

doi:10.15199/48.2019.03.03

Pomiary emisji zaburzeń elektromagnetycznych od kolejowych pojazdów szynowych pracujących w trakcji wielokrotnej

Streszczenie. W artykule omówiono zasadę pomiaru 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. Zaprezentowano przykładowe wyniki pomiarów oraz dokonano oceny otrzymanych przebiegów.

Abstract. This paper discussed the measurement of radiated emissions of electromagnetic disturbances generated by 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 submitted. The article presents sample results from the measurements, interpretation and evaluation of the obtained results. (The measurements of radiated emissions of the railway rolling stock working in multiple traction).

Słowa Kluczowe: kompatybilność elektromagnetyczna, tabor kolejowy, metodyka pomiarów, trakcja wielokrotna

Keywords: electromagnetic compatibilities, railway rolling stock, measurements of methodology, multiple traction

Wstęp

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

- ruchome - zakłócenia generowane przez pojazdy trakcyjne takie jak np.: elektryczne zespoły trakcyjne, lokomotywy elektryczne czy spalinowe.

- stacjonarne - pochodzące od sieci trakcyjnej 3kV DC, sieci elektroenergetycznej zasilającej podstacje trakcyjne, linii zasilającej systemy sterowania ruchem kolejowym (srk);

Nowoczesne pojazdy szynowe wyposażone są w urządzenia, systemy elektryczne i elektroniczne stanowiące potencjalne źródła zakłóceń, takie jak: falowniki trakcyjne, przetwornice statyczne, silniki asynchroniczne, system klimatyzacji, system informacji pasażerskiej (SIP) itp. Obecnie od systemów i urządzeń montowanych na pojazdach szynowych wymaga się miniaturyzacji, ograniczonego poboru energii elektrycznej oraz dużej niezawodności działania. Wprowadzenie tych ograniczeń wiąże się ze wzrostem poziomu zakłóceń generowanych przez pojazdy trakcyjne. Dlatego ważnym problemem jest ciągła analiza stanu środowiska elektromagnetycznego w aspekcie natężeń pól magnetycznego i elektrycznego generowanych przez pojazdy szynowe poruszające się po szlaku kolejowym.

Trakcja wielokrotna elektrycznych zespołów trakcyjnych

Trakcją wielokrotną nazywamy połączenie minimum dwóch pojazdów szynowych w ramach jednego składu pociągu (rysunek 1) za pomocą sprzęgu mechanicznego oraz pneumatycznego. Sterowanie pojazdami odbywa się z aktywnego jednego pulpitu sterującego znajdującego się w kabinie maszynisty prowadzącego pojazd. W trakcji wielokrotnej każdy pojazd musi mieć aktywny co najmniej jeden pantograf.



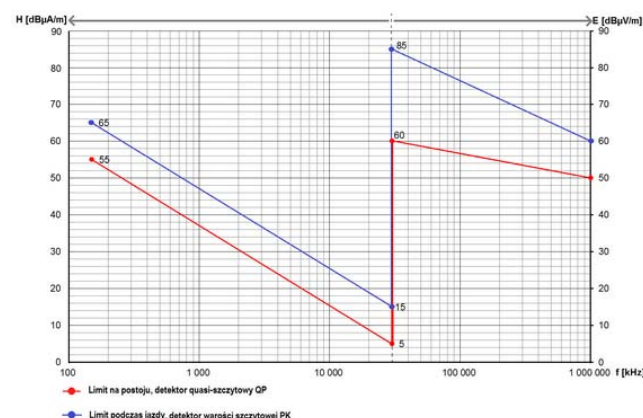
Rys. 1. Dwuczłonowe elektryczne zespoły trakcyjne pracujące w trakcji wielokrotnej

Pomiar emisji zaburzeń promieniowanych dla pojazdów szynowych pracujących w trakcji wielokrotnej

Badania kompatybilności elektromagnetycznej emisji zaburzeń promieniowanych przeprowadzane są zgodnie z metodyką zawartą w normie [1], w następującym paśmie częstotliwości od 150kHz do 1GHz, z podziałem na dwa podzakresy:

- pomiar składowej magnetycznej natężenia pola w zakresie częstotliwości 150kHz ÷ 30MHz,
- pomiar składowej elektrycznej natężenia pola w zakresie częstotliwości 30MHz ÷ 1GHz.

