

**Paweł MROCZKOWSKI**

Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom

## **MINIMALIZACJA ZAKŁÓCEŃ PODCZAS BADAŃ EMISJI ZABURZEŃ RADIOELEKTRYCZNYCH NA OTWARTYM POLU POMIAROWYM**

### **Słowa kluczowe**

Emisja zaburzeń radioelektrycznych, poligon pomiarowy, miernik zakłóceń, absorbery, płytki ferrytowe.

### **Streszczenie**

W artykule zaprezentowano metodę minimalizacji zakłóceń w procesie badania emisji zaburzeń radioelektrycznych urządzeń badanych na otwartym poligonie doświadczalnym. Opisano metodykę oraz stanowisko do badania zakłóceń. Omówiono sposoby redukcji zakłóceń i sposób doboru elementów ekranów w celu zapewnienia jak najmniejszego tła zakłóceń. Opisano zbudowane ekrany jak i elementy, z których powstały. Omówiono badania zbudowanych ekranów na otwartym poligonie doświadczalnym oraz przedstawiono wyniki badania emisji zaburzeń przykładowego urządzenia elektrycznego w zestawieniu z wynikami pomiaru tła.

### **Wprowadzenie**

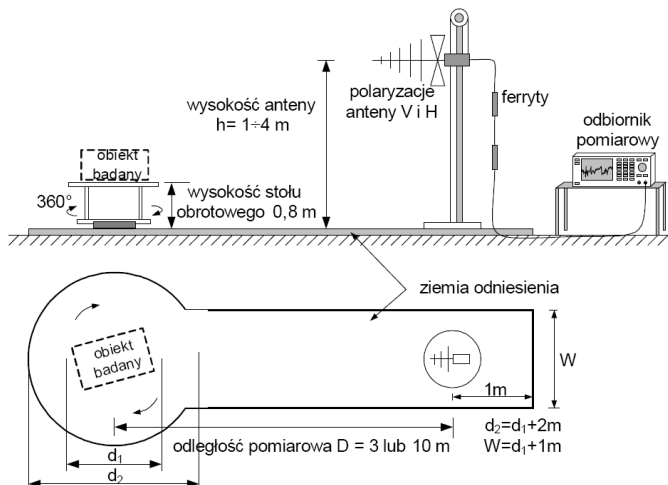
Wszystkie urządzenia elektryczne powinny być tak zbudowane, aby były bezpieczne dla użytkowników. Ich praca nie powinna zakłócać pracy innych przyrządów. Jednocześnie urządzenia powinny być odporne na zakłócenia innych mechanizmów. Dlatego wszystkie urządzenia powinny być przebadane

zgodnie z normami zharmonizowanymi dyrektywy EMC (Kompatybilność Elektromagnetyczna) w celu potwierdzenia ich kompatybilności i możliwości oznaczenia ich znakiem CE. Jednym z badań zgodności wyrobów dla oznakowania CE, jest pomiar natężenia pola zaburzeń radioelektrycznych emitowanych przez badane urządzenie w zakresie częstotliwości od 30 MHz do 1 GHz. Badania te wykonywane są na stanowisku badawczym na poligonie pomiarowym. Poligon narażony jest na negatywne oddziaływanie zakłóceń wysyłanych przez wszelkiego rodzaju zewnętrzne źródła, fałszujące wyniki wykonywanych pomiarów. Budowa odpowiedniego systemu minimalizacji wpływu zewnętrznych zakłóceń na przebieg badania pozwala na przeprowadzanie badań z większą dokładnością pomiarową oraz pozwala na znacznie lepsze zbadanie zakłóceń emitowanych przez urządzenie badane.

