

Mikropaskowa antena do pracy w systemie DVB-T2

Streszczenie. W artykule przedstawiono antenę która wykonana została na podłożu dielektrycznym i przeznaczona jest do pracy w systemie DVB-T2 w paśmie UHF. Opracowana antena posiada zwartą konstrukcję o wymiarach (198,324 x 111,11 x 1,6) mm. Jako podłoże do budowy anteny wykorzystano laminat FR4 o przenikalności elektrycznej 4,4 i grubości $h = 1,6$ mm. W artykule przedstawiono analizę wyników symulacji i pomiarów parametrów elektrycznych i charakterystyk promieniowania zaprojektowanej anteny. Opiszana w artykule antena mikropaskowa charakteryzuje się niskim współczynnikiem odbicia -27,19 dB, dużym zyskiem energetycznym 3,22 dBi i paśmie pracy równym 640 MHz (względne pasmo pracy równe 103,22 %).

Abstract. The article presents an antenna made on a dielectric substrate and designed to operate in the DVB-T2 system in the UHF band. The developed antenna has a compact structure with dimensions of (198.324 x 111.11 x 1.6) mm. The substrate used for the construction of the antenna is FR4 laminate with a permittivity of 4.4 and a thickness of $h = 1.6$ mm. The article presents an analysis of the simulation and measurement results of electrical parameters and radiation characteristics of the designed antenna. The microstrip antenna described in the article is characterized by a low reflection coefficient of -27.19 dB, a large energy gain of 3.22 dBi and an operating band of 640 MHz (relative operating band of 103.22 %).
(Microstrip antenna for DVB-T2 system)

Słowa kluczowe: antena, antena mikropaskowa, DVB-T2, UHF.

Keywords: antenna, microstrip antenna, DVB-T2, UHF.

Wstęp

System DVB-T2 jest to naziemna telewizja cyfrowa drugiej generacji. Nowy standard naziemnej telewizji cyfrowej ma na celu uzyskanie możliwości odbioru programów telewizyjnych o lepszej jakości niż dotychczas, przy oszczędniejszym wykorzystaniu dostępnych zasobów częstotliwości prowadzącym do pozyskania większej liczby programów telewizyjnych. Ulepszenie standardu nadawania z systemu DVB-T do DVB-T2 nie spowodowało konieczności wymiany anten odbiorczych [1][2].

W przypadku wystąpienia problemów z odbiorem warto dokonać wymiany anteny na model o innej charakterystyce promieniowania lub o większym zysku energetycznym. Prawidłowy dobór anteny jest uwarunkowany takimi czynnikami jak: odległość od nadajnika, moc emisji nadajnika, wysokość zawieszenia nadawczych systemów antenowych, kierunkowość nadajnika, ukształtowanie terenu, zabudowa terenu w lokalizacji odbioru. Podczas doboru anteny poszukiwać należy takiej, która zagwarantuje odpowiedni odbiór z najbliższej położonego nadajnika telewizyjnego [3].

Wybierając antenę należy znać odległość do najbliższego nadajnika (kanału, który chcemy odebrać), którą można sprawdzić na mapie kanałów TV na stronie internetowej (Tabela 1). Pozwala nam to również dowiedzieć się, z jakiego kierunku (azymutu) powinniśmy starać się odbierać sygnał telewizyjny. W przypadku nieudanego odbioru bezpośrednio z kierunku, w którym znajduje się nadajnik, należy podjąć próbę przesunięcia anteny na inne azymuty, co jest szczególnie ważne w przypadku braku bezpośredniej widoczności nadajnika lub nadawania programu przez więcej niż jeden nadajnik. Odchylając antenę w innych kierunkach, można odbierać sygnał odbity od otaczającej infrastruktury lub innej stacji nadawczej. Dodatkowo należy odpowiedzieć sobie na pytanie gdzie antena będzie zamontowana i jakie multiplexy będą odbierane. Jeżeli odległość do nadajnika DVB-T2 jest większa niż 50%, czyli ponad połowa zasięgu nadawania, należy zastosować antenę aktywną ze wzmacniaczem. Należy pamiętać, że antenę zewnętrzną najlepiej montować na maksymalnej wysokości np. przy kominie. Jednak w środowisku miejskim, pomiędzy dużymi budynkami, wybór anteny siatkowej jest bardziej odpowiednim rozwiązaniem, co jest spowodowane

