

Analiza emisji promieniowanej pojazdów spalinowych

Streszczenie. Artykuł dotyczy problemów kompatybilności elektromagnetycznej platform mobilnych dla pojazdów wojskowych. Emisje pochodzące z różnego typu silników spalinowych mają duży wpływ na pracę pozostałych elementów elektronicznych montowanych na tych pojazdach. W artykule zaprezentowana została metodologia pomiaru emisji promieniowanej od pojazdów z różnymi silnikami spalinowymi oraz przedstawiono i opisano stanowisko laboratoryjne do pomiaru emisji promieniowanej.

Abstract. This article refers to EMC problems of electromagnetic compatibility of mobile platforms for military vehicles. Emissions from different types of combustion engines have a big impact on the work of other electronic components mounted on these vehicles. This article presents a methodology of measuring radiated emissions from vehicles with combustion engines, as well as describes the laboratory stand for measurement of radiated emissions. **Analysis of radiated emissions of vehicle internal combustion**

Słowa kluczowe: kompatybilność elektromagnetyczna, emisja promieniowana, ekranowanie.

Keywords: electromagnetic compatibility, radiated emissions, shielding.

doi:10.12915/pe.2014.07.53

Wstęp

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wyników pomiaru natężenia pola elektrycznego (poziomu zaburzeń promieniowanych) emitowanego przez badane pojazdy spalinowe oraz agregat prądowłórczy w zakresie częstotliwości od 10kHz do 6GHz. Do pomiarów wykorzystano komorę bezodbiwołą wraz z aparaturą pomiarową znajdującą się w Laboratorium Kompatybilności Elektromagnetycznej na Wydziale Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej. W celu analizy uzyskanych wyników poziomu zaburzeń promieniowanych wykonano pomiary natężenia pola elektrycznego dla następujących pojazdów i agregatu:

- pojazd spalinowy typu QUAD (wewnątrz komory bezodbiwołej),
- pojazd spalinowy typu DROMADER (wewnątrz komory bezodbiwołej),
- agregat prądowłórczy HONDA (wewnątrz komory bezodbiwołej),
- samochód osobowy z zapłonem iskrowym SKODA FABIA 1,2 HTP (poza komorą bezodbiwołą),
- samochód osobowy z silnikiem wysokoprężnym FORD FOCUS 1,8 TDCI (poza komorą bezodbiwołą).

Pomiary wykonane zostały w paśmie częstotliwości od 10kHz do 6GHz w oparciu o procedurę PRE 02 normy NO-06-A500 oraz szerokopasmową procedurę pomiaru emisji promieniowanej w dziedzinie czasu.

Metodyka badań

W komorze bezodbiwołej

Badane urządzenia były testowane w zakresie umożliwiającym pomiar natężenia pola elektrycznego bazując na procedurach pomiarowych opisanych w normach NO-06-A200 i NO-06-A500 w zakresie pomiaru dopuszczalnego poziomu zaburzeń promieniowanych dla częstotliwości od 10kHz do 6GHz dla urządzeń wojskowych.

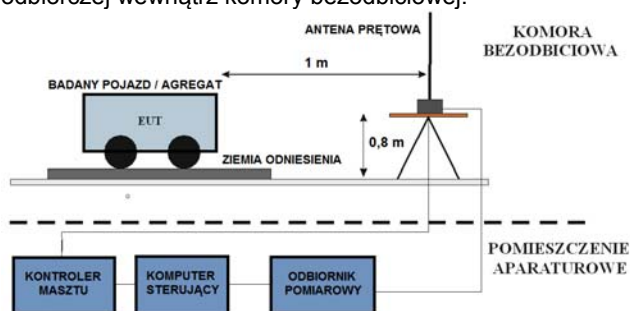
Pomiary zaburzeń promieniowanych emitowanych przez badane urządzenia wykonano w odległości 1m od urządzenia za pomocą anten pomiarowych i odbiornika pomiarowego dla polaryzacji pionowej i poziomej anten pomiarowych (dla zakresu powyżej 30MHz). Do sterowania procesem pomiarowym wykorzystano specjalistyczne oprogramowanie EMC32 produkowane przez firmę Rohde&Schwarz. Program ten umożliwia wykonanie podstawowych czynności przygotowawczych oraz pomiarów i wykonanie odpowiednich wykresów prezentujących uzyskane wyniki. Dodatkowo aplikacja