### 1. Stanowisko badawcze do pomiaru emisji zaburzeń

Badanie emisji zakłóceń zgodnie z normą CISPR 16-1 [1] przeprowadza się na otwartym polu pomiarowym. Pole pomiarowe powinno być płaskie, wolne od linii przesyłowych napowietrznych i bliskich obiektów odbijających fale radioelektryczne oraz o takich wymiarach, aby zapewnić ustawienie anteny w znormalizowanej odległości pomiarowej oraz zachować odpowiednią separację przestrzenną między anteną, badanym urządzeniem a odbijającymi przedmiotami. Przez przedmioty odbijające rozumie się przedmioty wykonane w większości z materiałów przewodzących. Pole pomiarowe powinno być wyposażone w poziomą metalową płytę ziemi odniesienia. Stanowisko do pomiaru składa się ze stołu obrotowego oraz dielektrycznego masztu antenowego z anteną pomiarową [1]. Badanie emisyjności promieniowanej urządzenia polega na sprawdzeniu, w zadanym paśmie częstotliwości, jego pełnej charakterystyki promieniowania i określeniu wartości natężenia pola elektrycznego na kierunku maksymalnego promieniowania. Podczas pomiaru badane urządzenie umieszcza się na izolowanej podstawie na wysokości 0,8 m nad ziemią odniesienia. Wyszukiwanie kierunku maksymalnego promieniowania odbywa się poprzez obrót badanego urządzenia w płaszczyźnie poziomej w zakresie kątów od  $0^\circ$  do  $360^\circ$  oraz zmianę wysokości zawieszenia anteny pomiarowej  $h$  w przedziale od 1 m do 4 m (dla  $D = 3$  lub 10 m). Pomiary te przeprowadza się dla pionowej i poziomej polaryzacji anteny pomiarowej. Przewody zasilające oraz pomiarowe powinny być poprowadzone w taki sposób, aby ich wpływ na wyniki pomiarów był jak najmniejszy [5]. Natężenie pola elektromagnetycznego mierzone przez antenę pomiarową stanowi sumę wektorową pola elektromagnetycznego promieniowanego w kierunku promienia bezpośredniego oraz promienia odbitego od powierzchni płaszczyzny odniesienia. Jego wartość zależy od kształtu i wymiarów badanego obiektu, rozłożenia w nim wewnętrznych źródeł zakłóceń, paramet-

trów elektrycznych oraz rozmiaru ziemi odniesienia, nad którą wykonuje się pomiary odległości pomiarowej (kąta padania fali) i polaryzacji fali.



Rys. 1. Stanowisko do pomiaru zakłóceń promieniowanych – poligon pomiarowy [2, 7]

Badane urządzenie powinno spełniać wymagania w zakresie dopuszczalnych poziomów zakłóceń podanych w tabelach 1 i 2 przy pomiarach w odległości 10 m. Jeśli wskazania miernika zakłóceń wykazują fluktuacje w pobliżu dopuszczalnej wartości zakłóceń, wówczas dla każdej częstotliwości pomiarowej należy obserwować wskazania przez co najmniej 15 sekund, notując wartość najwyższą. Pomija się krótkotrwałe, pojedyncze wysoki wskazań przyrządu pomiarowego.

Tabela 1. Dopuszczalne poziomy natężenia pola zakłóceń dla urządzeń klasy A w odległości 10 m [7]

Zakres częstotliwości MHz	Dopuszczalne poziomy dla wartości quasi-szczytowej dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ )
od 30 do 230	40
od 230 do 1000	47

Tabela 2. Dopuszczalne poziomy natężenia pola zakłóceń dla urządzeń klasy B w odległości 10 m [6, 7]

Zakres częstotliwości MHz	Dopuszczalne poziomy dla wartości quasi-szczytowej dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ )
od 30 do 230	30
od 230 do 1000	37

## 2. Sposoby minimalizacji zakłóceń

Najskuteczniejszym oraz najdroższym sposobem eliminacji zakłóceń podczas badania emisji jest przeprowadzenie badania w komorze bezodbiciowej. Komory bezodbiciowe są to pomieszczenia w kształcie prostopadłościanu wyposażone w ekrany ograniczające wpływ zewnętrznych pól elektromagnetycznych pochodzących ze środowiska elektromagnetycznego oraz wewnętrzne powłoki (absorbery) pochłaniające energię promieniowania wytwarzanego wewnątrz komory w celu uniknięcia odbić fal elektromagnetycznych i wycieków emisji na zewnątrz. Przy zachowaniu odpowiedniego poziomu skuteczności ekranowania oraz pochłaniania fal przez absorbery uzyskuje się przestrzeń o znanych i kontrolowanych warunkach propagacji fal elektromagnetycznych.

Na poligonie pomiarowym jednym ze sposobów minimalizacji zakłóceń jest nakrycie powierzchni poligonu specjalnym namiotem z włókniny absorbującej promieniowanie elektromagnetyczne. Przy mniejszych rozmiarach taki namiot pozwala na zredukowanie tła zakłóceń nawet o 60 dB $\mu$ V, jednak przy namiocie o większych rozmiarach mających pokryć cały poligon pomiarowy tłumienność spada do 45 dB $\mu$ V. Niestety ta metoda jest bardzo kosztowna.