odbieraniem sygnału DVB-T2 pod szerszym kątem. W porównaniu do anteny kierunkowej, antena siatkowa ma większy kąt odbioru sygnału telewizyjnego i również optymalnie pracuje w takim miejscu. Zadaniem anteny kierunkowej jest odbiór wąskopasmowego sygnału telewizyjnego z jednego kierunku. Emituje moc transmisji w preferowanym kierunku. Zwiększa to zasięg i zmniejsza ryzyko zakłóceń z innych stacji poza zasięgiem promieniowania. Korzystanie z anten wewnętrznych jest ograniczone do miejsc o dużej sile sygnału w pobliżu nadajnika. Anteny te charakteryzują się niskim zyskiem energetycznym i niestety bardzo często stosuje się wzmacniacze antenowe o dużym wzmacnieniu. Nawet gdy odbieramy sygnał, odbiór może być podatny na lokalne zakłócenia [4-7].

Tabela 1. Zakresy pracy anten

Typ anteny	do 10 km	10 – 30 km	30 – 50 km	> 50 km
Pokojowa	TAK			
Siatkowa	TAK	TAK		
Kierunkowa	TAK	TAK	TAK	
Kierunkowa o dużym zysku		TAK	TAK	TAK

Zmiany wprowadzone w 2023 roku w odbiorze telewizji naziemnej przyczyniły się do wzbogacenia oferty programowej. Programy telewizyjne nadawane są w pakietach, które nazywane są multipleksami (MUX). Multipleks to pakiet programów telewizyjnych nadawanych cyfrowo wraz z usługami dodatkowymi z wykorzystaniem jednego kanału częstotliwości. Odbiór pakietów MUX 1, MUX 2, MUX 3, MUX 6 to programy w jakości HD lub FULL HD. Odbywa się to w podstawowym paśmie telewizyjnym czyli UHF w polaryzacji poziomej na terenie całego kraju. Odbiór pakietu MUX 8 ma natomiast miejsce w niestandardowym paśmie telewizyjnym VHF w polaryzacji pionowej lub poziomej. W Polsce multipleksy nadawane są w zakresach częstotliwości od 470 MHz do 694 MHz (UHF) oraz od 180 MHz do 300 MHz (VHF). Każdy typ anteny ma swoje wady i zalety oraz typowe obszary zastosowań. Przy wyborze anteny należy wziąć pod uwagę lokalne warunki

odbioru oraz lokalizację i parametry promieniowania nadajnika, z którego chcemy odbierać sygnał. Do odbioru naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T2 najlepiej zastosować anteny szerokopasmowe pokrywające zakres UHF (kanały 21 – 60) oraz VHF (kanały 5 – 12) [1-3].

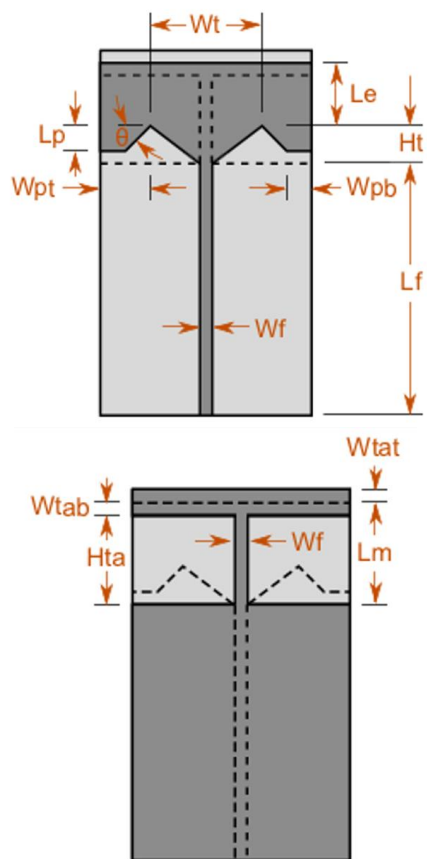
Model anteny

Ze względu na wykorzystywane zakresy częstotliwości pracy systemu DVB-T2 w Polsce, głównym założeniem dla projektowanej anteny mikropaskowej jest praca na jednym z tych pasm częstotliwości. Ze względu na to, że w paśmie UHF nadawane są 4 z 5 multipleksów zdecydowano się na wybór tego pasma. Oprócz pasma częstotliwości innym ważnym wymaganiem stawianym dla projektowanej anteny są wymiary anteny, które nie powinny być większe niż 200 x 200 mm oraz rodzaj materiału, z którego wykonana ma być antena. Do projektu anteny wybrano powszechnie stosowany laminat FR4. Laminat typu FR-4 jest materiałem szklano-epoksydowym pokrytym warstwą miedzi. Wybrano materiał o grubości $h = 1,6$ mm, przenikalności elektrycznej równej $\epsilon_r = 4,4$ oraz niskich stratach $\tan(\delta) = 0,03$.