umożliwia przeprowadzenie wstępnej analizy uzyskanych wyników. Oprogramowanie to realizuje wyliczenia natężenia pola elektrycznego w miejscu zainstalowania anteny pomiarowej za pomocą zależności:

$$(1) \quad E = U_{IN} - T - K,$$

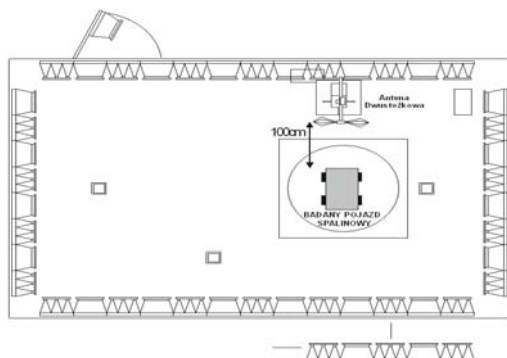
gdzie: E – natężenie pola elektrycznego w miejscu zainstalowania anteny pomiarowej wyrażone w [dBμV/m], U_{IN} – poziom sygnału na wejściu odbiornika pomiarowego wyrażone w [dBμV], T – tłumienie toru w.c.z. łączącego antenę pomiarową z wejściem odbiornika pomiarowego wyrażone w [dB], K – współczynnik korekcyjny zastosowanej anteny pomiarowej uwzględniający powierzchnię skuteczną anteny wyrażony w [dB/m].

Schemat blokowy stanowiska do pomiaru przedstawiono na rysunku 1. Na rysunku 2 przedstawiono rozmieszczenie badanego urządzenia oraz anteny odbiorczej wewnątrz komory bezodbiwołej.



Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego do pomiaru zaburzeń promieniowanych wykorzystujący aktywną antenę prętową z zasilaczem bateryjnym typu SAS 550-2B

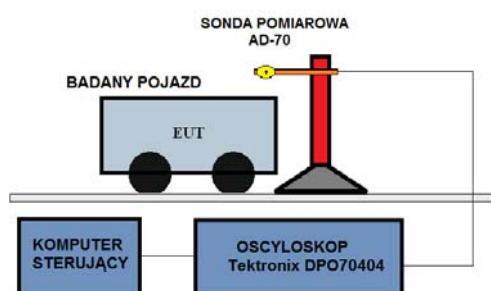
Pomiary zaburzeń promieniowanych podzielono na cztery etapy ze względu na ograniczenia zakresu częstotliwości poszczególnych anten pomiarowych. W pierwszym etapie był realizowany pomiar zaburzeń w zakresie 10kHz÷30MHz za pomocą aktywnej anteny z zasilaczem bateryjnym SAS-550-2B, w drugim etapie mierzono zaburzenia w zakresie 30÷161MHz za pomocą anteny dwustożkowej SAS-544, w trzecim etapie realizowano pomiary zaburzeń w zakresie 161÷1000MHz za pomocą dipolowej anteny aktywnej ADA-3010/A, w czwartym etapie wykonywano pomiary zaburzeń w zakresie 1÷18GHz za pomocą grzbietowej anteny tubowej typu DRG-118/A.



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia anteny dwustożkowej typu SAS 544 względem obiektu badań w komorze bezodbiłkowej

Poza komorą bezodbiłkową

Pojazdy osobowe ze względu na swoją masę (ponad 1000kg) nie mogły zostać zbadane wewnątrz komory bezodbiłkowej. Konfigurację stanowiska do pomiaru za pomocą szerokopasmowego odbiornika w dziedzinie czasu przedstawia rysunek nr 3.