Minimalizacja zakłóceń jest możliwa także poprzez zastosowanie ekranów tłumiących ustawionych za badanym urządzeniem. Ekrany powinny być pokryte materiałami tłumiącymi zakłócenia elektromagnetyczne. Takimi materiałami są płytki ferrytowe tłumiące zakłócenia w przedziale częstotliwości od 10 MHz do 1 GHz. Kolejnym elementem ekranów powinny być absorbery piramidalne. Absorbery są wykonane z pianki poliuretanowej nasączonej węglem. Pracują w przedziale częstotliwości od 10 MHz do 10 GHz.

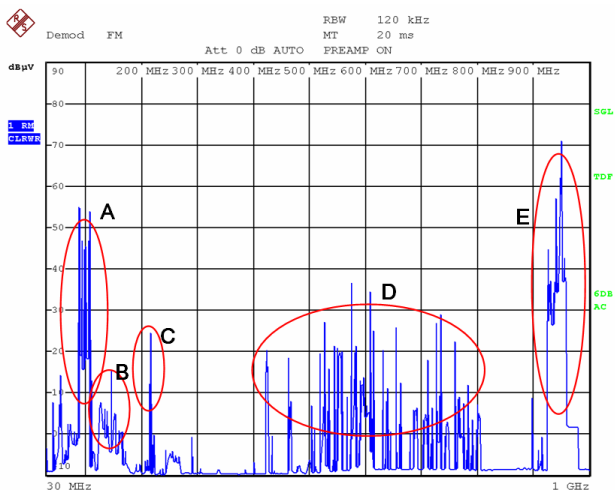
## 3. Badanie tła zakłóceń

Na poligonie doświadczalnym Laboratorium Badań Zgodności CE w Instytucie Technologii Eksploatacji – PIB przeprowadzono badania tła zakłóceń. W skład układu pomiarowego weszły następujące elementy:

- Miernik zakłóceń ESCI3 firmy Rohde&Schwarz,
- Antena pomiarowa HL562 firmy Rohde&Schwarz,
- Maszt antenowy DAM 4.0 firmy Maturo.

Pierwsze badanie przeprowadzono bez ekranów tłumiących. Poniżej przedstawiono wynik pomiaru tła (rys. 2).

Przeanalizowano wszystkie elementy tła zakłóceń przekraczających dopuszczalne poziomy zakłóceń. Pierwsza grupa pików (A) to zakłócenia pochodzące od nadajników radiowych i mieszczą się w przedziale częstotliwości od 80 MHz do 110 MHz. Następną grupą zakłóceń jest grupa (B) mieszcząca się w przedziale częstotliwości od 120 MHz do 180 MHz używanych przez CB radio,



Rys. 2. Wykres tła zakłóceń na poligonie doświadczalnym

w tym służb ratowniczo-porządkowych. Następnym pikiem jest sygnał telewizji analogowej (C). Kolejną grupą zaobserwowanych zakłóceń są sygnały pochodzące z nadajników telewizji cyfrowej i analogowej (D). Grupa ta mieści się w przedziale częstotliwości od 470 MHz do 790 MHz. Ostatnia grupa sygnałów (E) to sygnały GSM w przedziale częstotliwości od 890 MHz do 960 MHz [3].

#### 4. Ekranu tłumiące zakłócenia

Wybraną koncepcją minimalizacji zakłóceń na otwartym polu pomiarowym była budowa ekranów pochłaniających. Do tłumienia fal elektromagnetycznych stosuje się dwa rodzaje absorberów. Pierwszy to absorbery piramidalne wykonane z pianki poliuretanowej nasączonej węglem. Drugi rodzaj absorberów to płytki ferrytowe. Chcąc uzyskać odpowiednie tłumienie fal elektromagnetycznych o częstotliwości 30 MHz, należy zastosować absorbery piramidalne z kłami o długości odpowiadającej połowie długości fali, tzn. 5 m. Duże wymiary absorberów piramidalnych dla niskich częstotliwości stanowią niedogodność w ich stosowaniu. Z tego względu, w celu ograniczenia rozmiarów absorberów oraz poprawienia właściwości ekranów w zakresie niskich częstotliwości, dodatkowo wykorzystuje się absorbery ferrytowe w postaci płytek. Ekran to drewniana konstrukcja z pionową ścianą pokrytą płytkami ferrytowymi oraz naklejanymi na płytki absorberami. Płytki ferrytowe ECCOSORB FT-04 [4] redukują zakłócenia w przedziale częstotliwości od 10 MHz do 1 GHz. Natomiast absorbery ECCOSORB VHY-18-NRL [4] pracują w szerszym paśmie częstotliwości od 10 MHz do 10 GHz. Ekranu tłumiące mają za zadanie redukcję zakłóceń

