

doi:10.15199/48.2025.02.45

Możliwości wykorzystania anten pomiarowych w stanowisku do generowania pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m i 100 V/m

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę możliwości wykorzystania różnych anten pomiarowych w stanowisku do generowania pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m i 100 V/m w zakresie częstotliwości od 1 GHz do 10 GHz bazując na wymaganiach normy obronnej NO-06-A500 oraz w stanowisku do pomiaru jednorodności pola elektrycznego w komorze bezodbiciowej. Przedstawiono w nim również szczegółowy opis stanowiska pomiarowego do generowania pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m i 100 V/m oraz szczegółowy opis stanowiska pomiarowego do wyznaczania jednorodności pola w wybranej płaszczyźnie komory bezodbiciowej na bazie pomiarów z wykorzystaniem 5 punktowej siatki pomiarowej stosowanej dla urządzeń małogabarytowych. Dzięki przeprowadzonym pomiarom na zestawionych stanowiskach pomiarowych oraz analizie otrzymanych wyników generowanego pola elektrycznego z wykorzystaniem wybranych trzech anten nadawczych pokazane zostało zapotrzebowanie na wzmocnienie wzmacniacza mocy, które jest niezbędne do uzyskania założonego natężenia pola elektrycznego.

Abstract. The article presents an analysis of the possibilities of using different measuring antennas in a laboratory stand for generating an electric field of 50 V/m and 100 V/m in the frequency range from 1 GHz to 10 GHz based on the requirements of the defense standard NO-06-A500 and in a stand for measuring the uniformity of the electric field in an anechoic chamber. It also presents a detailed description of the measuring station for generating an electric field of 50 V/m and 100 V/m and a detailed description of the measuring station for determining the uniformity of the field in a selected plane of the anechoic chamber based on measurements using a 5-point measurement grid used for small-sized devices. Thanks to the measurements carried out on the combined measuring stations and the analysis of the obtained results of the generated electric field using three selected transmitting antennas, the need for amplification of the power amplifier, which is necessary to obtain the assumed electric field intensity, was shown. (**Possibilities of using measurement antennas in the laboratory stand to generate an electric field of 50 V/m and 100 V/m**)

Słowa kluczowe: kompatybilność elektromagnetyczna, natężenie pola elektrycznego, 50 V/m, 100 V/m, odporność urządzeń.

Keywords: electromagnetic compatibility, electric field strength, 50 V/m, 100 V/m, device immunity.

Wstęp

Kompatybilność elektromagnetyczna w zakresie odporności na promieniowane pole o częstotliwości radiowej to zdolność urządzenia do działania bez pogorszenia jakości i prawidłowości funkcjonowania w środowisku elektromagnetycznym. Brak kompatybilności może skutkować nieprawidłowym działaniem a nawet uszkodzeniem urządzenia.

W związku z powyższym przed oddaniem do użytku i wprowadzeniem na rynek urządzeń wytwórcy powinni poddać je ocenie zgodności m.in. z Dyrektywą 2004/108/WE dotyczącą kompatybilności elektromagnetycznej. Koniecznym elementem procesu oceny zgodności urządzenia są badania i pomiary na stanowiskach laboratoryjnych. W ramach realizowanych pomiarów związanych z kompatybilnością elektromagnetyczną urządzenia poddaje się badaniom emisji zaburzeń promieniowanych i przewodzonych oraz badaniom odporności promieniowanej i przewodzonej. Często takie stanowiska pomiarowe są bardzo drogie ze względu na wykorzystywaną aparaturę pomiarową, którą można w odpowiedni sposób dobrać ze względu na uzyskiwane parametry generowanego sygnału [1][2]. Badanie kompatybilności elektromagnetycznej w zakresie odporności na pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej polega na narażaniu badanego urządzenia promieniowaniem elektromagnetycznym o ściśle określonych parametrach według norm cywilnych lub według norm obronnych. W niniejszym artykule uwagę skoncentrowano na normie obronnej NO-06-A500 dotyczącej procedur badań zaburzeń elektromagnetycznych i odporności na narażenia elektromagnetyczne według wymagań wojskowych. Istnieje możliwość dobrania odpowiedniego zestawu składającego się ze wzmacniacza mocy wraz z odpowiednią anteną nadawczą zapewniającą możliwość generacji takiego samego natężenia pola elektrycznego, a różniącego się znacznie kosztami zakupu aparatury. Dzieje się tak ze względu na możliwości wykorzystania wzmacniaczy o

mniejszych mocach wraz z antenami o dużym zysku energetycznym lub odwrotnie wykorzystując wzmacniacz o dużej mocy i anteny o małym zysku energetycznym.