Rys. 3. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego do pomiaru zaburzeń promieniowanych wykorzystujący oscyloskop DPO70404

W skład stanowiska wchodzi: odbiornik sygnału pierwotnego oraz komputer typu laptop firmy DELL.

Zestaw odbiornika sygnałowego do pomiaru natężenia pola elektrycznego zawierał: sensor pomiarowy Prodyn AD-70, oscyloskop Tektronix model DPO70404 oraz komputer wykorzystywany do sterowania i obliczenia natężenia pola. Sensor firmy Prodyn AD-70 realizował pomiar pochodnej wektora indukcji elektrycznej w czasie. Do odbioru sygnału pochodzącego z sensora AD-70 wykorzystano oscyloskop DPO70404 posiadający cztery kanały analogowe każdy o paśmie 4GHz wraz z możliwością pobierania próbek w czasie rzeczywistym z częstotliwością próbkowania 25[GS/s]. Do obliczeń wykorzystano oprogramowanie Excel z zainstalowanymi makrami pozwalające na analizę otrzymanych wyników poprzez całkowanie i następnie obliczenie transformaty Fouriera.

Dzięki oprogramowaniu zainstalowanemu w laptopie możliwe było wyliczenie natężenia pola elektrycznego w miejscu instalacji sensora, poprzez wykorzystanie zależności:

$$(2) \quad V_o = RA_{eq} dD / dt ,$$

gdzie: V_o – napięcie na wyjściu sensora [V], R – rezystancja obciążenia sensora [Ω], dD/dt – pierwsza pochodna wektora indukcji elektrycznej po czasie [$C/s \cdot m^2$] ($\vec{D} = \epsilon_o \vec{E}$), A_{eq} – powierzchnia równoważna sensora [m^2].

Wszelkie obliczenia wykonywane były na dostarczonym komputerze z wykorzystaniem makr arkusza kalkulacyjnego przygotowanego przez producenta sprzętu pomiarowego DIEHL.

Charakterystyka EUT

Pojazd spalinowy typu QUAD

Badany pojazd jest pojazdem kołowym, benzynowym

o masie własnej równej 160kg. Jego ładowność wynosi ok. 180kg. Pojazd posiada możliwości manualnego sterowania przez operatora bądź automatycznego sterowania elektrycznego poprzez siłownik elektromechaniczny zamieszczony na pojeździe.

Pojazd spalinowy typu DROMADER

Badany pojazd jest pojazdem gaśnicowym, z silnikiem typu diesel. Zadaniem taktycznego robota inżynierskiego Dromader jest wsparcie (transport amunicji, broni, racji żywnościowych) misji pieszych pododdziałów w trudnodostępnym terenie, w czasie 1-3 dni. Ponadto może być on nośnikiem systemów rozpoznania pola walki. Robot ma możliwość manualnego sterowania przez operatora, jak również autonomicznego trybu podążania za przewodnikiem.

Agregat prądowocowy typu HONDA

Jest to agregat prądowocowy typu EU20i firmy HONDA. Charakteryzuje się kompaktową, walizkową obudową, bardzo małą masą (21kg) w stosunku do generowanej mocy wynoszącej 2kV·A. Agregat posiada również regulator obrotów (tzw. Eco Throttle), który znacznie zmniejsza zużycie paliwa. Najważniejszą cechą agregatu jest inwerterowa prądnica dzięki której można zasilać wszystkie elektroniczne urządzenia m.in.: laptopy, wzmacniacze akustyczne, monitory itp.

Pojazd osobowy SKODA

Badany model SKODY FABIA 2004 wyposażony był w silnik benzynowy o pojemności 1,2 l 12V HTP 54kW.

