

Andrzej Białoń, Artur Dłużniewski, Łukasz John

Aktualny stan środowiska elektromagnetycznego na terenie PKP w świetle wymagań normatywnych

Środowiskiem elektromagnetycznym nazywany jest ogół zjawisk elektromagnetycznych istniejących na danym obszarze [11]. Zmienność parametrów występujących zjawisk w czasie w danym środowisku elektromagnetycznym może wymagać zastosowania metod statystycznych. Kolejowe środowisko elektromagnetyczne jest bardzo specyficzne ze względu na występowanie wielu różnych systemów elektrycznych i elektronicznych współpracujących ze sobą, które są rozmieszczone niejednokrotnie na dużej obszarze.

W wyniku przeprowadzonych w Instytucie Kolejnictwa prac badawczych stwierdzono, że spośród wszystkich urządzeń znajdujących się na szlaku kolejowym lub w jego pobliżu, najwyższe poziomy zaburzeń radioelektrycznych wytwarzają elektryczne pojazdy trakcyjne, a także elektryczna sieć trakcyjna.

Problem ten jest istotny, ponieważ budynki mieszkalne umiejscawiane są coraz częściej bardzo blisko zelektryfikowanych szlaków kolejowych. Tak się niestety składa, że pomimo trwającej modernizacji oraz wprowadzania do eksploatacji nowych pojazdów trakcyjnych nadal po szlakach kolejowych poruszają się starsze typy pojazdów, które zostały w niewielkim stopniu zmodernizowane. Pojazdy starego typu generują największe zaburzenia elektromagnetyczne na terenie kolejowym. Artykuł ma za zadanie przedstawić stan aktualnego w dziedzinie emisji energii wielkiej częstotliwości przez obiekty kolejowe.

Przeprowadzona analiza aktualnego stanu środowiska elektromagnetycznego dotyczy wartości natężenia pola elektromagnetycznego zaburzeń radioelektrycznych pochodzących od pojazdów trakcyjnych poruszających się na szlaku, promieniowania sieci trakcyjnej, poziomu przepięć i zaburzeń radioelektrycznych w energetycznej sieci zasilania obiektów stacjonarnych oraz w pokładowej sieci zasilania pojazdów trakcyjnych i wagonów pasażerskich.

Główne źródła zaburzeń radioelektrycznych

Do głównych źródeł zaburzeń radioelektrycznych można zaliczyć obiekty stacjonarne umieszczone na szlaku lub w jego pobliżu oraz elektryczne i spalinowo-elektryczne pojazdy trakcyjne. Do najważniejszych obiektów generujących zaburzenia radioelektryczne, które ilustruje rysunek 1, należą:

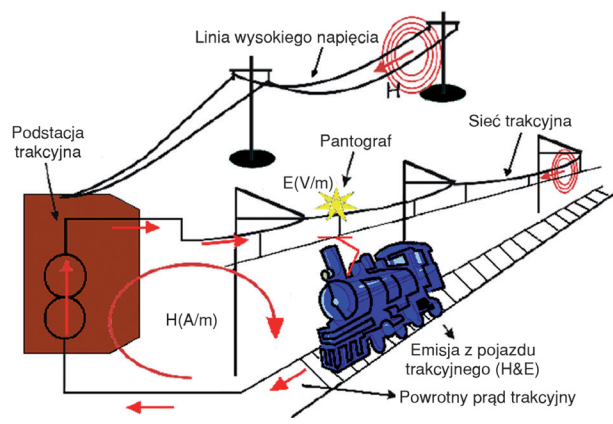
- elektryczne i spalinowo-elektryczne pojazdy trakcyjne,
- sieć trakcyjna,
- podstacje trakcyjne,
- urządzenia sterowania ruchem.