Do pomiaru składowej magnetycznej natężenia pola stosuje się aktywną antenę ramową, natomiast do pomiaru składowej elektrycznej antenę dwustożkową i antenę logarytmiczno-periodyczną. Zgodnie z wymaganiami normy [2] na rysunku 2 przedstawiono dopuszczalne wartości natężenia pola magnetycznego i elektrycznego dla pojazdów podmiejskich zasilanych napięciem 3kV DC.



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

Pomiary natężenia pola elektromagnetycznego, zgodnie z wymaganiami normy [2], przeprowadzane są na terenie Okręgu Doświadczalnego lub na szlaku kolejowym, torze postojowym, gdzie jest brak drzew, podstacji, transformatorów i urządzeń sterowania ruchem kolejowym (srk) w promieniu minimum 30m. Inne pojazdy trakcyjne nie powinny znajdować się na tej samej sekcji w odległości co najmniej 1km od badanych elektrycznych zespołów trakcyjnych.

Przed przystąpieniem do badań zaburzeń promieniowanych generowanych przez pojazdy szynowe pracujące w trakcji wielokrotnej należy dokonać pomiarów wartości zaburzeń postronnych (tzw. tło) dla środowiska elektromagnetycznego z uwzględnieniem wymagań podanych w tabeli 1.

Tabela 1. Wytyczne dotyczące pojazdów w trakcji wielokrotnej

Podzakres	Szerokość pasma [kHz]	Czas przemiatania [ms]
150kHz ÷ 1,15MHz	9 lub 10	37
1MHz ÷ 11MHz	9 lub 10	370
10MHz ÷ 20MHz	9 lub 10	370
20MHz ÷ 30MHz	9 lub 10	370
30MHz ÷ 230MHz	100 lub 120	42
200MHz ÷ 500MHz	100 lub 120	63
500MHz ÷ 1GHz	100 lub 120	100

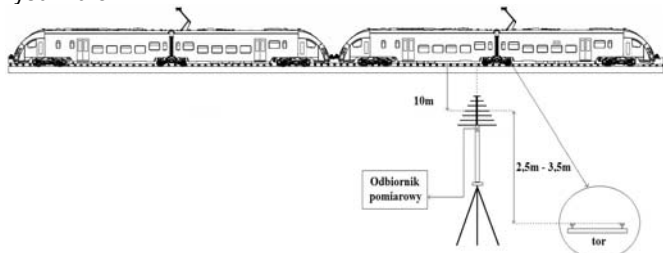
Poziom zaburzeń postronnych powinien być niższy co najmniej o 6dB od dopuszczalnych poziomów przedstawionych na rys. 2. Jeśli tło przekracza limit -6dB dla danego pasma częstotliwości, podczas oceny wyników nie należy brać tego zakresu pod uwagę.

Pojazdy szynowe podmiejskie (dalekobieżne) w trakcji wielokrotnej badane są w dwóch trybach pracy podczas postoju i w trakcie jazdy z prędkością 50km/h (± 10 km/h). W trakcie przeprowadzanych pomiarów na pojeździe załączone są takie systemy jak: system klimatyzacji, Europejski System Sterowania Pociągiem (ETCS), SIP, oświetlenie wewnętrzne i zewnętrzne znajdujące się na pojazdach. W przypadku badania podczas postoju punkt pomiarowy należy ustalić korzystając z odbiornika pomiarowego i anten. W celu zapewnienia właściwych warunków pomiaru wartości natężenia pola, podczas pierwszego przejazdu testowego, pojazdy powinny poruszać się z prędkością około 10km/h naprzeciwko anteny pomiarowej. Po próbnym przejeździe pojazdy ustawiane są w miejscu największego poziomu zaburzeń promieniowanych generowanych przez badany pojazd.