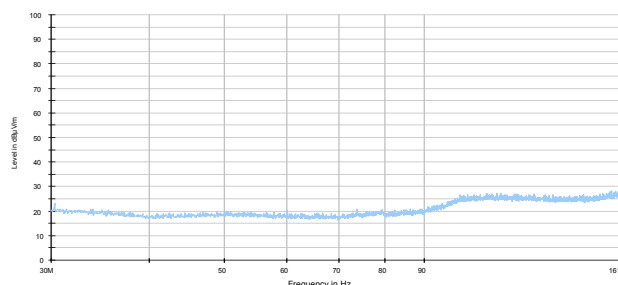
Pojazd osobowy FORD

Badany model FORDA FOCUSA 2008 wyposażony był w silnik wysokoprężny o pojemności 1,8 l 8V TDCI 85kW.

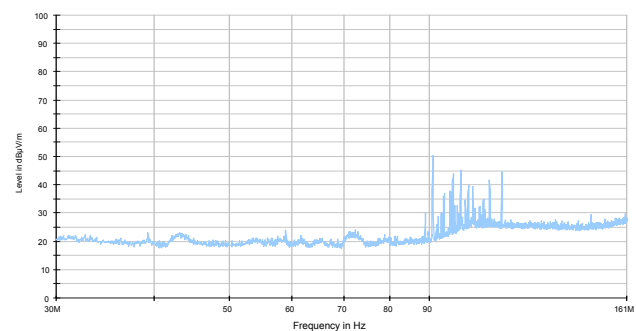
Wszystkie badane pojazdy oraz agregat prądowocowy testowane były podczas pracy na biegu jałowym bez włączonych dodatkowych układów i odbiorników.

Wyniki pomiarów

Przed przystąpieniem do pomiarów zasadniczych dokonano pomiaru poziomu tła zakłóceń środowiskowych wewnątrz komory bezodbiłkowej i poza komorą w poszczególnych zakresach pomiarowych. Wyniki pomiarów tła komory bezodbiłkowej dla jednego z zakresów pomiarowych przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Poziom tła zakłóceń środowiskowych w komorze bezodbiłkowej dla zakresu 30MHz – 161MHz



Rys. 5. Poziom tła zakłóceń środowiskowych poza komorą dla zakresu 30MHz – 161MHz

Na rysunku 5 przedstawiono poziom tła zakłóceń środowiskowych poza komorą dla tego samego zakresu częstotliwości.

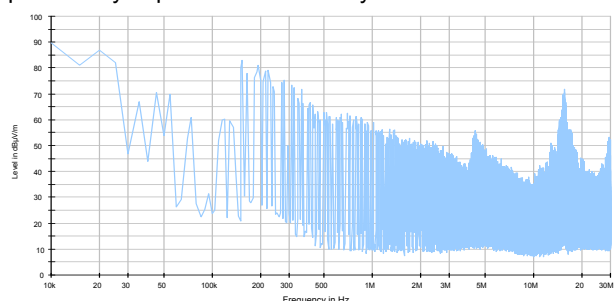
Pojazd spalinowy typu QUAD

Wygląd pojazdu oraz rozmieszczenie anten pomiarowych względem obiektu badań w komorze bezodbiorniczej przedstawiono na rys. 6.

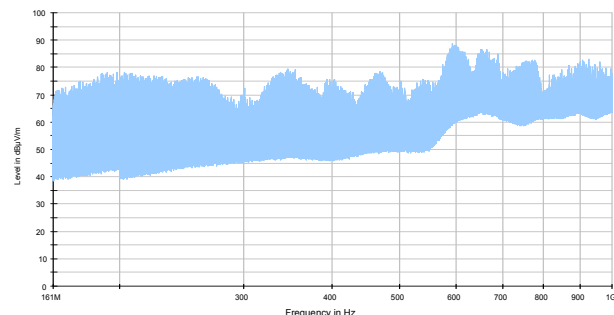


Rys. 6. Stanowisko do badań

Poziomy zaburzeń promieniowanych emitowane przez badany pojazd spalinowy w wybranych zakresach pomiarowych przedstawiono na rysunkach 7 i 8.