Jak ilustruje rysunek 2 sieć trakcyjna zawieszona nad torem sama w sobie nie jest źródłem zaburzeń radioelektrycznych, lecz

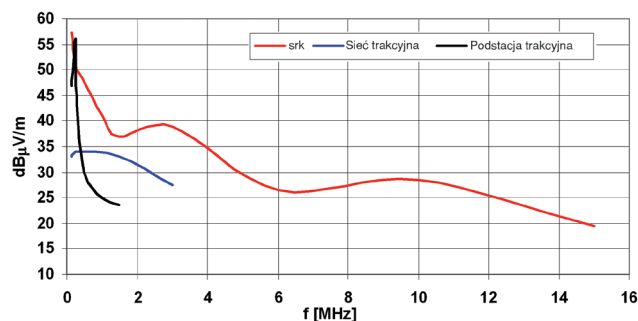
zachowuje się jak niesymetryczna linia transmisyjna przenosząca zaburzenia wytwarzane przez podstacje trakcyjne i przejeżdżające elektryczne pojazdy trakcyjne. Parametry transmisyjne sieci zależą od takich czynników, jak: własności elektryczne ziemi, rozwiązanie konstrukcyjne, warunki atmosferyczne.

W trakcie przeprowadzonych pomiarów zaburzeń radioelektrycznych uzyskano interesujące wyniki dla lokomotyw, takich jak ET40 i ET41. Badania przeprowadzono w przypadku, gdy podniesione były dwa pantografowe odbieraki prądu spośród czterech zainstalowanych. Z punktu widzenia trakcyjnego następuje poprawa warunków odbioru prądu z sieci jezdnej, natomiast z punktu widzenia kompatybilności elektromagnetycznej występują wtedy dwa źródła zaburzeń położone w bliskim sąsiedztwie. Są to praktycznie dwie odrębne lokomotywy jedynie sprzężone ze sobą poprzez wspólne sterowanie.

Podstawowymi układami pracy, przyjętymi ze względów eksploatacyjnych są to układy odbieraków: 1–3 i 2–4 w odniesieniu do kierunku jazdy. Pozostałe rozstawienia odbieraków spotykane są sporadycznie i uwarunkowane indywidualnymi warunkami jazdy (np. utrudniony rozruch ciężkiego pociągu, uszkodzenie jed-



Rys. 1. Podstawowe źródła zaburzeń elektromagnetycznych



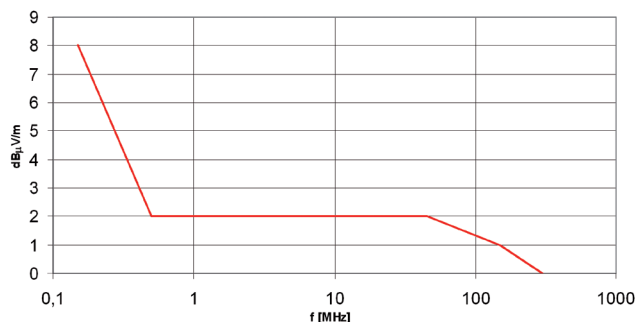
Rys. 2. Zaburzenie radioelektryczne emitowane przez sieć trakcyjną, podstację trakcyjną oraz urządzenia srk (nastawnię dysponującą)

nego z odbieraków). Celem przeprowadzanych badań było uzyskanie informacji na temat wartości poziomu emitowanych zaburzeń radioelektrycznych w przypadku jednoczesnej pracy dwóch odbieraków prądu. Stwierdzono, że przebieg charakterystyki poziomu zaburzeń dla różnych układów pracy par odbieraków prądu nie różni się w sposób istotny między sobą. W tej sytuacji postanowiono nie rozróżniać poszczególnych układów odbieraków, a wszystkie kombinacje rozstawień traktować jak jeden zbiór. Na tej podstawie obliczono wartość średnią poziomu zaburzeń, która posłużyła do znalezienia różnicy w emitowanych poziomach pomiędzy emitowanym poziomem przez układ dwóch odbieraków a pojedynczym odbierakiem.

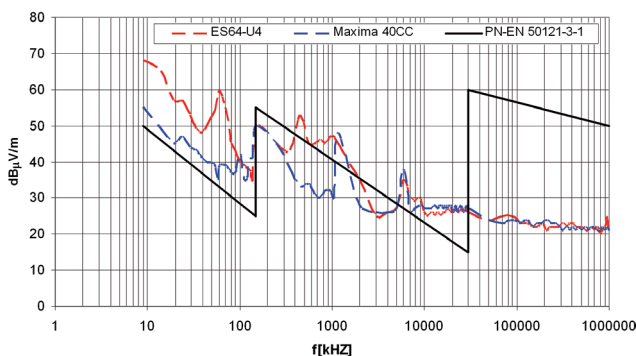
Na rysunku 3 pokazano charakterystykę przyrostu zaburzeń dla dwóch pracujących odbieraków prądu w stosunku do jednego odbieraka w lokomotywie ciężkiej.