W artykule przedstawiono analizę możliwości wykorzystania różnych anten pomiarowych w stanowisku do generowania pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m i 100 V/m w zakresie od 1 GHz do 10 GHz bazując na wymaganiach normy obronnej NO-06-A500 oraz w stanowisku do pomiaru jednorodności pola elektrycznego w komorze bezodbiciowej.

Metoda pomiaru stosowana do generowania i pomiaru pola elektrycznego

Urządzenia lub zestawy urządzeń wojskowych powinny spełniać wymagania dotyczące progów odporności na narażenia promieniowane w zakresie częstotliwości maksymalnie od 2 MHz do 40 GHz określone w normie NO-06-A200 [3]. W niniejszym artykule ze względu na porównanie trzech wybranych anten zakres częstotliwości pomiarowych został ograniczony w zakresie od 1 GHz do 10 GHz. Badane urządzenie nie powinno okazywać żadnego wadliwego działania, pogorszenia charakterystyki parametrów użytkownika oraz odchylenia od określonych wskazań, ponad tolerancje określone w oddzielnej specyfikacji, podczas gdy poddane jest działaniu promieniowanym polem elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości podanym powyżej. Norma NO-06-A500 dopuszcza realizację pomiarów z wykorzystaniem metody sondy pola elektrycznego oraz metody dwóch anten. W niniejszym artykule przedstawiono metodę i stanowisko pomiarowe wykorzystujące metodę sondy pola elektrycznego.

W celu przeprowadzenia badania metodą sondy pola elektrycznego należy wykonać następujące czynności [4]:

- włączyć zasilanie przyrządów pomiarowych i pozostawić je w tym stanie przez czas niezbędny do uzyskania właściwej stabilności,
- dokonać oceny miejsca badań pod względem potencjalnych zagrożeń w zakresie promieniowania

- w.cz. i podjąć niezbędne środki zabezpieczające personel,
- umieścić sondę elektryczną w odległości 1 m na kierunku maksymalnego promieniowania anteny probierczej, zgodnie z zaleceniami normy,
 - włączyć generator i ustawić jego poziom wyjściowy tak, aby poziom natężenia pola (wartość szczytowa) zmierzony przy pomocy sondy elektrycznej wynosił od 0,05 do 0,1 wartości zakłócenia standardowego określonego w NO-06-A200 (np. przy 50 V/m ustawimy 5 V/m),
 - zmodulować umowny sygnał zakłócający sygnałem prostokątnym o częstotliwości 1 kHz i współczynniku wypełnienia równym 0,5. Wygenerować pole elektryczne na częstotliwości początkowej określonej w NO-06-A200. Stopniowo zwiększać poziom natężenia pola elektrycznego, aż do osiągnięcia poziomu zakłócenia standardowego określonego w NO-06-A200,
 - przestrajać generator w zakresie częstotliwości objętym niniejszą procedurą zachowując przy tym poziom sygnału zakłócającego równy poziomowi zakłócenia standardowego według NO-06-A200.

Stanowisko pomiarowe do generowania pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m i 100 V/m

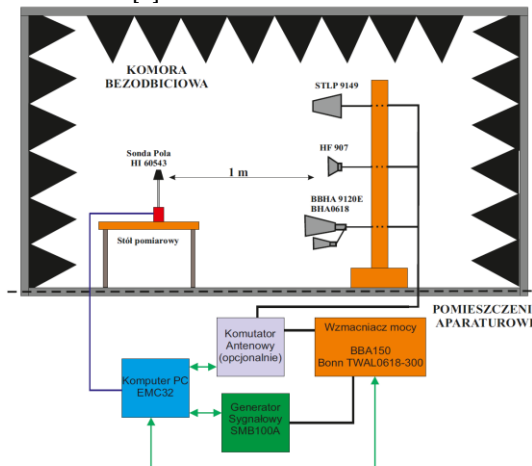
W celu przeprowadzenia badań odporności na pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej urządzeń elektronicznych stosuje się stanowisko pomiarowe do generowania pola elektrycznego, w skład którego mogą wchodzić: generatory sygnałowe, wzmacniacze mocy, anteny nadawcze (probiercze), sondy elektryczne (czujniki pola elektrycznego), odbiorniki pomiarowe, mierniki mocy, sprzęgacze kierunkowe, tłumiki, urządzenia rejestracji danych pomiarowych, układy liniowej stabilizacji impedancji obwodu oraz anteny odbiorcze [5][6].

