

POMIARY ZAKŁÓCEŃ ELEKTROMAGNETYCZNYCH PROMIENIOWANYCH PRZEZ NOWOCZESNY MIEJSKI POJAZD TRAKCYJNY Z NAPĘDEM PRZEKSZTAŁTNIKOWYM

Marek Patoka

Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, Zakład Trakcji Elektrycznej

Streszczenie. W artykule oprócz opisanego metod pomiarowych, potrzebnego sprzętu pomiarowego, przebiegu pomiarów oraz normatywnych warunków pomiarowych, zostały również przedstawione wyniki pomiarów zakłóceń elektromagnetycznych promieniowanych przez nowoczesny pojazd trakcyjny z napędem przekształtnikowym. Dodatkowo w artykule został poruszony problem dotyczący zmiany szerokości pasm pomiarowych względem odgórnie ustalonych wartości. Na podstawie zrealizowanych badań oraz analizy wyników pomiarów, zostały wyprowadzone wnioski, czy badany pojazd spełnia limity określone w normie czy też nie i czy może zostać dopuszczony do eksploatacji.

Słowa kluczowe: kompatybilność elektromagnetyczna, pomiary EMC, emisja zaburzeń, trakcja elektryczna

THE MEASUREMENTS OF ELECTROMAGNETIC NOISE EMITTED BY MODERN URBAN ELECTRIC TRACTION VEHICLE WITH CONVERTER CONTROLLED DRIVE

Abstract. This paper describes electromagnetic field measurements according to EN-50121 standards. Apart of the methodology of the measurements, it consists of the limits of electromagnetic disturbances from the electric traction urban vehicles. The measurements of the power electronics supplied tram were taken real conditions. The paper includes a proper comparison between radiated emission of the vehicle, ambient noise and the threshold values. Additionally, the problem of bandwidth changes was also mentioned and the conclusion whether the tram has obtained the positive or negative opinion was also carried out.

Keywords: electromagnetic compatibility, EMC measurements, noise emission, electric traction

Wstęp

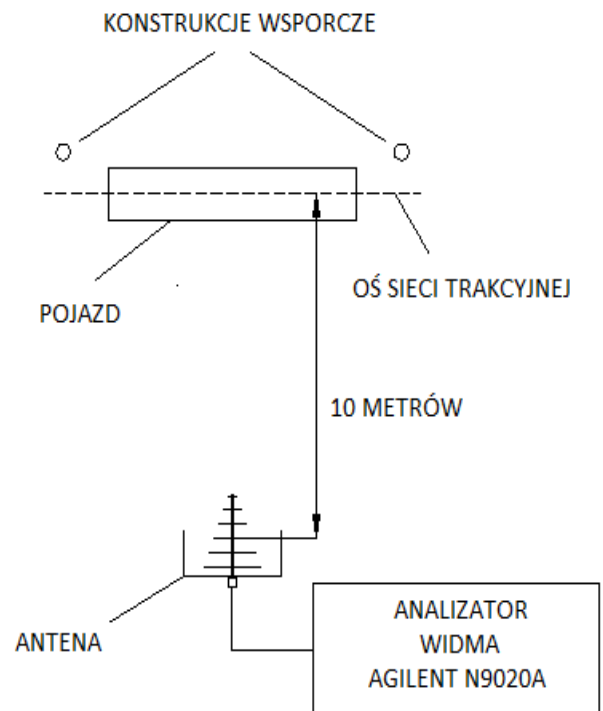
Obecnie, gdy na ulicach miast pojawiają się setki urządzeń elektrycznych i elektronicznych zagadnienia związane z badaniem zakłóceń i kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) stają się coraz bardziej istotne. Z każdym dniem przybywa nowych rozwiązań i technologii usprawniających funkcjonowanie urządzeń elektrycznych, które oprócz zalet posiadają szereg efektów ubocznych, takich jak emisja zakłóceń elektromagnetycznych do otoczenia. Już na etapie projektu, należy przeanalizować, czy konstruowane urządzenie nie stanie się obiektem zakłóceń elektromagnetycznych oraz czy samo nie stanie się ich źródłem powodującym niepoprawną pracę urządzeń funkcjonujących w jego otoczeniu. Szczególnie dużej emisji zakłóceń elektromagnetycznych można spodziewać się tam, gdzie występują wysokie napięcia oraz pobory dużej mocy. Systemem, który bezwzględnie jest poddawany badaniom zakłóceń elektromagnetycznych jest system trakcji elektrycznej. Pojazdy trakcyjne, często oprócz transportu międzyaglomeracyjnego, usprawniają komunikację w centrach miast, gdzie oprócz systemów silnoprądowych występuje szereg niskonapięciowych systemów elektronicznych, które mogą być przez nie zakłócanie. Poprawna i wolna od zbyt dużej emisji zakłóceń praca urządzeń trakcyjnych jest więc tu kluczową sprawą.