Dla założonych parametrów na antenę opracowano model w oprogramowaniu do projektowania anten mikropaskowych CST Microwave Studio. W oprogramowaniu tym można wyznaczyć również parametry elektryczne i charakterystyki promieniowania anteny [8-9]. Przy projektowaniu anteny na początku pod uwagę brano głównie wartość współczynnika S_{11} oraz wartość zysku energetycznego G. W oprogramowaniu CST Microwave Studio dokonano również ostatecznego procesu optymalizacji uzyskanego modelu pod kątem stawianych wymagań na antenę modyfikując jej wymiary oraz sposób zasilania. W procesie optymalizacji zmieniane były długość i szerokość podłoża anteny wraz z ekranem, długość i szerokość promiennika oraz szerokość linii zasilającej. Pozostałe elementy struktury takie jak grubość i przenikalność elektryczna podłoża zostały bez zmian. W wyniku przeprowadzonego procesu optymalizacji ostatecznie otrzymano model anteny przedstawiony na rys. 1, którego wymiary przedstawiono w Tabeli 2. Dla tak uzyskanego modelu anteny wykonano model fizyczny anteny, którego wygląd pokazano na rys. 2. Dla wykonanego finalnego modelu proponowanej anteny przeprowadzono symulacje komputerowe i pomiary dotyczące wyznaczenia wartości parametrów elektrycznych anteny.

Tabela 2. Wymiary projektu anteny

Symbol	Wymiar (mm)
L_f	132,100
W_f	3,085
W_{tat}	4,444
W_{tab}	4,444
W_t	71,110
H_t	17,780
L_p	13,330
L_e	44,000
W_{pt}	20,000
L_m	61,780
H_{ta}	57,340
W_{pb}	11,110



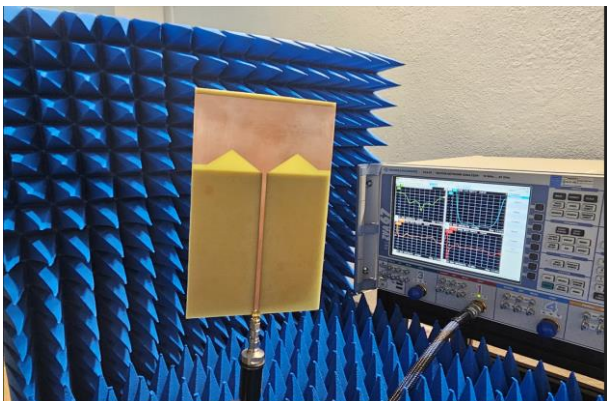
Rys. 1. Opracowany model mikropaskowej anteny DVB-T2 z oznaczeniami wymiarów – widok z przodu i widok z tyłu



Rys. 2. Wygląd wykonanej mikropaskowej anteny DVB-T2 – widok z przodu i widok z tyłu

Wyniki pomiarów dla opracowanej anteny DVB-T2

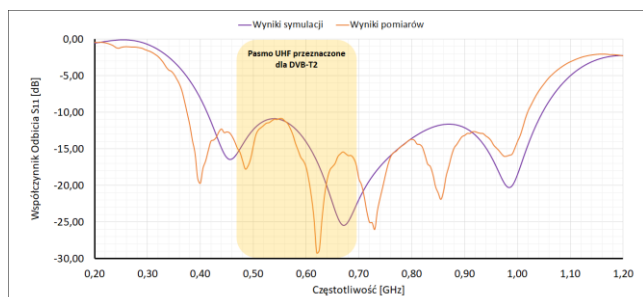
Zaprojektowana konstrukcja anteny DVB-T2 składa się z trzech komponentów: ekranu, promiennika i podłoża. Dla tak zaprojektowanej anteny przeprowadzono proces symulacji z wykorzystaniem oprogramowania CST Microwave Studio oraz wykonano pomiary z wykorzystaniem analizatora sieci ZVA67 firmy Rohde&Schwarz. Wygląd zaprojektowanej anteny podczas pomiarów przedstawiono na rys. 3. W rezultacie przeprowadzonych symulacji oraz pomiarów otrzymano wyniki wartości parametrów elektrycznych takich jak: współczynnik odbicia, współczynnik fali stojącej, impedancja wejściowa, zysk energetyczny oraz charakterystyki promieniowania. Wszystkie wyżej wymienione parametry porównano ze sobą w celu analizy właściwości wykonanej anteny mikropaskowej.