Do przeprowadzenia badania według normy obronnej należy wygenerować pole elektryczne o wymaganym natężeniu określonym w normie NO-06-A200 za pomocą stanowiska pomiarowego do generowania pola elektrycznego w paśmie częstotliwości 1 – 10 GHz, w którym na bazie dostępnej aparatury pomiarowej w Laboratorium Kompatybilności Elektromagnetycznej WEL WAT zostały wybrane trzy anteny: antena logoperiodyczna STLP 9149, antena grzbietowa HF 907 oraz zestaw anten tubowych BBHA9120E i BHA0618. Anteny te przeanalizowano pod kątem możliwości ich wykorzystania w stanowisku pomiarowym do generowania pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m i 100 V/m. Dodatkowo w torze nadawczym wykorzystano wzmacniacze mocy BBA150 oraz TWAL0618-300, generatory sygnałowe SMB100A i SMB100B, a także oprogramowanie EMC32. Do pomiaru wygenerowanego natężenia pola elektrycznego wykorzystano sondę pola HI 6053 podłączoną do komputera PC z oprogramowaniem EMC32, które steruje parametrami testu, takimi jak ustawienie częstotliwości i mocy sygnału, a także rejestruje wyniki pomiarów pochodzących bezpośrednio z sondy pola [6]. Schemat pomiarowy stanowiska do generowania pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m i 100 V/m przedstawiono na rys. 1, natomiast na rys. 2 przedstawiono wygląd zestawionego stanowiska pomiarowego w komorze bezodbićowej do generowania pola elektrycznego w paśmie częstotliwości 1 – 10 GHz z poszczególnymi antenami nadawczymi.

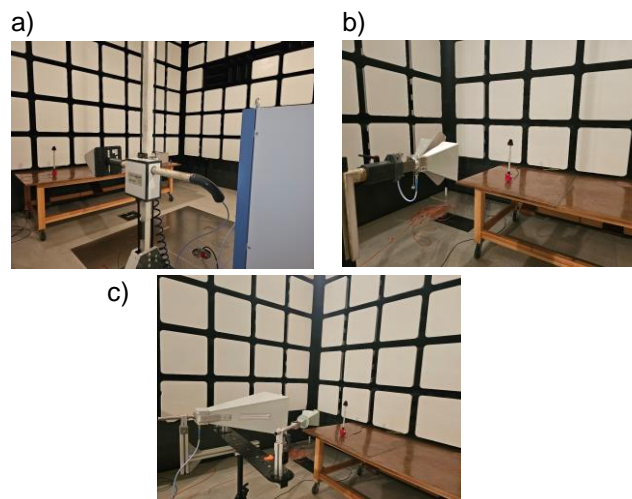
Stanowisko pomiarowe do pomiaru jednorodności pola o natężeniu 50 V/m

Jednorodność pola odnosi się do stopnia, w jakim wartość natężenia pola elektrycznego jest stała w określonej płaszczyźnie lub przestrzeni. Jest to kluczowy parametr w wielu zastosowaniach, takich jak rezonans

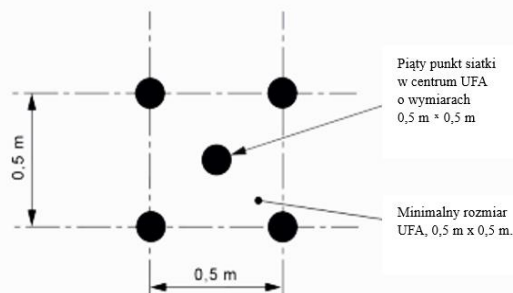
magnetyczny (MRI) czy testowanie kompatybilności elektromagnetycznej (EMC). Idealna jednorodność pola jest trudna do osiągnięcia, zwłaszcza w dużych płaszczyznach lub przestrzeniach. W testach EMC, jednorodność pola elektromagnetycznego w komorze bezodbićowej lub komorze semi-bezodbićowej jest istotna dla zapewnienia, że testowane urządzenie jest wystawione na jednolite i powtarzalne warunki testowe. Zapewnienie jednorodności pola pozwala na dokładne i wiarygodne oceny odporności urządzenia na zakłócenia elektromagnetyczne. Na rys. 3 przedstawiony został minimalny wymiar płaszczyzny, dla której wyznacza się jednorodność w pięciu punktach pomiarowych. Taka płaszczyzna jednorodności pola elektrycznego wykorzystywana jest dla obiektów małogabarytowych ustawianych na stołach pomiarowych podczas badań [7].



