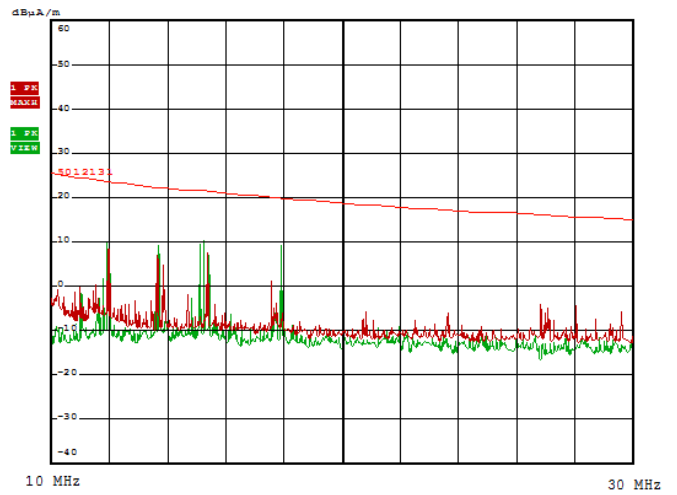
Na rysunkach od 7 do 15 przedstawiono przykładowe wyniki emisji zaburzeń elektromagnetycznych promieniowanych generowanych przez pojazdy szynowe w trakcji wielokrotnej w pasmach częstotliwości zdefiniowanych w normie PN-EN 50121-3-1 [4].



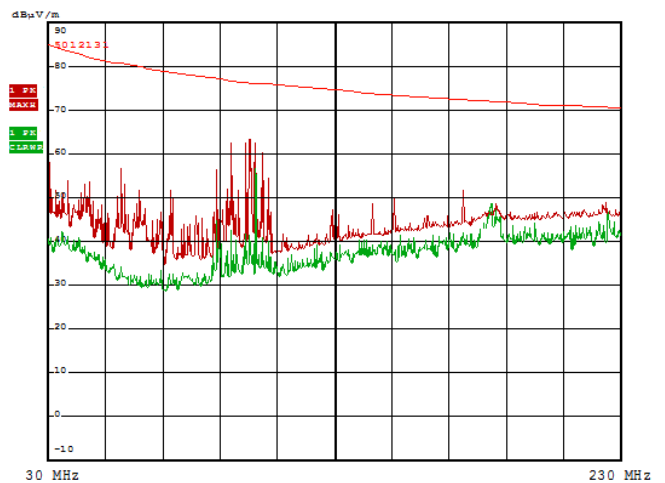
Tlo, Jazda 50 km/h
Rys. 7. Wartość emisji zaburzeń magnetycznych w trakcie jazdy, pasmo 150 kHz – 1,15 MHz



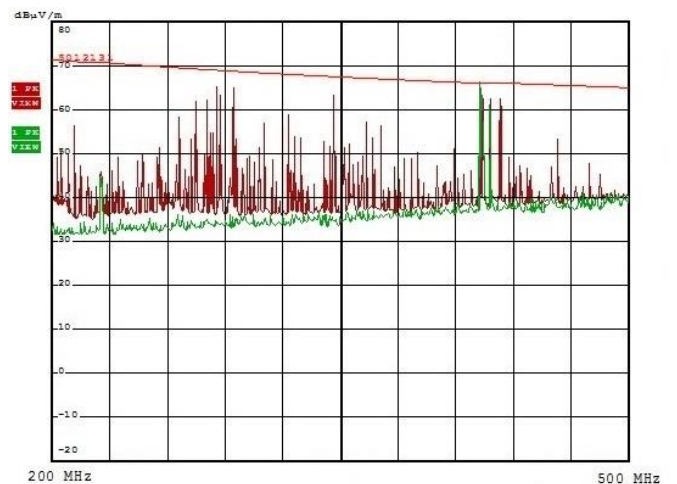
Tlo, Jazda 50 km/h
Rys. 8. Wartość emisji zaburzeń magnetycznych w trakcie jazdy, pasmo 1 MHz – 11 MHz



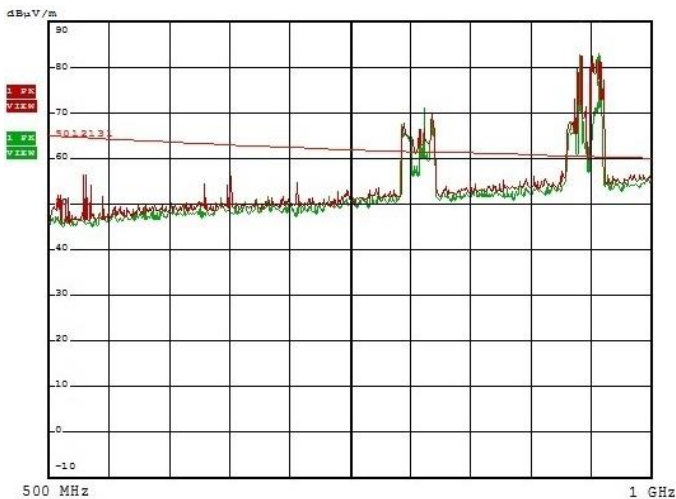
Tlo, Jazda 50 km/h
Rys. 9. Wartość emisji zaburzeń magnetycznych w trakcie jazdy, pasmo 10 MHz – 30 MHz