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. Anteny pomiarowe dla wyżej wymienionych trybów pracy ustawione są w odległości 10m od osi toru oraz umieszczone na różnych wysokościach w zależności od typu zastosowanej anteny pomiarowej:

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

Wysokość anteny dobiera się według kryterium maksymalnego poziomu emitowanych zaburzeń elektromagnetycznych. Pomiary należy wykonać dla obu polaryzacji anteny. Po wykonaniu badań na postoju oraz w trakcie jazdy należy ponownie zmierzyć poziom zaburzeń postronnych środowiska elektromagnetycznego. Przykładowe stanowisko pomiarowe przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Pomiar emisji zaburzeń promieniowanych w paśmie częstotliwości 230MHz ÷ 1GHz z wykorzystaniem anteny logarytmiczno-periodycznej

Pomiar emisji zaburzeń przewodzonych dla pojazdów szynowych pracujących w trakcji wielokrotnej

Badania kompatybilności elektromagnetycznej dotyczące emisji zaburzeń przewodzonych przeprowadzane są zgodnie z metodyką zawartą w normie [3] dla składowej niesymetrycznej napięcia zaburzeń radioelektrycznych w zakresie częstotliwości od 150kHz do 30MHz, z podziałem na dwa podzakresy częstotliwości: 150kHz ÷ 500kHz oraz 500kHz ÷ 30MHz.

Pomiar emisji zaburzeń przewodzonych wykonywany jest na wszystkich portach pokładowych sieci zasilającej AC i DC pojazdu pracującego w trakcji wielokrotnej, do których zaliczamy:

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

Typowe wartości napięcia zasilania pokładowego portu w pojazdach wynoszą: 24V DC, 36V DC, 48V DC, 110V DC oraz 230V AC.

Do pomiaru emisji zaburzeń przewodzonych wykorzystuje się wysokonapięciową sondę pomiarową, do której poprzez kabel koncentryczny podłączony jest odbiornik pomiarowy. Uzyskane wyniki pomiarów porównywane są z wykonanymi uprzednio pomiarami zaburzeń postronnych w pokładowej sieci zasilającej niskiego napięcia przy odłączonym zasilaniu.

Dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń przewodzonych zawarte są w normie [4] i wynoszą:

- dla pasma częstotliwości (150 ÷ 500)kHz – **99 dB μ V**,
- dla pasma częstotliwości (0,5 ÷ 30)MHz – **93 dB μ V**.

Przykładowe wyniki pomiarów emisji zaburzeń promieniowanych

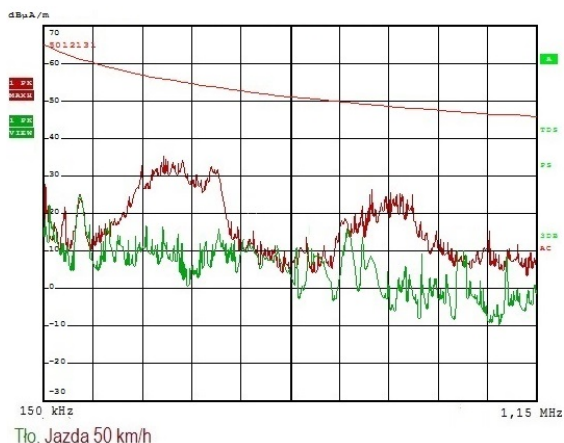
Badania wykonano na terenie Okręgu Doświadczalnego Instytutu Kolejnictwa dla dwóch elektrycznych zespołów trakcyjnych pracujących w trakcji wielokrotnej. Pojazdy zasilane były napięciem 3kV DC. W czasie badań na pojazdach załączone były wszystkie systemy i urządzenia oraz oświetlenie wewnętrzne i zewnętrzne. Pomiary zostały wykonane dla dwóch trybów pracy składu: „postój” oraz „jazda”. Na rysunku 4 przedstawiono stanowisko do badań EMC dla pojazdów kolejowych znajdujące się na Okręgu Doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie.