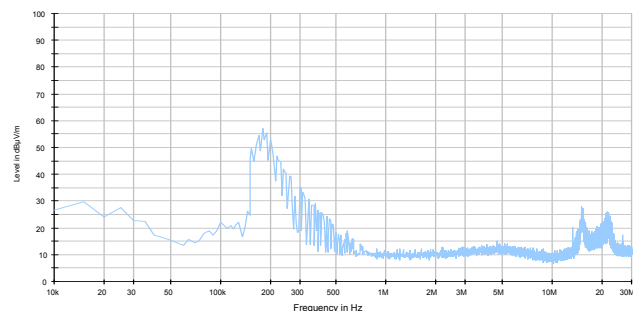
Rys. 7. Poziomy zaburzeń dla zakresu 10kHz - 30MHz



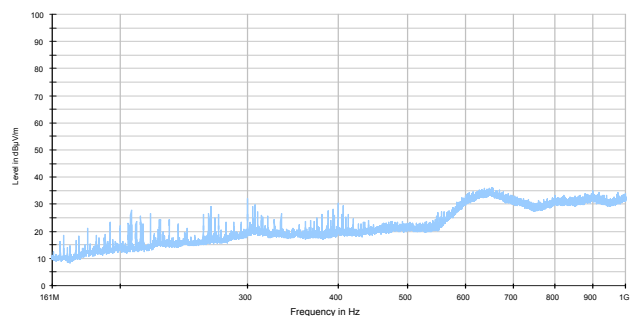
Rys. 8. Poziomy zaburzeń dla zakresu 161MHz - 1000MHz

POJAZD SPALINOWY TYPU DROMADER

Poziomy zaburzeń promieniowanych emitowane przez badany pojazd spalinowy typu DROMADER w wybranych zakresach pomiarowych przedstawiono na rysunkach 9 i 10.



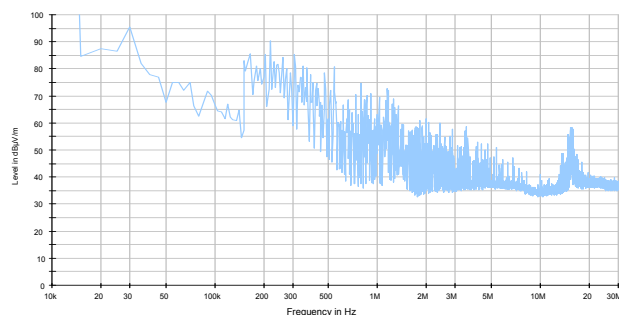
Rys. 9. Poziomy zaburzeń dla zakresu 10kHz - 30MHz



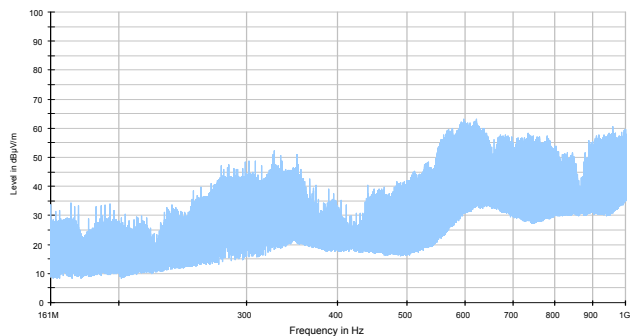
Rys. 10. Poziomy zaburzeń dla zakresu 161MHz - 1000MHz

Agregat prądotwórczy typu HONDA

Poziomy zaburzeń promieniowanych emitowane przez badany agregat prądotwórczy typu HONDA w wybranych zakresach pomiarowych przedstawiono na rysunkach 11 i 12.