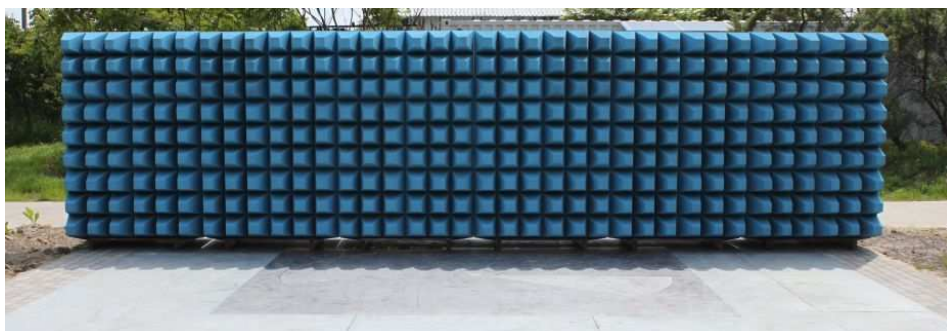
zewnętrznych, ale także powodują, że zakłócenia emitowane przez urządzenie nie odbijają się od elementów znajdujących się za urządzeniem i nie wpływają na pomiar zakłóceń.



Rys. 3. Ekrany tłumiące (po lewej przed naklejeniem absorberów)

## 5. Badania weryfikacyjne

Badania weryfikacyjne przeprowadzono na poligonie doświadczalnym. Ekranów ustawiono za stołem obrotowym. Sześć ekranów ustawiono w linii prostej, tak by nie było między nimi przerw (rys. 4). Po zbadaniu tła zakłóceń przy ustawionych ekranach w linii prostej przestawiono ekrany, tak aby stały na linii łuku (rys. 5), po czym zbadano tło zakłóceń. Na rys. 6 ogólny widok poligonu pomiarowego.