Rys. 1. Schemat pomiarowy do generowania pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m i 100 V/m w zakresie częstotliwości od 1 GHz do 10 GHz

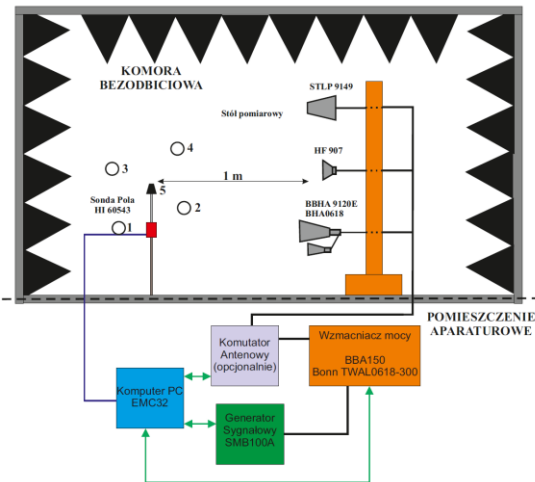


Rys. 2. Stanowisko pomiarowe do generowania pola elektrycznego z anteną: a) STLP 9149, b) HF 907, c) BBHA9120E oraz BHA0618

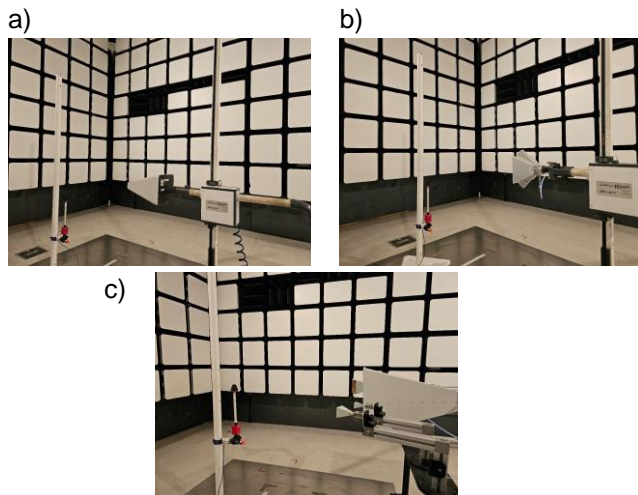


Rys. 3. Minimalny wymiar płaszczyzny jednorodności pola elektrycznego składającej się z 5 punktów pomiarowych

Na rys. 4 przedstawiono układ do pomiaru jednorodności pola elektrycznego w komorze bezodbiciowej, natomiast na rys. 5 przedstawiono wygląd zestawionego stanowiska pomiarowego do pomiaru jednorodności pola w 5 punktach pomiarowych z wybranymi antenami.



Rys. 4. Schemat pomiarowy do pomiaru jednorodności pola w komorze bezodbiciowej



Rys. 5. Stanowisko pomiarowe do pomiaru jednorodności pola elektrycznego: a) STLP 9149, b) HF 907, c) BBHA9120E oraz BHA0618

Aparatura pomiarowa wykorzystana do generowania pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m i 100 V/m

W celu zestawienia stanowiska pomiarowego do generowania pola elektrycznego w paśmie częstotliwości 1 – 10 GHz w torze odbiorczym wykorzystano sondę pola elektrycznego HI 6053 firmy ETS-Lindgren, która pracuje w zakresie częstotliwości 10 MHz – 40 GHz. Sonda pola podłączona została do komputera PC, na którym zainstalowane było oprogramowanie EMC32 wykorzystane do odczytu zmierzonych wartości generowanego pola elektrycznego.