Tlo, Jazda 50 km/h, polaryzacja pionowa anteny
Rys. 10. Wartość emisji zaburzeń elektrycznych dla polaryzacji pionowej anteny w trakcie jazdy, pasmo 30 MHz – 230 MHz

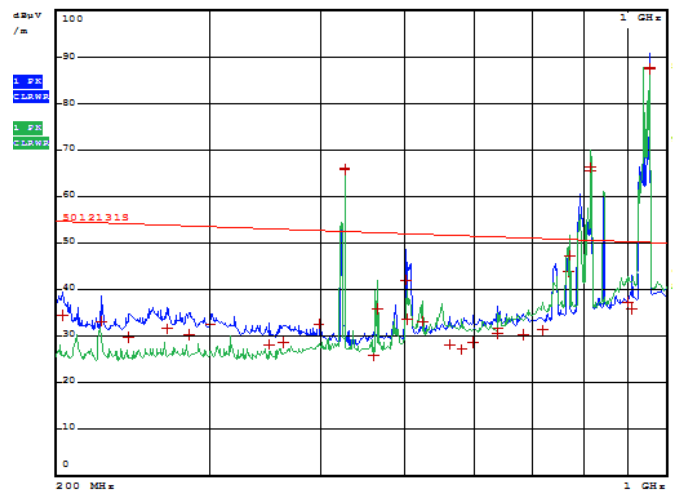


Tlo, Jazda 50 km/h, polaryzacja pionowa anteny
Rys. 11. Wartość emisji zaburzeń elektrycznych dla polaryzacji pionowej anteny w trakcie jazdy, pasmo 200 MHz – 500 MHz



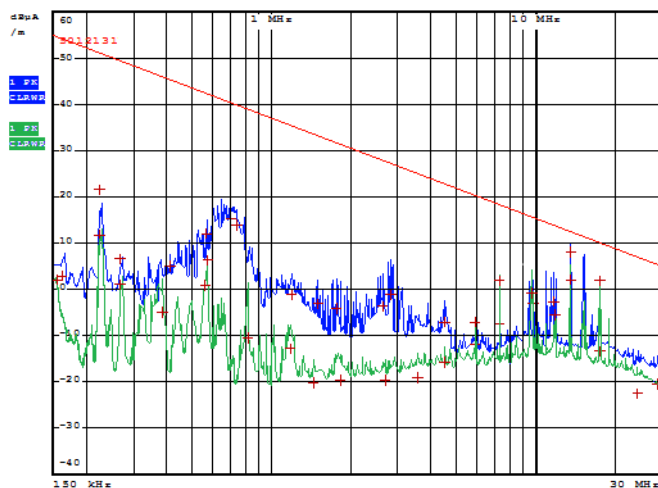
Tło, Jazda 50 km/h, polaryzacja pionowa anteny

Rys. 12. Wartość emisji zaburzeń elektrycznych dla polaryzacji pionowej anteny w trakcie jazdy, pasmo 500 MHz – 1 GHz



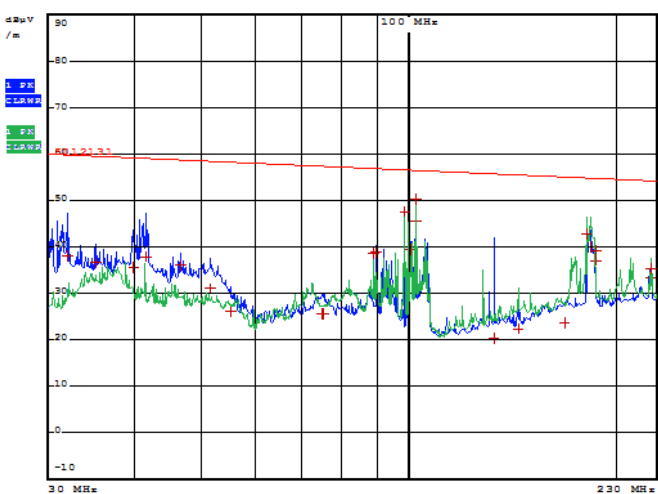
Tło, Postój, polaryzacja pionowa anteny

Rys. 15. Wartość emisji zaburzeń elektrycznych podczas postoju dla polaryzacji pionowej anteny, pasmo 230 MHz – 1 GHz



Tło, Postój

Rys. 13. Wartość emisji zaburzeń magnetycznych podczas postoju, pasmo 150 kHz – 30 MHz



Tło, Postój, polaryzacja pionowa anteny

Rys. 14. Wartość emisji zaburzeń elektrycznych podczas postoju dla polaryzacji pionowej anteny, pasmo 30 MHz – 230 MHz

Przedstawione wyniki pomiarów uwzględniają zastosowany tor pomiarowy w systemie pomiaru pola elektromagnetycznego tj. współczynniki wzmocnienia/lub tłumienia anten oraz tłumienność kabla w funkcji częstotliwości.