Pomiary zakłóceń elektromagnetycznych, promieniowanych w systemach trakcji elektrycznej regulują normy serii PN-EN-50121. Przed dopuszczeniem taboru trakcyjnego do ruchu, powinny być wykonane badania zgodne z wyżej wymienionymi normami.

1. Analiza standardów pomiarowych - norma PN-EN 50121-3-1

Norma PN-EN 50121-3-1 [6] jest jedną częścią zestawu norm poświęconych zagadnieniom kompatybilności elektromagnetycznej w systemach trakcji elektrycznej. Zeszyt ten poświęcony jest tematyce emisji zaburzeń elektromagnetycznych promieniowanych przez pojazdy trakcyjne w różnych systemach zasilania. Opisana w nim dokładna metodyka pomiarów pozwala na wykonanie stosownych badań, które są nieodłączną częścią badań homologacyjnych pojazdów. W części PN-50121-2 [5] zawarte są informacje ogólne niezbędne do wykonania badań.

Tabor trakcyjny należy, zgodnie z normą [6], badać podczas jazdy z małą prędkością oraz podczas postoju. Podczas jazdy z małą prędkością pojazd powinien poruszać się z prędkością 15-25 km/h, a na wysokości stanowiska pomiarowego powinien przyspieszyć lub zwolnić wykorzystując 1/3 siły maksymalnej w danym zakresie prędkości. Prędkość nie może być za duża, aby umożliwić poprawną współpracę pantograf – sieć (dot. pojazdów sieciowych), ani za mała, aby umożliwić hamowanie elektryczne. Podczas postoju, wszystkie przekształtniki pomocnicze powinny być w stanie pracy, przekształtniki trakcyjne natomiast, nieobciążone powinny być pod napięciem. Pojazd trakcyjny w trakcie pomiaru ma stać dokładnie naprzeciwko układu pomiarowego (rys.1), chyba, że istnieje inne miejsce o większej możliwej emisji zaburzeń.

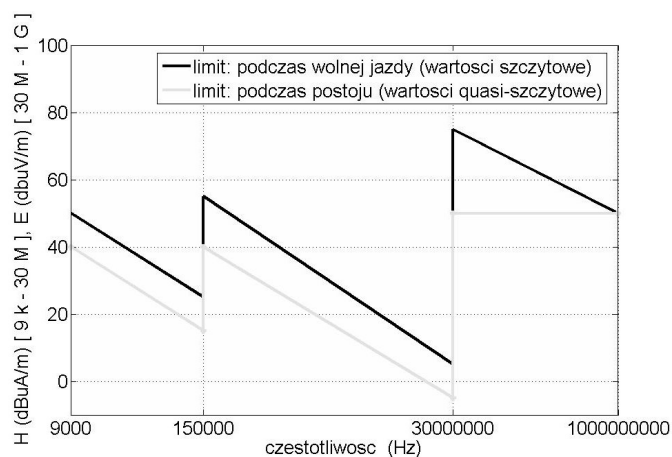


Rys. 1. Widok stanowiska pomiarowego

Warunki, które powinny być spełnione podczas wykonywania pomiarów zaburzeń promieniowanych przez pojazdy miejskie [2]:

- brak drzew, ścian, mostów, tuneli, pojazdów w promieniu minimum 10m;
- antena umiejscowiona pomiędzy konstrukcjami wsporczymi sieci trakcyjnej po przeciwnej ich stronie;
- brak podstacji trakcyjnych, izolatorów sekcyjnych, transformatorów, sekcji neutralnych czy innych nieciągłości przewodów trakcyjnych w promieniu 500m;
- unikać bliskości stacji energetycznych, linii przesyłowych;
- żaden inny pojazd nie może być na tej samej sekcji, co badany pojazd w odległości 2 km [gdy to jest niemożliwe tło należy mierzyć przed i po każdym cyklu pomiarowym].

Emisja zaburzeń elektromagnetycznych powinna mieścić się w limitach określonych w normie [6]. Dla testu „podczas wolnej jazdy” należy przyrównywać do limitów wartości uzyskane przez pomiar detektorem wartości szczytowych, dla testu „stacjonarnego” zaś, mniej restrykcyjnym detektorem wartości quasi – szczytowych.



Rys. 2. Limity emisji w zakresie częstotliwości 9kHz-1GHz

Podczas pomiarów warunki pogodowe są określone: prędkość wiatru mniejsza niż 10 m/s, temperatura powietrza większa niż 5°C, dostatecznie niska wilgotność względna w celu uniknięcia kondensacji na przewodach zasilających. Zaleca się również wykonywanie pomiarów przy pogodzie suchej (po 24h, w czasie których, nie spadło więcej niż 0,1mm deszczu) [5].

2. Wytyczne do badań emisyjności promieniowanej dla miejskich pojazdów trakcyjnych oraz opis sprzętu pomiarowego

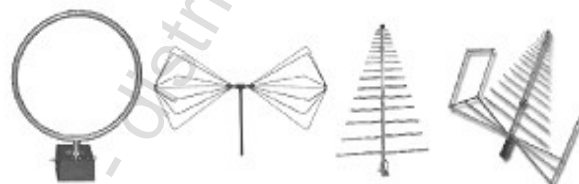
Pomiary należy wykonywać w paśmie częstotliwości ok. 9kHz do 1GHz, dzieląc to spektrum na 9 podzakresów według tabeli.

W paśmie 9kHz-150kHz, należy dokonać odpowiedniego przeliczenia wyników pomiarów, aby wymagana przez normę trakcyjną szerokość pasma (1kHz), potrzebna do rejestracji zaburzeń w ruchu była spójna z szerokością pasma określoną przez normę PN-EN-55016 (200Hz) [7].

Badania składowej magnetycznej wykonuje się w zakresie 9kHz-30MHz używając anteny pętlowej, składowej elektrycznej zaś, przy pomocy dwóch anten pomiarowych: dwustożkowej (pasmo 30MHz-300MHz) oraz logarytmiczno-okresowej (pasmo 300MHz-1GHz). Cały wymagany zakres pomiarowy dla składowej elektrycznej może być zarejestrowany za pomocą anteny hybrydowej (pasmo 30MHz-1GHz). Pomiarów zaburzeń dokonuje się w odległości 10 m od sieci trakcyjnej na poziomie od 1 do 2 m nad poziomem jezdni bądź główki szyny dla składowej magnetycznej oraz 3m dla składowej elektrycznej (rys. 1).