W torze nadawczym stanowiska pomiarowego wykorzystano generator SMB100A oraz wzmacniacze mocy BBA150 firmy R&S oraz Bonn Elektronik TWAL0618-300, zapewniające niezbędną moc w.c.z. dla anten do wygenerowania wymaganego natężenia pola w komorze wynoszącego 50 V/m lub 100 V/m. Oprócz generatora sygnałowego oraz wzmacniacza mocy w torze nadawczym znajdowała się jeszcze antena nadawcza, której wykorzystany typ jest przedmiotem analizy dotyczącej

wartości otrzymanego natężenia pola elektrycznego. Do analiz możliwości wykorzystania anten pomiarowych w stanowisku do generowania pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m i 100 V/m wybrano trzy anteny pomiarowe: zestaw składający się z anteny tubowej BBHA9120E (rys. 6) oraz anteny tubowej BHA0618 (rys. 6), antena grzbietowej HF 907 (rys. 7) oraz antena logoperiodyczna STLP 9149 (rys 8).



Rys. 6. Widok zestawu anten BBHA9120 E i BHA0618



Rys. 7. Widok anteny logoperiodycznej STLP 9149



Rys. 8. Widok anteny grzbietowej HF 907

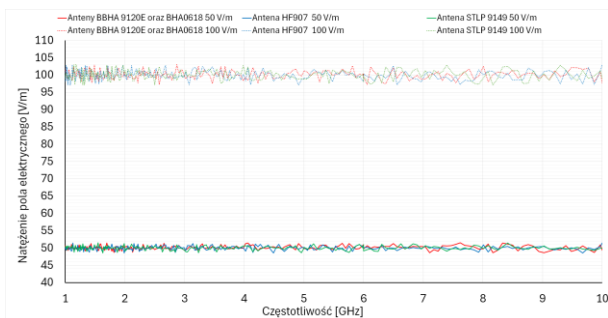
Pomiary i analiza wyników generowanego pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m i 100 V/m

Na bazie zestawionego stanowiska pomiarowego do generacji pola elektrycznego o założonej wartości natężenia pola wynoszącej odpowiedni 50 V/m i 100 V/m wykonano dwukrotnie po 3 serie pomiarowe wygenerowanego pola EM z wykorzystaniem trzech anten nadawczych: anteny STLP 9149, anteny HF 907 oraz zestawu anten BBHA9120E i BHA0618. Pozostałe elementy toru nadawczego jak i odbiorczego nie były zmieniane, aby zaobserwować wpływ wykorzystanej anteny na wartość generowanego pola elektrycznego.

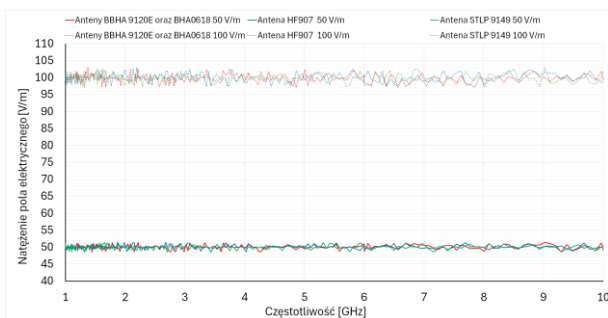
Pomiary natężenia pola elektrycznego o wartości 50 V/m oraz 100 V/m z wykorzystaniem ww. anten przeprowadzono w zakresie częstotliwości od 1 GHz do 10 GHz przy polaryzacji w płaszczyźnie wektora E i H (polaryzacja pionowa i pozioma anteny względem ziemi odniesienia). Zmierzone poziome natężenia pola elektrycznego we wszystkich seriach pomiarowych oscylował odpowiednio w granicach 50 V/m lub 100 V/m, natomiast zmianom ulegało wzmocnienie wzmacniacza mocy w torze nadawczym potrzebne do zapewnienia zakładanej wartości natężenia pola elektrycznego.

Na rys. 9 oraz rys. 10 przedstawiono pomierzone wyniki natężenia pola elektrycznego wygenerowane z wykorzystaniem trzech anten nadawczych przy polaryzacji pionowej i poziomej odpowiednio z wykorzystaniem anteny STLP 9149, anteny HF 907 oraz zestawu anten BBHA9120E i BHA0618.