Rys. 4. Rozmieszczenie ekranów w linii prostej



Rys. 5. Rozmieszczenie ekranów na linii łuku

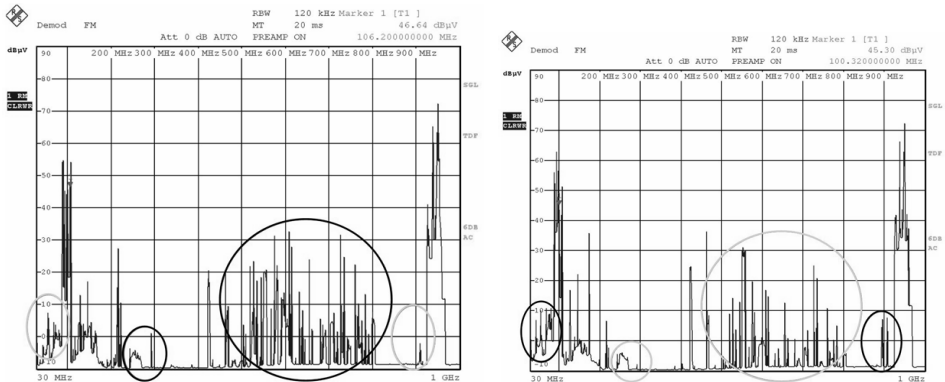


Rys. 6. Ogólny widok poligonu pomiarowego podczas badania

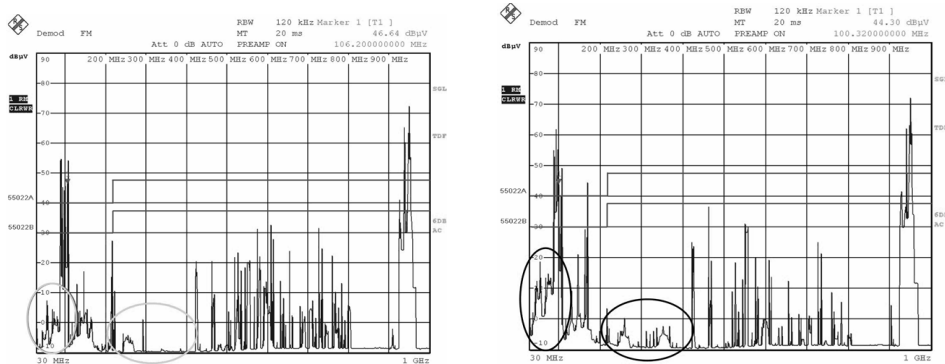
Ustawienie ekranów pozwoliło zredukować poziom zakłóceń o około  $10 \text{ dB}\mu\text{V}$  w zależności od częstotliwości pomiarowej. Wyniki badań porównujące różne ustawienie ekranów wykazały, że przy ustawieniu ekranów na linii łuku zanotowano spadek zakłóceń rzędu od  $5 \text{ dB}\mu\text{V}$  do  $10 \text{ dB}\mu\text{V}$  w kilku przedziałach częstotliwości. Mianowicie w przedziale częstotliwości od  $500 \text{ MHz}$  do  $800 \text{ MHz}$ , gdzie są sygnały telewizyjne. Podobny wyraźny spadek zaobserwowano przy częstotliwości  $290 \text{ MHz}$ . Jednocześnie w innych przedziałach częstotliwości poziom zakłóceń wzrósł. Zaobserwowano to w następujących przedziałach:  $30 \text{ MHz}$  do  $80 \text{ MHz}$  oraz  $890 \text{ MHz}$  do  $930 \text{ MHz}$ . Te różnice prezentują poniższe wykresy. Tam, gdzie były wyższe poziomy zakłóceń, zaznaczono kółkami czarnymi, natomiast tam, gdzie zakłócenia były niższe, zaznaczono kółkami szarymi.

Po przeanalizowaniu powyższych wykresów dokonano kolejnej weryfikacji ekranów podczas badania urządzenia testowego. Urządzeniem badanym był wyprodukowany w Instytucie Technologii Eksploatacji system do tribologicznej oceny środków smarowych metodą Bruggera, składający się ze sterownika BT14 oraz testera T13. Urządzenia ustawiono na stole drewnianym na środku stołu obrotowego. Kable zasilające i sterownicze ułożono tak, aby miały jak najmniejszy wpływ na wynik badania. Urządzenie było badane w trzech pozy-

cjach w celu zmierzenia jak największej emisji zakłóceń. Największe zakłócenia tester emitował w pozycji bocznej. Poniżej przedstawiono wyniki pomiaru emisji zakłóceń urządzenia działającego i odłączonego od zasilania. Na czerwono zaznaczono obszary częstotliwości z zakłóceniami emitowanymi przez tester tribologiczny. Piki przekraczające dopuszczalne poziomy w wyniku szczegółowej analizy rozpoznano jako sygnały GSM, częstotliwości radiowe oraz CB radio.



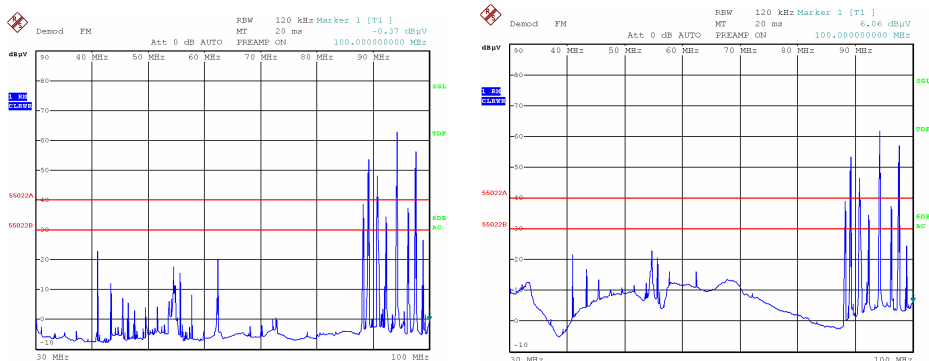
Rys. 7. Wykresy tła zakłóceń przy ustawieniu ekranów w linii prostej i na linii łuku



Rys. 8. Wykresy przedstawiające zakłócenia emitowane przez tester tribologiczny

W celu dokładnego przeanalizowania zakłóceń w przedziale częstotliwości od 30 MHz do 100 MHz powtórzono badania z wyłączonym testerem oraz z działającym testerem. Pozwoliło to na zaobserwowanie tła zakłóceń w tym przedziale oraz dokładnie pokazało zakłócenia emitowane przez urządzenie.