Tabela 1. Wytyczne do pomiarów EMC taboru trakcyjnego

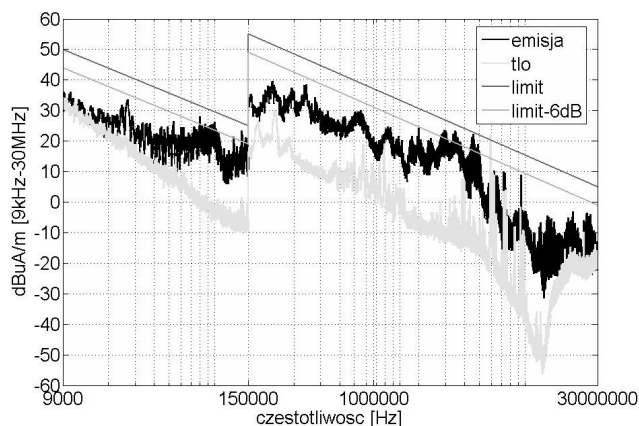
Podzakres [Hz]	Szerokość pasma [kHz]	Czas przemiatania [ms]
Pole magnetyczne		
9k-59k	1	300
50k-150k	1	300
150k-1,15M	9 lub 10	37
1M-11M	9 lub 10	370
10M-20M	9 lub 10	370
20M-30M	9 lub 10	370
Pole elektryczne		
30M-230M	100 lub 120	42
200M-500M	100 lub 120	63
500M-1G	100 lub 120	100



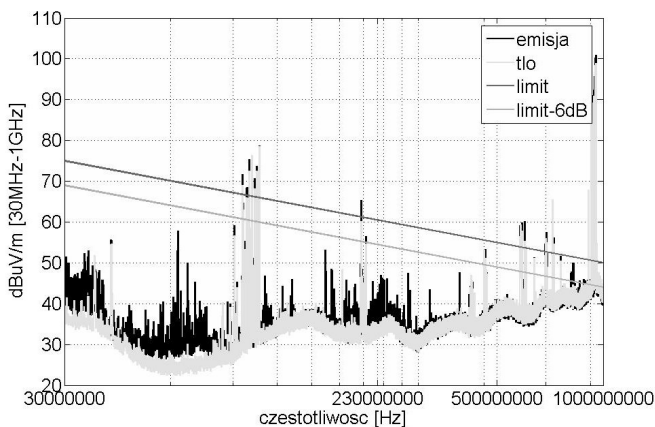
Rys. 3. Przykładowy zestaw anten pomiarowych. Od lewej: antena pętlowa, antena dwustożkowa, antena logarytmiczno-okresowa, antena hybrydowa [8]

3. Pomiary terenowe oraz graficzne przedstawienie wyników pomiarów

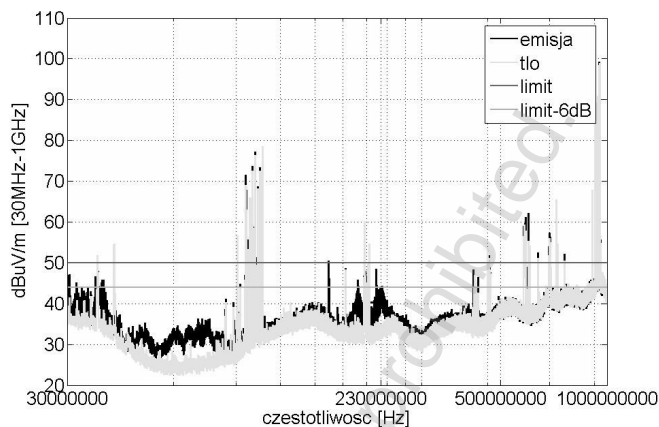
Pomiary zostały wykonane zgodnie z [4] w nocy w miejscu, w którym można było uzyskać normatywne warunki pomiarowe. W związku z porą nocną, żaden inny pojazd nie pobierał z sieci trakcyjnej 600 V DC energii, za czym idzie mniej skomplikowana procedura pomiarowa. Tło zostało zmierzone przed i po pomiarach, a nie przed i po każdym cyklu pomiarowym. Pojazd wyposażony był w napęd przekształtnikowy. Zasilanie układów pomocniczych było realizowane przez przetwornicę statyczną. Pomiary zostały wykonane przy użyciu analizatora widma oraz dwóch anten pomiarowych: anteny pętlowej oraz hybrydowej. Przy teście podczas postoju pojazd pracował w trybie szybkiego ładowania zasobnika energii, w którym prąd ładowania wynosił ok. 40 A. Przy teście w ruchu pojazd jechał z prędkością ok. 20 km/h i przy mijaniu anten przyspieszał rozwijając 1/3 maksymalnej siły trakcyjnej. Warunki pogodowe podczas pomiarów były normatywne.