Metodyka pomiarów

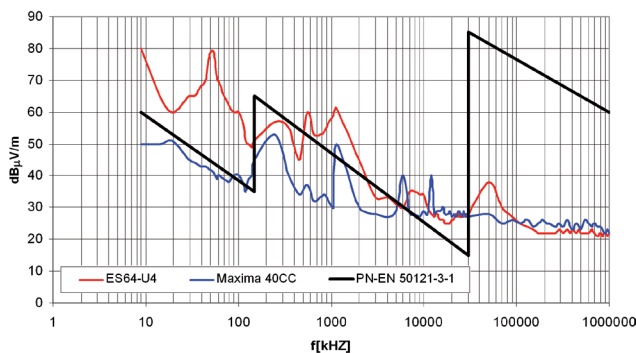
Ze względu na specyfikę urządzeń trakcji elektrycznej (znaczne napięcia i duże pobory prądu), jak również ze względu na specy-



Rys. 3. Charakterystyka przyrostu zaburzeń radioelektrycznych dla dwóch odbieraków prądu



Rys. 4. Zaburzenia emisji promieniowanej taboru kolejowego w trakcie postoju



Rys. 5. Zaburzenia emisji promieniowanej taboru kolejowego w trakcie jazdy

fikę zainstalowanych urządzeń, np. na podstacji trakcyjnej, wykonuje się pomiary natężenia pola zaburzeń radioelektrycznych. Pomiary zaburzeń emisji promieniowanej taboru kolejowego wykonuje się za pomocą 3 typów anten. Obecne zapisy normy [5] pozwalają na wykonywanie pomiarów przy użyciu 2 anten (ramowej i logarytmiczno-periodycznej).

Pomiary zaburzeń emisji promieniowanej wykonuje się w paśmie 9 kHz ÷ 1 GHz, z podziałem na dziewięć podzakresów zgodnie z zapisami normy [6]:

- 9 ÷ 59 kHz – pomiar składowej magnetycznej natężenia pola zaburzeń przy zastosowaniu anteny ramowej,
- 50 ÷ 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 ÷ 11 MHz – pomiar składowej magnetycznej natężenia pola zaburzeń przy zastosowaniu anteny ramowej,
- 10 ÷ 20 MHz – pomiar składowej magnetycznej natężenia pola zaburzeń przy zastosowaniu anteny ramowej,
- 20 ÷ 30 MHz – pomiar składowej magnetycznej natężenia pola zaburzeń przy zastosowaniu anteny ramowej,
- 30 ÷ 230 MHz – pomiar pionowej składowej elektrycznej natężenia pola przy zastosowaniu anteny dwustożkowej,
- 200 ÷ 500 MHz – pomiar pionowej składowej elektrycznej natężenia pola przy zastosowaniu anteny logarytmiczno-periodycznej,
- 500 MHz ÷ 1 GHz – pomiar pionowej składowej elektrycznej natężenia pola przy zastosowaniu anteny logarytmiczno-periodycznej.

Anteny należy umieszczać w odległości 10 m od osi toru. W przypadku obiektu stacjonarnego, anteny umieszcza się w odległości 10 m od granicy obiektu stacjonarnego. Podczas pomiarów w paśmie od 10 kHz ÷ 30 MHz antena powinna być umieszczona na wysokości od 1 do 2 m ponad poziomem główki szyny lub w przypadku obiektów stacjonarnych 1–2 m nad ziemią, natomiast dla pasma od 30 MHz ÷ 1 GHz antena powinna być umieszczona na wysokości 3 m.