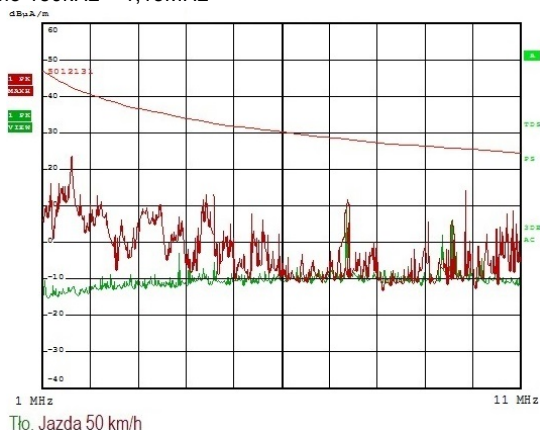
Rys. 4. Stanowisko do badań EMC na Okręgu Doświadczalnym

Przykładowe wyniki pomiarów pól magnetycznych

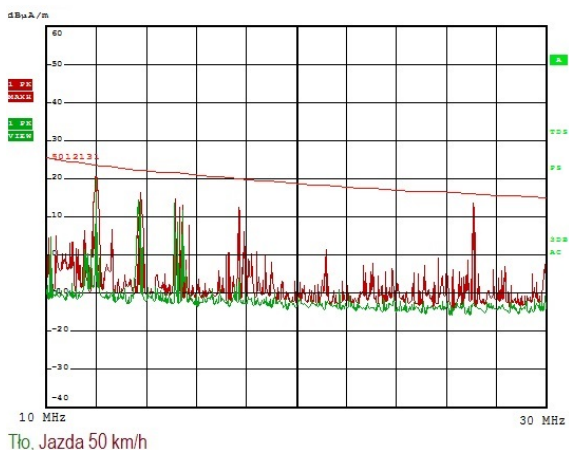
Na rysunkach od 5 do 10 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów emisji elektromagnetycznych zaburzeń promieniowanych generowanych przez pojazdy szynowe pracujące w trakcji wielokrotnej podczas jazdy.



Rys. 5. Wartość emisji zaburzeń magnetycznych w trakcie jazdy, pasmo 150kHz ÷ 1,15MHz

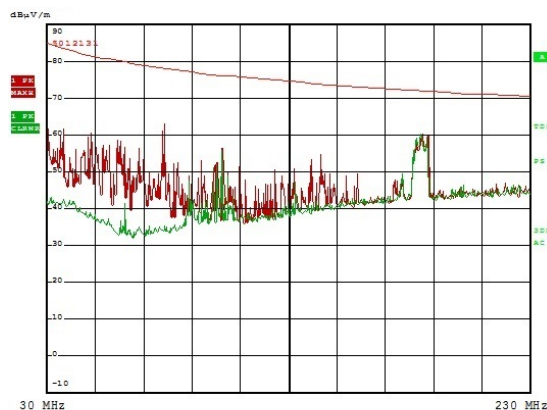


Rys. 6. Wartość emisji zaburzeń magnetycznych w trakcie jazdy, pasmo 1MHz ÷ 11MHz

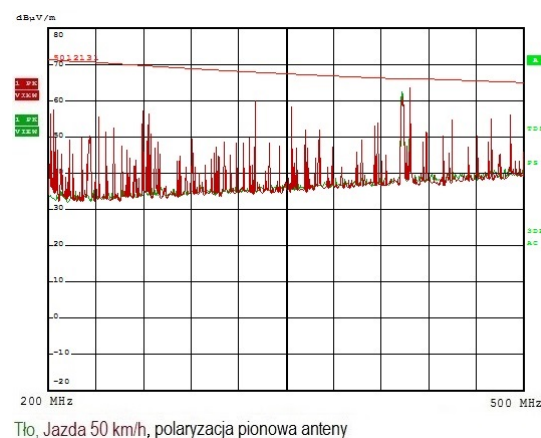


Rys. 7. Wartość emisji zaburzeń magnetycznych w trakcie jazdy, pasmo 10MHz ÷ 30MHz