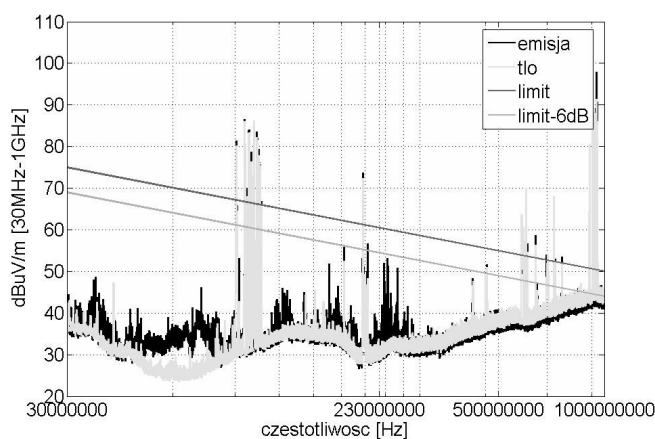
Rys. 4. Wartości emisji składowej magnetycznej przy teście w ruchu



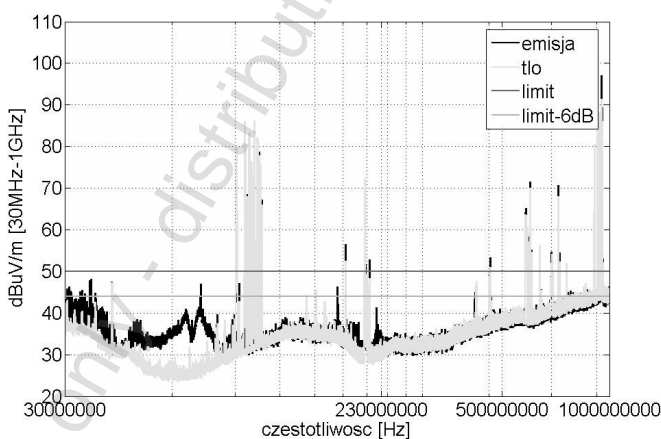
Rys. 5. Wartości emisji składowej elektrycznej pionowej przy teście w ruchu



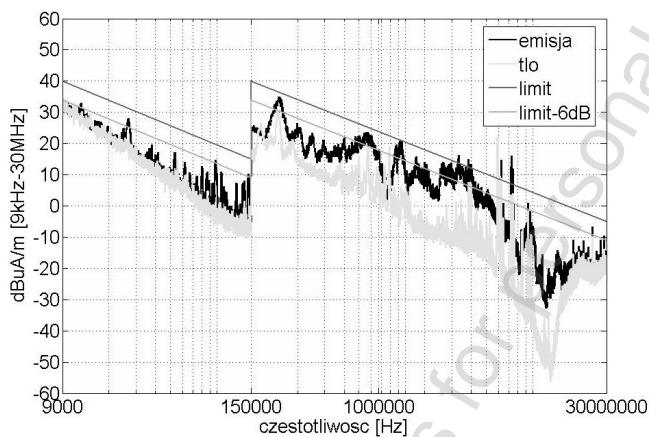
Rys. 8. Wartości emisji składowej elektrycznej pionowej przy teście przy postoju



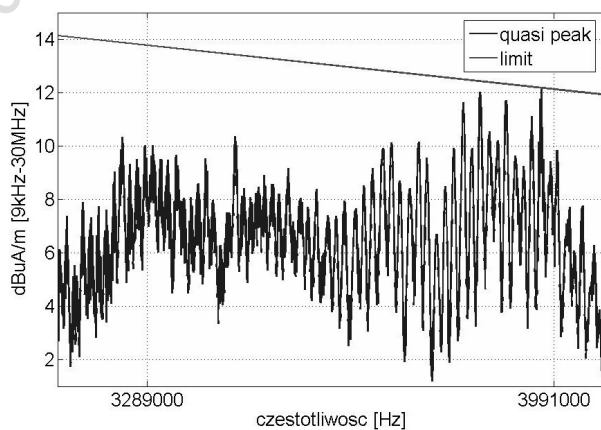
Rys. 6. Wartości emisji składowej elektrycznej poziomej przy teście w ruchu