Przed przystąpieniem do pomiarów należy sprawdzić czy na każdej częstotliwości pomiarowej nie występują nadmierne postronne zaburzenia radioelektryczne (tło) lub emisje stacji nadawczej. Poziom zaburzeń obcych stanowiących tło powinien być mniejszy o co najmniej 6 dB od dopuszczalnych poziomów. W przypadku stwierdzenia zbyt dużego poziomu emisji postronnych (tła) dla danej częstotliwości pomiarowej, należy przestroić odbiornik pomiarowy na najbliższą wolną częstotliwość od sygnałów niepożądanych.

Przykładowe wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów emisji zaburzeń promieniowanych

Jako przykład pokazano wyniki pomiarów emisji zaburzeń promieniowanych pochodzących od lokomotywy elektrycznej ES64-U4 (moc 6 MW) i lokomotywy spalinowo-elektrycznej Maxima 40 CC (moc 3,6 MW).

Pomiary emisji zaburzeń promieniowanych wykonano dla następujących warunków:

- podczas postoju (rys. 4),
- podczas jazdy (rys. 5).

Podczas postoju pojazd znajdował się na wprost anten i miał włączone wszystkie urządzenia pokładowe. Podczas jazdy wyko-

nywany był pomiar na stanowisku pomiarowym przy prędkości lokomotywy 40 km/h \pm 10 km/h i w układzie, gdy pobór mocy wynosił 30%.

Na rysunkach 4 i 5 zamieszczone są wyniki z pomiarów zaburzeń promieniowanych przez lokomotywę elektryczną i spalinową. Na wartości mierzone mają wpływ zaburzenia postronne. Zgodnie z zaleceniami na tych częstotliwościach, na których wystąpiły przekroczenia wartości dopuszczalnych poziomów nie podlegały one ocenie w związku z wysokim poziomem zaburzeń postronnych pokazanych na rysunku 6.

Wyniki pomiarów zaburzeń radioelektrycznych w niskonapięciowych obwodach zasilania elektrycznych pojazdów trakcyjnych i wagonów pasażerskich

Kolejowe obiekty ruchome, takie jak lokomotywy elektryczne, elektryczne zespoły trakcyjne i 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 nie powinny wprowadzać nadmiernych poziomów zaburzeń radioelektrycznych do obwodów pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia i obwodów przesyłania sygnałów w pokładowych urządzeniach elektronicznych.

Pomiary zaburzeń radioelektrycznych w pokładowej sieci zasilania niskiego napięcia wykonywano za pomocą analizatora widma w trakcie postoju zgodnie z wymaganiami [6].

Pomiary składowej niesymetrycznej napięcia zaburzeń radioelektrycznych wykonuje się w zakresie częstotliwości od 9 kHz do 30 MHz za pomocą sondy pomiarowej i analizatora widma.

Pomiary należy wykonać dla nieobciążonej pokładowej sieci zasilającej tzw. tło oraz przy możliwe wszystkich włączonych urządzeniach dołączonych do badanej sieci. Badania należy wykonać dla wszystkich portów zasilających pokładowej niskonapięciowej sieci zasilającej.

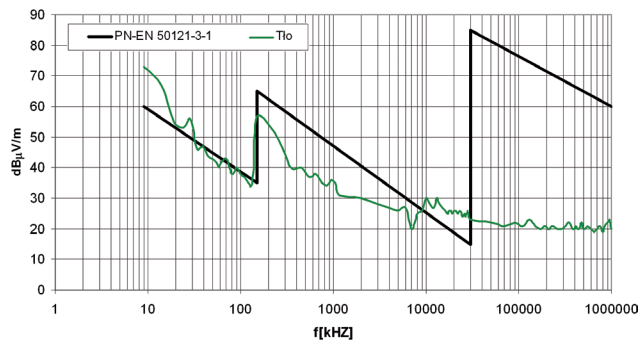
Przykładowe wyniki z wykonanych pomiarów pokładowej niskonapięciowej sieci zasilającej dla wariantu obciążenia sieci (OBC) zamieszczono na rysunku 7.

W obwodach wysokiego napięcia występują potencjalne źródła zaburzeń radioelektrycznych, takie jak: silniki trakcyjne, silnik wentylatora napędzający prądnicę prądu stałego, styki styczników liniowych i grupowych, styk odbieraka prądu z przewodem jezdycznym.