Rys. 3. Wygląd wykonanej mikropaskowej anteny DVB-T2 podłączonej do analizatora sieci ZVA67 podczas przeprowadzania pomiarów

A. Współczynnik odbicia S_{11}

Pierwszym współczynnikiem, który pozwala stwierdzić jaki jest zakres pracy proponowanej anteny jest współczynnik odbicia S_{11} . Na rys. 4 przedstawiono jego wyniki symulacji oraz wyniki pomiarów dla proponowanej anteny mikropaskowej DVB-T2. Proponowana antena posiada rezonans na częstotliwości 620 MHz ze stratami odbiciowymi wynoszącymi -27,19 dB. Proponowana antena ma szerokość pasma pracy równą 640 MHz, co daje szerokość względną pasma pracy 103,22%. Na podstawie tego możemy powiedzieć, że jest to antena, którą można zastosować tylko w wybranym paśmie systemu DVB-T2 jakim jest pasmo UHF.

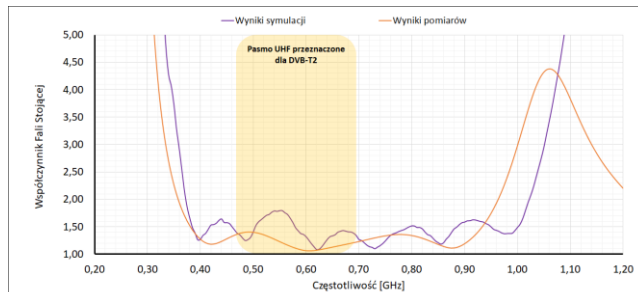


Rys. 4. Wartość współczynnika odbicia S_{11} w funkcji częstotliwości dla modelu proponowanej anteny

B. Współczynnik fali stojącej WFS

Kolejnym parametrem, który określa właściwości impedancyjne anteny jest współczynnik fali stojącej (WFS). W przypadku anteny mikropaskowej napięciowy współczynnik fali stojącej nie powinien być większy niż 2 w całej szerokości pasma częstotliwości. Na rys. 5 przedstawiono napięciowy współczynnik fali stojącej w

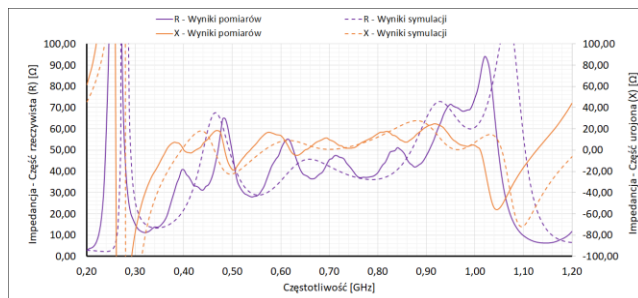
funkcji częstotliwości. Jak można zaobserwować wartość WFS uzyskana przy częstotliwości rezonansowej 620 MHz wynosi 1,06, wartość WFS wynosząca 2 wyznaczona została przy częstotliwościach odpowiednio 380 MHz i 1,02 GHz. Z powyższych wartości wynika, że proponowana antena pracuje w zakładanym paśmie częstotliwości DVB-T2. Pasma pracy proponowanej anteny pokrywa wszystkie szerokości multipleksów stosowanych w paśmie UHF w Polsce.