Rys. 9. Wartości emisji składowej elektrycznej poziomej przy teście przy postoju



Rys. 7. Wartości emisji składowej magnetycznej przy teście przy postoju



Rys. 10. Wartości emisji w paśmie, w którym zaobserwowano przekroczenia zmierzone przy pomocy wymaganego, mniej restrykcyjnego detektora (wartości quasi - szczytowych)

4. Analiza szerokości pasma

Standardy CISPR (PN-EN 55016) przewidują badanie promieniowanych pól elektromagnetycznych, określając ustawienia odbiornika pomiarowego. Badania definiowane w zakresie 9kHz-1GHz, są podzielone na cztery zakresy pomiarowe (tzw. Pasmo A, Pasmo B oraz Pasmo C i D). Szerokość pasma podczas pomiarów w Paśmie A, wg wspomnianych standardów, wynosi 200 Hz. Norma [6] określająca badania zaburzeń

elektromagnetycznych emitowanych od pojazdów określa własne parametry ustawień odbiornika pomiarowego, które są wskazane do badań pojazdów trakcyjnych. W paśmie A, norma ta zaleca stosowanie szerokości pasma równego 1kHz, a następnie przeliczanie otrzymanych wyników tak aby były zgodne z zatwierdzonymi szerokościami pasma. Należy zatem wartości emisji zaburzeń, które otrzymano przy innych ustawieniach analizatora, poddać konwersji, wprowadzając odpowiedni współczynnik korekcji (CF).

$$CF1 = 20 \log \frac{BW_{6ref}}{BW_{actual}} \quad (1)$$

$$CF2 = 10 \log \frac{BW_{6ref}}{BW_{actual}} \quad (2)$$

gdzie: CF – współczynnik korekcji, BW_{6ref} – szerokość pasma zatwierdzonego dla konkretnego pasma pomiarowego (A,B,C,D), BW_{actual} – szerokość pasma zastosowanego.

W zależności od rodzaju sygnału pomiarowego należy przyjąć jeden z wymienionych współczynników korekcji. Dla sygnałów koherentnych (CF1): sygnały impulsowe pochodzące od powtarzalnych sygnałów takich jak zasilacze przełączalne (impulsowe), komutatory, systemy zapłonowe, lampy fluorescencyjne (światówki, jarzeniówki) Dla sygnałów nie koherentnych (CF2): lampy gazowe DC, wyładowania koronowe [1].

Stosując się do zaleceń norm i dokonując odpowiedniej korekty zmierzonej wartości zaburzeń można, w zależności od zastosowanego współczynnika korekcji (CF1 lub CF2) odjąć 13,97dB bądź 6,98dB. Różnica tych wartości jest na tyle duża, że często może być kluczowa w sprawach spełnienia przez tabor określonych przez normę PN-EN-50121-3-1 wartości zaburzeń, dlatego istotne jest aby świadomie dokonać korekcji i wiedzieć czy badane źródło traktować jako koherentne czy też nie.

5. Wnioski

Wynik pomiarów określonych przez opisywane normy jest pozytywny. Nie stwierdzono przekroczeń limitów przez badany pojazd w zakresie wymagań dotyczących emisyjności elektromagnetycznej określone w normie [6].