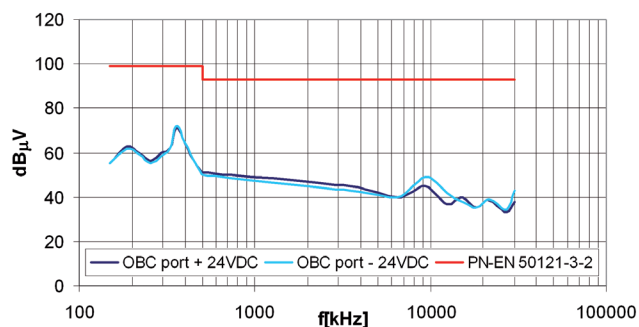
W obwodach niskiego napięcia znajdują się następujące istotne źródła zaburzeń radioelektrycznych i impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych: prądnica prądu stałego o napięciach w zależności od typu pojazdu 24 V, 48 V 110 V, styki styczników niskonapięciowych, silniki napędów pomocniczych.

Wyniki pomiarów zaburzeń radioelektrycznych występujących w energetycznej sieci zasilania obiektów stacyjnych

W energetycznych sieciach zasilania występują zaburzenia radioelektryczne i zaburzenia o charakterze impulsowym. Należy pamiętać, że każde zaburzenie elektromagnetyczne o dużej energii powoduje również powstanie zaburzenia radioelektrycznego o określonym widmie częstotliwości. Szerokość tego widma uzależniona jest od kształtu impulsu. Poziom zaburzeń radioelektrycznych zależy od mocy źródła, odległości od źródła, tłumien-



Rys. 6. Pomiar tła emisji promieniowanej

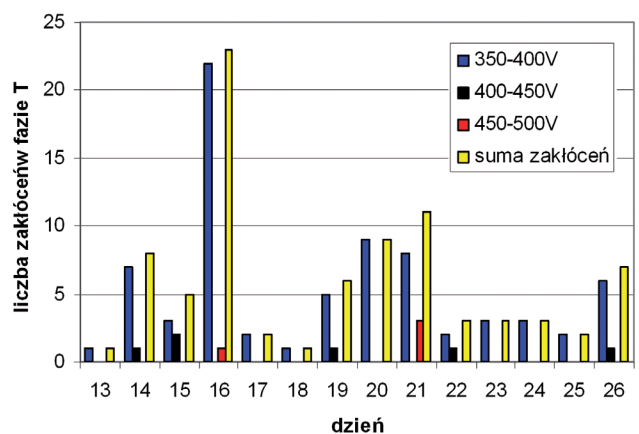


Rys. 7. Zaburzenia emisji przewodzonej wagonu typu BAR

ności linii przesyłowej, odległości od linii przesyłowej (dla zaburzeń indukowanych).

Wyniki wykonanych pomiarów odzwierciedlają stan emisyjności zaburzeń radioelektrycznych w danym momencie, w którym wykonywany był pomiar. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1 i histogramie na rysunku 8. W sieci energetycznej niskiego napięcia głównymi przyczynami występowania impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych są:

- dołączanie i odłączanie obciążeń, szczególnie o charakterze indukcyjnym;
- przetaczanie obwodów elektrycznych, zwłaszcza o dużym poborze mocy;
- stany przejściowe wynikające z uszkodzeń urządzeń dołączonych do sieci;
- obciążenia o charakterze nieliniowym;
- wyładowania atmosferyczne;
- zła jakość linii energetycznej (niepewne kontakty i łącza).



Rys. 8. Histogramy wyników pomiarów w miejscowości Boguchwała

Wyniki pomiarów amplitud przepięć w energetycznej sieci zasilania 230 V

Wyniki pomiarów liczby przepięć w obwodzie zasilania nastawni – faza L1														
Dzień	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
350–400 V	1	7	3	22	2	1	5	9	8	2	3	3	2	6
400–450 V	0	1	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
450–500 V	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Suma zakłóceń	1	8	5	23	2	1	6	9	11	3	3	3	2	7

Najgroźniejsze są przepięcia wywołane przełączaniem obwodów elektrycznych o dużym poborze mocy i przepięcia pochodzące od wyładowań atmosferycznych.

Jak wykazały przeprowadzone badania, zilustrowane na rysunku 7, najczęściej występują przepięcia o amplitudach do 400 V.