Na rys. 11 oraz rys. 12 przedstawiono wartości poziomu wzmocnienia wzmacniacza mocy w torze nadawczym podczas generacji pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m i 100 V/m przy wykorzystaniu odpowiednio anteny STLP 9149, anteny HF 907 oraz zestawu anten BBHA9120E i BHA0618 dla dwóch polaryzacji anten.

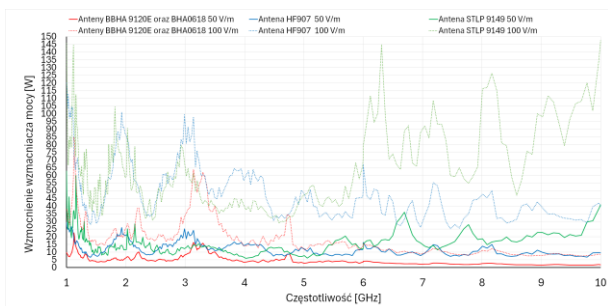


Rys. 9. Poziomy wygenerowanego natężenia pola elektrycznego z wykorzystaniem wszystkich anten probierczych przy polaryzacji poziomej

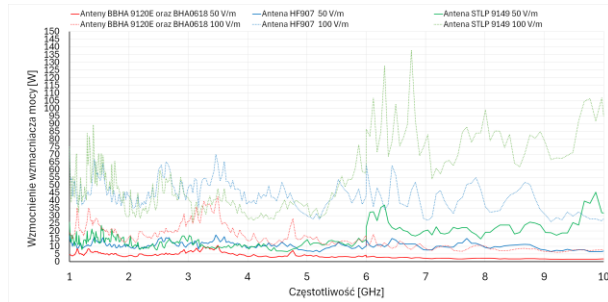


Rys. 10. Poziomy wygenerowanego natężenia pola elektrycznego z wykorzystaniem wszystkich anten probierczych przy polaryzacji pionowej

Analizując poziomy natężenia pola elektrycznego dla wszystkich anten przy obu polaryzacjach można stwierdzić, że z wykorzystaniem każdej anteny jesteśmy w stanie wygenerować założone stałe natężenie pola elektrycznego o wartości 50 V/m lub 100 V/m w całym zakresie częstotliwości.



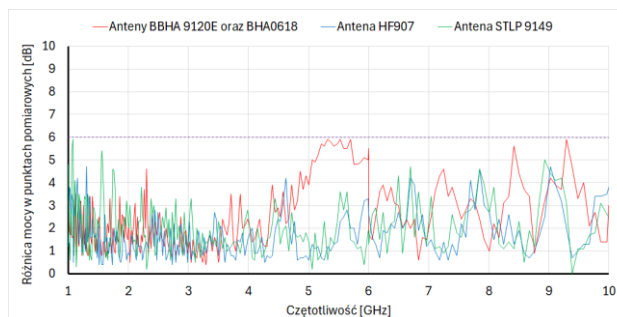
Rys. 11. Wartości wzmocnienia wzmacniacza mocy w torze nadawczym podczas generacji pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m i 100 V/m przy wykorzystaniu wszystkich anten probierczych przy polaryzacji poziomej



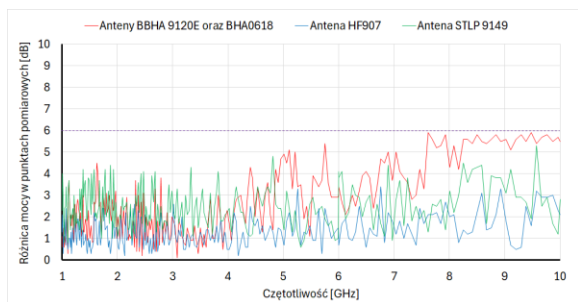
Rys. 12. Wartości wzmocnienia wzmacniacza mocy w torze nadawczym podczas generacji pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m i 100 V/m przy wykorzystaniu wszystkich anten probierczych przy polaryzacji pionowej

Analizując wartości wzmocnienia wzmacniacza mocy w torze nadawczym podczas generacji pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m oraz 100 V/m przy wykorzystaniu wszystkich anten można zauważyć, że dla anteny STLP 9149 należy w większym stopniu wzmocnić sygnał wyjściowy z generatora sygnałowego, aby utrzymać stały poziom natężenia pola elektrycznego 50 V/m lub 100V/m. Dla zestawu anten BBHA9120E oraz BHA0618 wartości wzmocnienia wzmacniacza mocy w torze nadawczym podczas generacji pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m i 100 V/m są najmniejsze co świadczy o największym zysku energetycznym spośród trzech analizowanych anten, dzięki czemu uzyskujemy zakładaną wartość pola elektrycznego przy mniejszym wzmocnieniu wzmacniacza.