Rys. 5. Wartość współczynnika fali stojącej dla modelu proponowanej anteny

C. Impedancja wejściowa

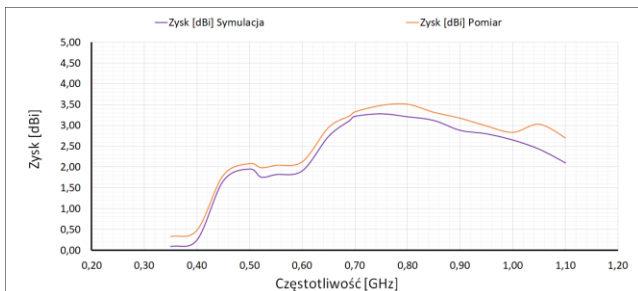
Impedancja wejściowa anteny składa się z części rzeczywistej i urojonej, których wartości zmieniają się wraz z częstotliwością. Należy zakładać wartość uwzględniając podczas projektowania anteny, ponieważ jest to łatwy sposób na pogorszenie właściwości tej anteny. Zaprojektowana szerokość i długość linii zasilającej w antenie pozwoliła na uzyskanie impedancji wejściowej wynoszącej $Z = 50,36 - j0,72 \Omega$ przy częstotliwości rezonansowej 620 MHz. Przy częstotliwościach skrajnych z pasma pracy anteny impedancja wejściowa wynosi odpowiednio dla częstotliwości 0,38 GHz $Z = 30,38 + j6,31 \Omega$, dla częstotliwości 1,02 GHz $Z = 77,99 - j0,29 \Omega$. Szczegółowe wartości impedancji wejściowej dla proponowanej anteny w funkcji częstotliwości przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Wartość impedancji wejściowej dla modelu proponowanej anteny

D. Zysk energetyczny

Jednym z istotnych parametrów branych pod uwagę podczas projektowania proponowanej anteny mikropaskowej jest zysk energetyczny, który powinien być jak największy. Zysk energetyczny anteny podawany jest w odniesieniu do anteny izotropowej i wyrażany jest w jednostkach dBi. Proponowana antena posiada zysk równy 2,52 dBi przy częstotliwości rezonansowej 620 MHz. Uzyskana wartość jest uważana za dobrą dla jednoelementowych anten mikropaskowych o charakterystykach dookólnych, co jest sporym osiągnięciem dla takiej konstrukcji anteny. Wartość ta została uzyskana dzięki odpowiedniemu kształtowi promiennika. Przebieg wartości zysku energetycznego w funkcji częstotliwości dla zaprojektowanej anteny przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Wartość zysku energetycznego dla modelu proponowanej anteny

E. Charakterystyki promieniowania

Charakterystyka promieniowania obrazuje, w jaki sposób antena promieniuje energię w zależności od kierunku. Przedstawia ona unormowany rozkład pola elektrycznego lub też względny rozkład powierzchniowej gęstości mocy. Charakterystyki są wyznaczone w dwóch płaszczyznach, poziomej i pionowej i mogą być także przedstawiane w postaci trójwymiarowej. Na rys. 8 przedstawiono trójwymiarowy wygląd charakterystyk promieniowania proponowanej anteny dla częstotliwości wybranych multipleksów: MUX1 – 650 MHz, MUX2 – 538 MHz, MUX3 – 522 MHz, MUX6 – 690 MHz. Charakterystyki promieniowania anteny wraz z zaznaczonym zyskiem energetycznym uzyskano podczas przeprowadzonych symulacji w oprogramowaniu CST Microwave Studio.