Wnioski

Przedstawione wyniki pomiarów pozwalają na sformułowanie następujących wniosków.

1. Poziom graniczny zaburzeń radioelektrycznych może zostać przekroczony podczas odrywania się pantografu od sieci trakcyjnej. Sytuacja taka może wystąpić podczas przejazdu przez np. wadliwe rozjazdy sieciowe. Przejazd lokomotywy z podniesionymi jednocześnie dwoma odbierakami stwarza również takie niebezpieczeństwo.
2. Postępująca modernizacja odbieraków prądu pod kątem zmniejszenia ich masy spowodowała zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia przekroczenia dopuszczalnych poziomów zaburzeń radioelektrycznych wytwarzanych przez elektryczne pojazdy kolejowych.
3. Z porównania poziomów zaburzeń radioelektrycznych generowanych przez lokomotywy pracujące w systemie trakcji ukrotnionej z lokomotywami trakcji pojedynczej wynika, że lokomotywy trakcji ukrotnionej emitują wyższy poziom zaburzeń radioelektrycznych. Może to mieć wpływ na jakość odbioru radiowego na zakresie fal długich.
4. Podczas współpracy dwóch odbieraków prądu z siecią trakcyjną nie zauważono wpływu długości rozstawu dla odbieraków prądu wchodzących w skład danej pary. Zauważono natomiast istnienie korelacji między poziomem mierzonych zaburzeń radioelektrycznych przez dowolną parę odbieraków a odbierakiem najsilniej generującym zaburzenia i pochodzącym z danej pary.
5. Wyniki badań przeprowadzanych w obiektach stacjonarnych wskazują, że istnieje konieczność zabezpieczenia urządzeń i systemów tam pracujących przed zaburzeniami elektromagnetycznymi indukowanymi w instalacji zasilającej, jak i w sieci transmisji sygnałów.



Literatura

- [1] Dłużniewski A., Głowska T., Ślęzak J.: *Sprawozdanie Nr LA/21.2/09 z badań zaburzeń elektromagnetycznych promieniowanych i przewodzonych przez lokomotywę wielosystemową typu ES64-U4.*
- [2] Dłużniewski A., John Ł., Ślęzak J.: *Sprawozdanie Nr LA/28/09 z badań emisji zaburzeń elektromagnetycznych promieniowanych i przewodzonych przez lokomotywę spalinową Maxima 40CC.*
- [3] Dłużniewski A., Ślęzak J.: *Sprawozdanie Nr LA/22/08 z badań zaburzeń elektromagnetycznych emitowanych przez wagon barowy serii Brmnouz typu 1251.*
- [4] PN-EN 50121-1 *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 1: Postanowienia ogólne.*
- [5] PN-EN 50121-2 *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 2: Oddziaływanie systemu kolejowego na otoczenie.*
- [6] PN-EN 50121-3-1 *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 3-1: Tabor – Pociąg i kompletny pojazd.*
- [7] PN-EN 50121-3-2 *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 3-2: Tabor – Aparatura.*
- [8] PN-EN 50121-5 *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 5: Emisja i odporność aparatury oraz urządzeń stacjonarnych systemu zasilania energią.*
- [9] PN-EN 61000-4-3 *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 4-3: Metody badań i pomiarów – Badanie odporności na promieniowane pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej.*
- [10] PN-EN 61000-4-5 *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 4-5: Metody badań i pomiarów – Badanie odporności na udary.*
- [11] PN-T-01030 *Kompatybilność elektromagnetyczna – Terminologia.*
- [12] Młyńczak J., Wojtas A.: *Publiczna sieć GPS dla zastosowań kolejowych – badania terenowe.* Sympozjum „Problemy eksploatacyjne systemu GPS” 03.06.2004 Gdynia.

dr inż. Andrzej Białoń – Instytut Kolejnictwa,
Politechnika Śląska, Wydział Transportu
abialon@ikolej.pl, andrzej.bialon@polsl.pl

mgr inż. Artur Dłużniewski – Instytut Kolejnictwa
adluzniewski@ikolej.pl,

mgr inż. Łukasz John – Instytut Kolejnictwa
ljohn@ikolej.pl