Rys. 9. Wykresy przedstawiające poziom emisji zakłóceń emitowanych przez tester tribologiczny w przedziale częstotliwości od 30 MHz do 100 MHz

Powyższe wykresy (rys. 9) przedstawiają badanie testera tribologicznego w przedziale częstotliwości od 30 MHz do 100 MHz. Zakłócenia w przedziale od 40 MHz do 65 MHz to częstotliwości wykorzystywane przez wojsko, taxi, firmy ochrony mienia, firmy transportowe, Lasy Państwowe. Zakłócenia po prawej stronie wykresów na częstotliwościach od 86 MHz do 100 MHz to zakłócenia pochodzące od nadajników radiowych. Pierwszy wykres przedstawia tło zakłóceń przy wyłączonym urządzeniu, natomiast drugi wykres przedstawia zakłócenia emitowane przez urządzenie na poziomie od 15 dB $\mu$ V do 20 dB $\mu$ V.

## Wnioski

Badanie emisji zaburzeń radioelektrycznych jest ważne, ponieważ zakłócenia emitowane przez urządzenia mogą wpływać na poprawną pracę innych urządzeń. Dlatego minimalizacja tła zakłóceń w celu dokładniejszego zbadania emisji ma duże znaczenie. Zbudowane ekrany pozwoliły zredukować poziom tła o 10 dB $\mu$ V. Dla konfiguracji, w której ekrany były ustawione w linii prostej, tło było zmniejszone w przedziałach częstotliwości od 30 MHz do 80 MHz oraz od 890 MHz do 920 MHz, natomiast w konfiguracji, w której ekrany były ustawione na linii łuku, ekrany zredukowały tło w przedziałach częstotliwości od 200 MHz do 300 MHz oraz od 400 MHz do 800 MHz. Zakłócenia emitowane przez nadajniki radiowe i telewizyjne oraz sieci GSM są zbyt dużej mocy, by móc je zminimalizować do poziomu poniżej dopuszczalnych granic wyznaczonych przez normy zharmonizowane. Mimo iż ekrany nie wyłumiają tych sygnałów, poligon pomiarowy nie jest dyskwalifikowany jako pole pomiarowe. Sygnały te są w trakcie analizy wyników pomiarowych pomijane. Wymaga to czasochłonnej weryfikacji wyników oraz wymusza każdorazowo przed badaniem urządzenia zweryfikowanie tła zakłóceń w celu późniejszego porównania z wynikami finalnego badania.

## Bibliografia

1. CISPR 16-1:1997 Wymagania dotyczące urządzeń i metod pomiarów zaburzeń radioelektrycznych i odporności na zaburzenia radioelektryczne.
2. Mazurek P.A.: Laboratorium podstaw Kompatybilności elektromagnetycznej. Politechnika Lubelska Lublin 2010.
3. Częstotliwości radiowe w Polsce <http://radioscannerpolska.pl/strony/gdzie.html>
4. Karty katalogowe absorberów:  
<http://www.ecanechoicchambers.com/TB/EB-150%20-%20FT.pdf>  
<http://www.ecanechoicchambers.com/TB/EB-140%20-%20VHY-NRL.pdf>
5. Karta katalogowa SCHAFFNER: RF Emission Testing A handy guide.  
[www.schaffner.com](http://www.schaffner.com)
6. PN-EN 55011:2012 Urządzenia przemysłowe, naukowe i medyczne – Charakterystyki zaburzeń o częstotliwości radiowej – Poziomy dopuszczalne i metody pomiaru.
7. PN-EN 55022:2011 Urządzenia informatyczne -- Charakterystyki zaburzeń radioelektrycznych -- Poziomy dopuszczalne i metody pomiaru.

Recenzent:

**Paweł BIEŃKOWSKI**

## Minimisation of interference at the time of open site radio-electric disturbance emission tests

### Key words

Radio-electric disturbance emission, open test site, emission test receiver, pyramidal absorbers, ferrite absorber tile.

### Summary

This paper presents a method for the minimisation of interference in the measurement of emission radio-electric disturbances on open test site. Methodology and a stand for interference are described. In order to ensure lowest background interference, ways to reduce interference and a method of screen element selection are discussed. Screens and their components are also presented. Open test site experiments for the screens built are described together with the results of interference emission investigation for a selected electric device as well as background measurement outcomes.