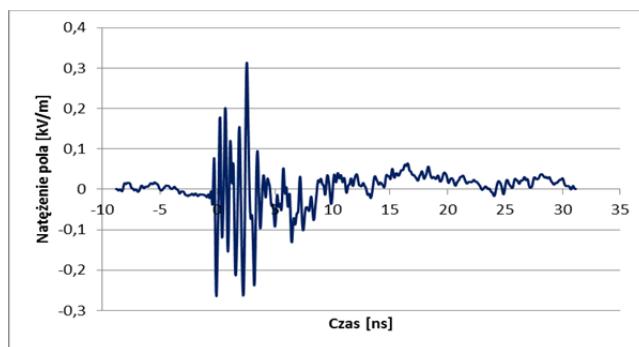
Rys. 11. Poziomy zaburzeń dla zakresu 10kHz - 30MHz



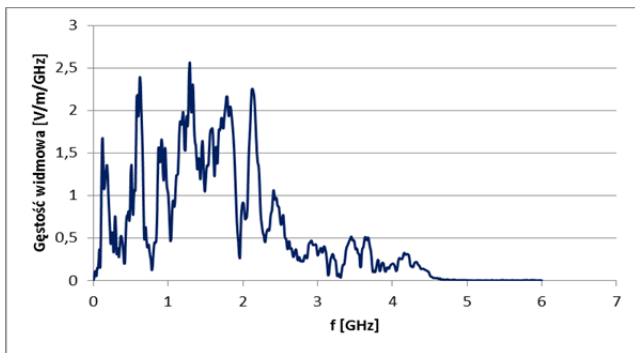
Rys. 12. Poziomy zaburzeń dla zakresu 161MHz - 1000MHz

Pojazd osobowy SKODA

Na rysunku 13 przedstawiony został poziom natężenia pola elektrycznego emitowanego przez pojazd Skoda Fabia w funkcji czasu, a na rysunku 14 widmo emisji promieniowanej.



Rys. 13. Poziomy natężenia pola elektrycznego

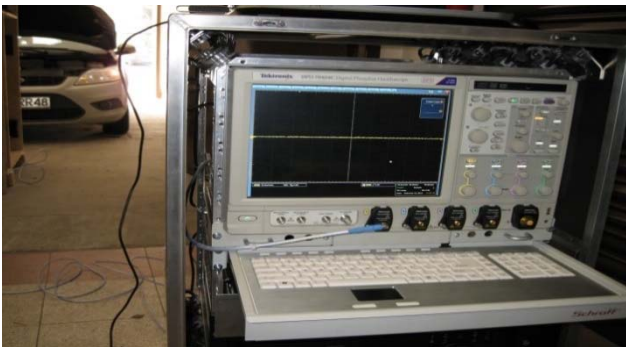


Rys. 14. Widmo emisji promieniowanej

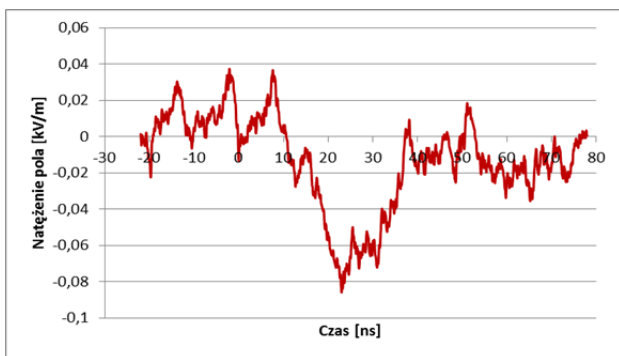
Pojazd osobowy FORD

Wygląd pojazdu Ford Focus podczas badań poza komorą bezodbiwoją przedstawiono na rysunku 15.