W ramach analiz porównawczych natężenia pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m w paśmie częstotliwości 1 – 10 GHz generowanego z wykorzystaniem różnej aparatury pomiarowej w postaci różnych anten nadawczych dokonano również pomiaru jednorodności pola w celu sprawdzenia możliwości uzyskania powierzchni jednorodnej przy użyciu jednej z trzech analizowanych anten. Różnica wartości mocy we wszystkich punktach płaszczyzny jednorodności pola EM nie powinna przekraczać 6 dB w całym analizowanym zakresie częstotliwości. Wyniki powyżej 6 dB mogą wskazywać na problem z uzyskaniem jednorodności pola w badanej płaszczyźnie komory bezodbiciowej [7]. Na rys. 13 oraz rys. 14 przedstawiono maksymalne różnice mocy w 5 punktach pomiarowych wybranej płaszczyzny w komorze bezodbiciowej w funkcji częstotliwości dla polaryzacji poziomej i pionowej.



Rys. 13. Maksymalne różnice mocy w 5 punktach pomiarowych w funkcji częstotliwości dla wybranej płaszczyzny w komorze bezodbiciowej przy wyznaczaniu jednorodności pola przy polaryzacji poziomej anten nadawczych



Rys. 14. Maksymalne różnice mocy w 5 punktach pomiarowych w funkcji częstotliwości dla wybranej płaszczyzny w komorze bezodbiciowej przy wyznaczaniu jednorodności pola przy polaryzacji pionowej anten nadawczych

Analizując powyższe rysunki można stwierdzić, że za pomocą każdej z trzech wybranych anten uzyskano zakładaną jednorodność pola w badanej płaszczyźnie 5 punktów pomiarowych. W przypadku niskich częstotliwości widać niewielkie różnice między punktami pomiarowymi, co świadczy o wysokiej jednorodności pola. Natomiast dla wyższych częstotliwości widać większe dysproporcje w jednorodności pola, co jest oznaką mniejszej jednorodności. Wahania jednorodności pola dla anteny STLP 9149 w zakresie częstotliwości 1 – 4 GHz oraz 6 – 9 GHz sygnalizują większą zmienność w rozkładzie pola w tym obszarze. Anteny BBHA9120E oraz BHA0618 pracowały w różnych zakresach częstotliwości, stąd duże wahania jednorodności od około 4 GHz. Antena HF907 wykazała najmniejsze wahania jednorodności pola w całym zakresie częstotliwości, co świadczy o jej lepszych właściwościach promieniowania oraz lepszą adaptacją do generowania pola w paśmie 1 – 10 GHz. Antena STLP 9149 przejawiała większą tendencję różnic mocy w prawie całym zakresie częstotliwości.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono analizę możliwości wykorzystania różnych anten pomiarowych w stanowisku do generowania pola elektrycznego o natężeniu 50 V/m i 100 V/m w zakresie od 1 GHz do 10 GHz bazując na wymaganiach normy obronnej NO-06-A500 oraz stanowisku do pomiaru jednorodności pola elektrycznego w komorze bezodbiciowej zbudowanego z wykorzystaniem aparatury pomiarowej zakupionej w ramach realizacji Projektu pt. "Polska Sieć Laboratoriów EMC (EMC-LabNet)" o numerze POIR.04.02.00-02-A007/16-00. Dzięki tej analizie pokazane zostało zapotrzebowanie na wzmocnienie wzmacniacza mocy, które jest niezbędne do uzyskania założonego natężenia pola elektrycznego.

Na podstawie przeprowadzonych analiz i obserwacji dotyczących generowania pola elektrycznego stwierdza się, że z wykorzystaniem każdej z zastosowanych anten niezależnie od polaryzacji istnieje zdolność generowania i utrzymania stałego natężenia pola elektrycznego o wartości 50 V/m lub 100 V/m w całym analizowanym zakresie częstotliwości. Wybrane anteny, które charakteryzują się różnymi charakterystykami promieniowania i różnymi wartościami zysku energetycznego wykorzystane w torze nadawczym stanowiska pomiarowego zapewniły relatywnie stabilną wartość natężenia pola elektrycznego o wartości 50 V/m lub 100 V/m w paśmie 1 – 10 GHz, co świadczy o ich odpowiedniej konstrukcji i możliwości do zastosowania w takich stanowiskach pomiarowych.