Wartości emisji przy postoju były zmierzone za pomocą detektora wartości szczytowej. Norma wymaga mniej restrykcyjnego detektora (wartości quasi szczytowej), dlatego przekroczenie widoczne na rys. 7 zostało przedstawione na rys. 10, który sporządzono w oparciu o pomiary wymaganych, mniej restrykcyjnym detektorem. Jak można zauważyć na tym wykresie,

przekroczenia nie występują, a emisja mieści się całkowicie pod limitem określonym w normie. Badania detektorem quasi-szczytowym trwają bardzo długo, a w związku z tym, że wartości uzyskane przy takiej detekcji są zazwyczaj mniejsze bądź równe wartościom uzyskanym przy użyciu detektora wartości szczytowych [3], używa się go tylko w przypadkach przekroczeń wartości szczytowych w określonych pasmach.

Wszystkie pasma częstotliwości, w których tło przekracza „limit-6dB” [rys. 4 – rys. 9] według wskazań normy PN-EN-50121-3-1 nie zostały wzięte pod uwagę przy ocenie wyników.

Wszelkie inne przekroczenia limitów (widoczne w graficznym przedstawieniu wyników pomiarów [rys. 4 – rys. 9]).

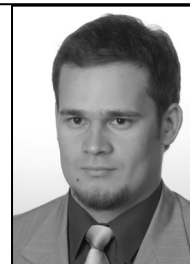
Literatura

- [1] Bare D., Parker T., *Separate emissions by bandwidth*. Elliott Laboratories, Sunnyvale, CA - Test & Measurement World, 2/1/2002.
- [2] Patoka M. *The measurements of the chopper supplied tram electromagnetic field emission*. Konferencja Transcom 2011, Zilina, Słowacja VI 2011
- [3] Sroka J. *Niepewność pomiarowa w badaniach EMC, Pomiary emisyjności radioelektrycznej*. OWPW, 2010
- [4] Procedura testowania i oceny poprawności wyników uzyskiwanych przez sprzęt pomiarowy do badania EMC wg normy PN-EN 50121-3-1. Zakład Trakcji Elektrycznej PW, 2010 r.
- [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-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*.
- [8] www.ahsystems.com

Mgr inż. Marek Patoka

e-mail: marek.patoka@wp.pl

Autor jest uczestnikiem studiów doktoranckich w Zakładzie Trakcji Elektrycznej Politechniki Warszawskiej, gdzie również pracuje na stanowisku asystenta. Sprawami kompatybilności elektromagnetycznej zajmuje się od 2009r, w którym to obronił pracę magisterską na temat analizy i pomiarów pól elektromagnetycznych promieniowanych przez urządzenia trakcyjne.



STUDIA PODYPLOMOWE NA WYDZIALE ELEKTROTECHNIKI I INFORMATYKI POLITECHNIKI LUBELSKIEJ



SYSTEMY STEROWANIA I NADZORU W BUDYNKACH

CHARAKTERYSTYKA

Celem studiów jest dostarczenie słuchaczom specjalistycznej wiedzy z zakresu nowoczesnych systemów sterowania i nadzoru wykorzystywanych do zarządzania infrastrukturą techniczną obiektów budowlanych.

Zakres zajęć obejmuje przekazanie informacji teoretycznych i praktycznych umiejętności z zakresu projektowania i obsługi klasycznych instalacji elektrycznych, nowoczesnych systemów sterowania, systemów opartych na sterownikach swobodnie programowalnych oraz otwartych systemach magistralnych (EIB), zapoznanie studentów ze współczesnymi systemami zapewnienia użytkownikowi bezpieczeństwa w obiekcie. Zostaną szczegółowo przedstawione systemy sygnalizacji włamania i napadu, systemy kontroli dostępu oraz systemy monitoringu wizyjnego.

PRZEBIEG STUDIÓW

Dwa semestry. 222 godzin

111 godzin w każdym semestrze.

6 zjazdów (sobota – niedziela) w semestrze.

Planowany termin rozpoczęcia studiów: październik 2012.

Nabór wolny.

Liczba miejsc ograniczona.

Decyduje kolejność zgłoszenia.

INFORMACJE SZCZEGÓLWE

Telefon: 81 53-84-299

Lublin, ul. Nadbystrzycka 38A, pokój 416C

E-mail: we.kike@pollub.pl

Internet: www.systemy.pollub.pl

Zapisy: do 30.09.2012