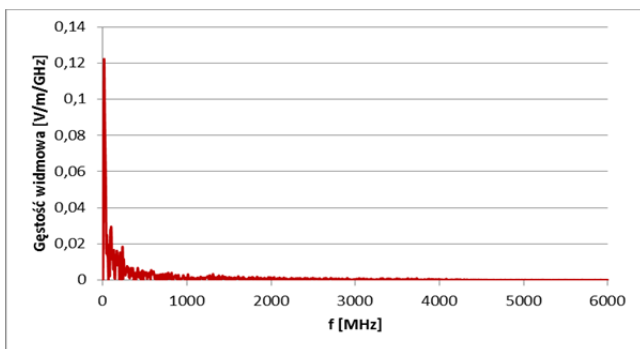
Na rysunku 16 przedstawiony został poziom natężenia pola elektrycznego emitowanego przez pojazd Ford Focus w funkcji czasu, a na rysunku 17 widmo emisji promieniowanej.



Rys. 15. Stanowisko do badań



Rys. 16. Poziom natężenia pola elektrycznego



Rys. 17. Widmo emisji promieniowanej

Wnioski

Na podstawie pomiarów wykonanych w komorze bezodbiwoją na stanowisku pomiarowym (zgodnie z NO-06-A500 i NO-06-A200) można stwierdzić, iż pojazdy posiadające silniki wysokoprężne (diesla) charakteryzują się niższymi poziomami emisji promieniowanej w badanym zakresie częstotliwości (30MHz – 6GHz) w stosunku do pojazdów z silnikami z zapłonem iskrowym. Badania przeprowadzone na pojazdach specjalnych w komorze bezodbiwoją potwierdzone zostały pomiarami przeprowadzonymi poza komorą bezodbiwoją w dziedzinie czasu. Samochód osobowy wyposażony w silnik diesla emitował promieniowanie o maksymalnym natężeniu pola elektrycznego 40V/m, natomiast poziom emisji promieniowanej pojazdu z silnikiem o zapłonie iskrowym przekraczał 300V/m. Poziomy emisji promieniowanych od pojazdu z zapłonem iskrowym przewyższają poziomy emisji promieniowanych generowanych przez urządzenia informatyczne IT [2][3][4].

Na podstawie wyników pomiarów emisji promieniowanej można stwierdzić, że pojazdy z silnikami diesla będą w mniejszym stopniu wpływać na urządzenia elektroniczne zainstalowane na ich pokładzie. Ma to istotne znaczenie w przypadkach instalowania na tych platformach specjalnych, czułych na pole elektromagnetyczne układów elektroniki.

LITERATURA

- [1] R. Przesmycki, L. Nowosielski, M. Bugaj, M. Wnuk, K. Piwowarczyk - Analiza stabilności poziomów emisyjności komputerów przenośnych, Przegląd Telekomunikacyjny, ISSN 1230-3696, 12.09.2012-14.09.2012r, str: 873-880.
- [2] R. Przesmycki, L. Nowosielski, M. Bugaj, K. Piwowarczyk, Analysis of radiated emission from IT devices PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, Volume 88, Issue 2, 2012, Page 4-6, ISSN: 0033-2097.
- [3] R. Przesmycki, M. Wnuk, L. Nowosielski, K. Piwowarczyk, M. Bugaj, The conducted and radiated emission levels from IT devices, Progress in Electromagnetics Research Symposium, PIERS 2012 Kuala Lumpur, Malaysia, March 2012, Pages 77-81, ISSN: 15599450 ISBN: 978-193414220-2.
- [4] R. Przesmycki, L. Nowosielski, M. Wnuk, M. Bugaj, Analysis of conducted and radiated emission from IT devices in the frequency band 0,15MHz - 6000MHz, 11th Mediterranean Microwave Symposium, MMS 2011, Hammamet, Tunisia, ISSN: 21579822 ISBN: 978-145771815-1.

Autorzy: mgr inż. Kazimierz Piwowarczyk, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: kpiwowarczyk@wat.edu.pl; mgr inż. Rafał Przesmycki, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: rprzesmycki@wat.edu.pl; dr inż. Leszek Nowosielski, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: lnowosielski@wat.edu.pl