Analizując wartość wzmocnienia wzmacniacza mocy przy stosowaniu różnych anten w torze nadawczym pokazano możliwości zastosowania wzmacniaczy o mniejszym wzmocnieniu, które z odpowiednią anteną

zapewnią nam zakładaną wartość natężenia pola elektrycznego wynoszącego 50 V/m lub 100 V/m. Taka możliwość może okazać się bardziej ekonomiczna ze względu na konstruowanie systemów do generacji pola elektrycznego. Tor nadawczy wyposażony w antenę STLP 9149 wykazał najwyższe zapotrzebowanie na moc wejściową ze wzmacniacza mocy w całym zakresie częstotliwości, aby osiągnąć wymagane natężenie pola. Anteny BBHA 9120E oraz BHA0618 zapewniły najmniejsze zapotrzebowanie na moc, co pozwoliło na generowanie równoważnej wartości pola przy nawet o połowę niższym poziomie wzmocnienia wzmacniacza.

Analizując różnice jednorodności pola uzyskane przy pomiarach dla torów nadawczych wykorzystujących różne anteny widzimy znaczące różnice w rozkładzie pola w zależności od częstotliwości i rodzaju anteny. Anteny BBHA9120E oraz BHA0618 wykazały większe wahania jednorodności pola, co związane jest z ich specyficzną konstrukcją i bardzo wąską charakterystyką promieniowania. Natomiast antena HF 907 wykazała najmniejsze wahania, co pokazuje jej stabilność promieniowania oraz zdolność adaptacji do generowania jednorodnego pola w całym paśmie. W kontekście wyboru optymalnej aparatury pomiarowej, antena HF907 prezentuje się jako najbardziej odpowiedni wybór zastosowania jej w torze nadawczym ze względu na jej najmniejsze wahania w jednorodności pola oraz stabilność wzmocnienia wzmacniacza mocy. Najmniej korzystna z punktu widzenia efektywności energetycznej okazała się antena STLP 9149, która wymagała zapewnienia znacznie większego wzmocnienia wzmacniacza mocy, a więc potrzebę użycia wzmacniaczy o większej mocy wejściowej, co związane jest z większymi kosztami.

Praca została sfinansowana przez Wojskową Akademię Techniczną w ramach projektu nr UGB/749/2024 pt. "Anteny mikropaskowe o wysokim zysku energetycznym pracujące w paśmie milimetrym"

Autorzy: dr inż. Rafał Przesmycki, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: rafal.przesmycki@wat.edu.pl;
mgr inż. Roksana Waszkiewicz-Brakoniecka, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: roksana.waszkiewicz@wat.edu.pl;

LITERATURA

- [1] Maćkowiak A., Sieczkarek K., - Wpływ podłogowych materiałów absorpcyjnych na rozkład pola EM w komorach bezodbiciowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, R.91 NR 11/2015.
- [2] K. Piwowarczyk, R. Przesmycki, L. Nowosielski, M. Wnuk – Pomiar odporności urządzeń informatycznych na promieniowane pole elektryczne o częstotliwości radiowej w zakresie (80-1000) MHz, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 86 NR 3/2010, str. 165-167
- [3] NO-06-A200:2012, Dopuszczalne poziomy emisji ubocznych i odporność na narażenia elektromagnetyczne.
- [4] NO-06-A500:2012, Procedury badań zakłóceń elektromagnetycznych i odporności na narażenia elektromagnetyczne.
- [5] Przesmycki Rafał, IS-10 Pomiar odporności na narażenia promieniowanego pola elektromagnetycznego o przebiegu sinusoidalnym urządzeń wojskowych procedura PRS -02 normy A500, *LAB-KEM WEL WAT*, Warszawa, 2008r.
- [6] Dokumentacja techniczna: System pomiarowy do badań podatności na pole elektromagnetyczne w zakresie częstotliwości 2 MHz – 40 GHz. *RHODE&SCHWARZ, Test and Measurement Division*, 2020.
- [7] EN 61000-4-3:2020, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency electromagnetic field immunity test.