PODSUMOWANIE

W artykule zaprezentowano pomiar emisji zaburzeń elektromagnetycznych generowanych przez elektryczne zespoły trakcyjne w trakcji wielokrotnej. Pomiar przeprowadzane są w zakresie częstotliwości od 150 kHz ÷ 1 GHz dla dwóch trybów pracy: jazdy oraz postój z wykorzystaniem trzech anten pomiarowych: ramowej (pętlowej), dwustożkowej i logarytmiczno-periodycznej.

Podczas badań zmierzono wartości przekraczające dopuszczalne poziomu emisji zaburzeń promieniowanych określone wg normy PN-EN 50121-3-1 [4]. Przekroczenia wystąpiły na częstotliwości 427 MHz oraz w pasmach odpowiednio równych: 790 MHz – 820 MHz i 930MHz – 960 MHz dla dwóch trybów pracy: jazdy oraz postoju.

Zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 50121-3-1 [4] powyższe zakresy nie poddano ocenie, ponieważ wartości zaburzeń elektromagnetycznych postronnych, obcych (Tło) przekraczają dopuszczalny poziom – 6 dB. Źródłem zmierzonych pól elektromagnetycznych, które osiągają duże wartości są stacje radiolokacyjne i radiofoniczne, urządzenia nawigacyjne oraz telekomunikacyjne pracujący w/w pasmach częstotliwości.

Nie stwierdzono przekroczeń dopuszczalnych poziomów wg normy PN-EN 50121-3-1 [4], których źródłem są elektryczne zespoły trakcyjne w trakcji wielokrotnej.

Przeprowadzone pomiary pozwalają na stwierdzenie, że na obszarze kolejowym występuje oddziaływanie na kolejowe środowisko elektromagnetyczne pojazdów szynowych. Poziom natężenia pola elektromagnetycznego jest funkcją pojazdów trakcyjnych (np. typ, konstrukcja pantografu, systemu zasilania, przetwarzania energii, prędkości pojazdu, itd.), które poruszają się po szlaku kolejowym.

BIBLIOGRAFIA

- Paś J., *Eksploatacja elektronicznych systemów transportowych*. Uniwersytet Technologiczno - Humanistyczny, Radom 2015.

- Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: *Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.
- Charoy A., *Kompatybilność elektromagnetyczna- zakłócenia w urządzeniach elektronicznych, tom 1-3*, Warszawa 1999-2000,
- PN-EN 50121-3-1: *Zastosowania kolejowe - Kompatybilność elektromagnetyczna - Część 3-1: Tabor - Pociąg i kompletny pojazd*.
- PN-EN 55016-4-2: *Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia -- Część 4-2: Niepewności, statystyka i modelowanie poziomu dopuszczalnego -- Niepewność aparatury pomiarowej*.
- Białek K., Paś J.: Analysis of electromagnetic environment in an extensive railway area, XXXI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna – Inżynieria bezpieczeństwa - Ochrona przed Skutkami Nadzwyczajnych Zagrożeń EKOMILITARIS 2017 Zakopane, str. 57 – 58, ISBN 978-83-7798-616-5.
- Białek K., Paś J.: Electromagnetic environment at railway stations – electromagnetic compatibility assurance, Materiały VIII Krajowej Konferencji ARCHBUD 2017, Zakopane 2017, ISBN 978-83-945484-2-1.
- Białek K., Paś J.: „Eksplatacja wybranych urządzeń kolejowych – pomiar emisji zaburzeń przewodzonych i promieniowanych”, XI Szkoła – Konferencja Metrologia Wspomagana Komputerowo, 2017 r., Waplewo, ISBN 978-83-7938-141-8.
- Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Issue of reliability-exploitation evaluation of electronic transport systems used in the railway environment with consideration of electromagnetic interference, IET Intelligent Transport Systems, ISSN 1751-956X, Volume 10, Issue 9, 2016, pp. 587 – 593.

Radiated emission test of railway vehicles in multiple unit

This paper discussed the measurement of radiated emissions of electromagnetic disturbances generated by suburban electric traction units in multiple traction. The measurement methodology, permissible strength values of a magnetic and electric field according to PN-EN 50121-3-1 standard during the running and during the layover of the Electric Multiple Units are presented. The article presents sample results from the measurements, interpretation and evaluation of the obtained results.

Autorzy:

mgr inż. Kamil Białek – Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji, ul. Józefa Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa, E-mail: kbialek@ikolej.pl.

Dr hab. inż. Jacek Paś, prof. WAT – Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Systemów Elektronicznych, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: jacek.pas@wat.edu.pl