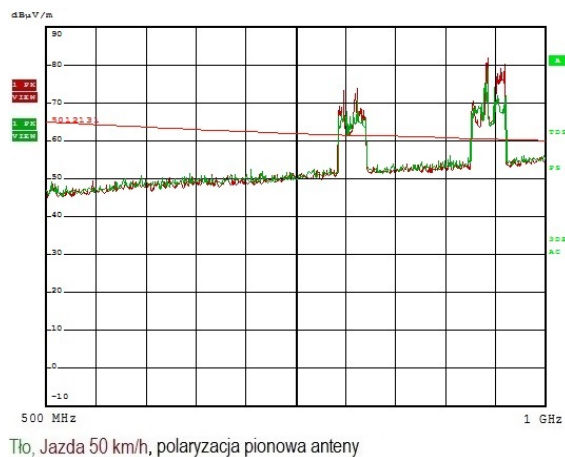
Przedstawione wyniki pomiarów uwzględniają elementy zastosowanego toru pomiarowego tj. współczynnika antenowego dla danej anteny pomiarowej oraz wartość tłumienności kabla pomiarowego.



Rys. 8. Wartość emisji zaburzeń elektrycznych dla polaryzacji pionowej anteny w trakcie jazdy, pasmo 30MHz ÷ 230MHz



Rys. 9. Wartość emisji zaburzeń elektrycznych dla polaryzacji pionowej anteny w trakcie jazdy, pasmo 200MHz ÷ 500MHz



Rys. 10. Wartość emisji zaburzeń elektrycznych dla polaryzacji pionowej anteny w trakcie jazdy, pasmo 500MHz ÷ 1GHz

Podczas badań zmierzono wartości przekraczające dopuszczalny poziom emisji zaburzeń promieniowanych. Przekroczenia występują w pasmach częstotliwości: 790MHz ÷ 820MHz i 930MHz ÷ 960MHz dla trybu pracy „jazda”. Zgodnie z zaleceniami normy [1] powyższe zakresy nie poddano ocenie, ponieważ wartości zaburzeń postronnych (tła) przekraczają limit -6dB. Źródłem wysokich wartości emisji zaburzeń są lokalne stacje radiolokacyjne i radiofoniczne, urządzenia nawigacyjne i telekomunikacyjne pracujące w wyżej wymienionych pasmach częstotliwości.

Wyniki badań elektrycznych zespołów trakcyjnych pracujących w trakcji wielokrotnej są pozytywne. Nie

stwierdzono przekroczeń dopuszczalnych poziomów emisji zaburzeń promieniowanych, których źródłem są dwa elektryczne zespoły trakcyjne połączone w jeden skład pociągu.

Podsumowanie

W artykule zaprezentowano pomiar emisji elektromagnetycznych zaburzeń generowanych przez elektryczne zespoły trakcyjne pracujące w trakcji wielokrotnej. Pomiary wykonano w zakresie częstotliwości od 150kHz ÷ 1GHz dla trybu pracy „jazda”.

Przeprowadzone pomiary pozwalają na stwierdzenie, że na obszarze kolejowym występuje oddziaływanie na kolejowe środowisko elektromagnetyczne pojazdów szynowych. Poziom natężeń pola elektromagnetycznego zależy od rodzaju pojazdów trakcyjnych poruszających się po szlaku kolejowym.

Autorzy:

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

LITERATURA

- [1] PN-EN 50121-3-1:2017-05 *Zastosowania kolejowe - Kompatybilność elektromagnetyczna - Część 3-1: Tabor - Pociąg i kompletny pojazd.*
- [2] PN-EN 50121-2:2017-06 *Zastosowania kolejowe -- Kompatybilność elektromagnetyczna -- Część 2: Oddziaływanie systemu kolejowego na otoczenie.*
- [3] PN-EN 55016-2-1:2014-09 + A1:2017-12 *Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia -- Część 2-1: Metody pomiaru zaburzeń i badania odporności -- Pomiary zaburzeń przewodzonych.*
- [4] PN-EN 50121-3-2:2017-04 *Zastosowania kolejowe - Kompatybilność elektromagnetyczna - Część 3-2: Tabor - Aparatura.*
- [5] Tim Williams *EMC for product designer*, Nediton Newnes, 1992 r.
- [6] Mark I. Montrose, Edward M. Nakauchi *Testing for EMC Compliance: Approaches and Techniques*, IEEE 2014 r.
- [7] Donald G. Baker *Electromagnetic Compatibility – Analysis and Case Studies in Transportation*, WILEY & Sons 2016 r.