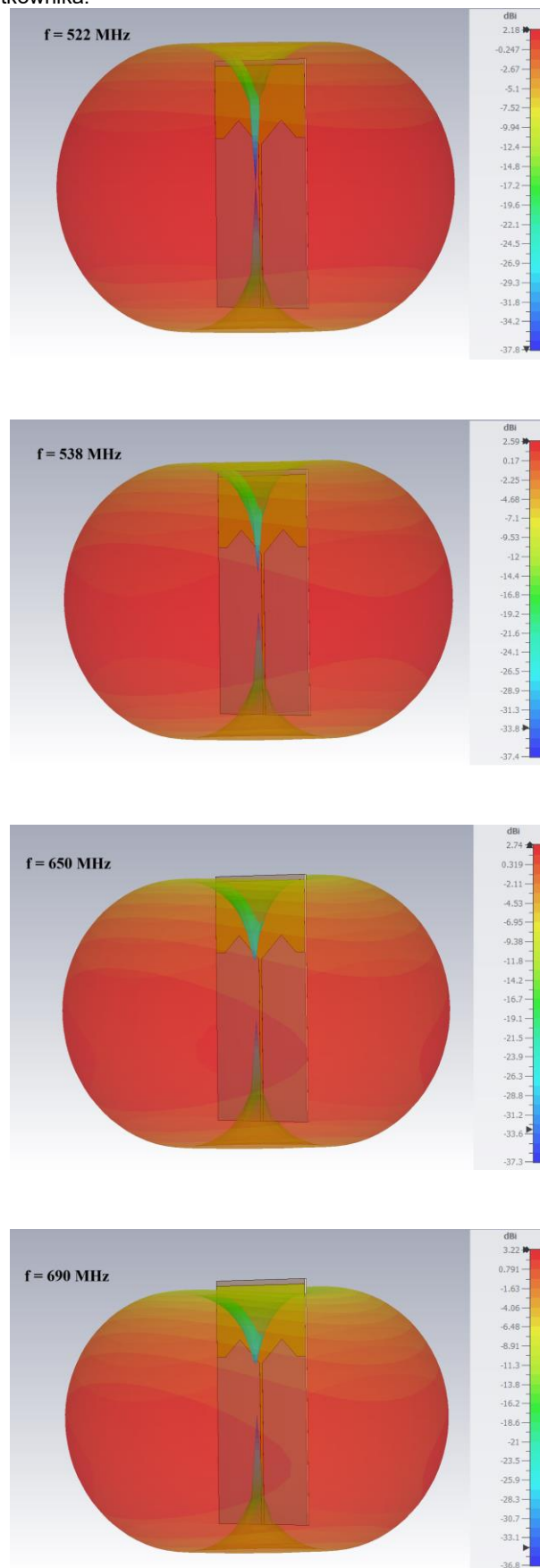
W opracowanym modelu anteny wraz ze wzrostem częstotliwości rośnie również nieznacznie zysk energetyczny. Dla częstotliwości 522 MHz zaobserwowano zysk na poziomie 2,18 dBi, natomiast dla częstotliwości 690 MHz zysk jest równy 3,22 dBi. Charakterystyki dla każdej częstotliwości wydają się być bardzo podobne do siebie i sugerują one, że zmiany są niewielkie w tym zakresie częstotliwości.

Wnioski

W ramach artykułu przedstawiono projekt anteny mikropaskowej przeznaczonej do odbioru sygnałów w technologii DVB-T2 w paśmie częstotliwości UHF. Jest ona doskonałym przykładem zastosowania innowacyjnych technologii w dziedzinie komunikacji bezprzewodowej. Antena została zaprojektowana specjalnie do odbioru sygnałów DVB-T2, które dają możliwość transmisji bardzo dużej ilości danych w krótkim czasie. Opracowana antena to bardzo kompaktowe urządzenie, które umożliwi odbiór sygnałów DVB-T2 w sposób bardzo efektywny i niezawodny. Dzięki swojej konstrukcji antena może być z łatwością zintegrowana z różnymi urządzeniami telewizyjnymi, takimi jak telewizory czy projektory multimedialne. Wyniki przeprowadzonych symulacji i pomiarów dla proponowanej anteny są bardzo obiecujące i dają nadzieję, że zaprojektowana antena może służyć do odbioru sygnałów DVB-T2 w gęsto zaludnionych miastach.

Opisana w artykule antena DVB-T2 wykonana została na podłożu dielektrycznym i przeznaczona jest do pracy w systemie z częstotliwościami UHF. Opracowana antena posiada zwartą konstrukcję o wymiarach (198,324 x 111,11 x 1,6) mm. Jako podłoże do budowy anteny wykorzystano laminat FR4 o współczynniku dielektrycznym 4,4 i grubości $h = 1,6$ mm. W artykule przedstawiono analizę wyników symulacji i pomiarów parametrów elektrycznych i charakterystyk promieniowania zaprojektowanej anteny. Opisana w artykule antena mikropaskowa charakteryzuje się niskim współczynnikiem odbicia -27,19 dB, dużym zyskiem energetycznym 3,22 dBi i paśmie pracy równym 640 MHz (103,22 %).

Zaprojektowana mikropaskowa antena DVB-T2 może być wykorzystywana w codziennym życiu przez zwykłego użytkownika.



Rys. 8. Charakterystyka promieniowania 3D zaprojektowanej mikropaskowej anteny DVB-T2 dla $f = 522$ MHz, $f = 538$ MHz, $f = 650$ MHz oraz $f = 690$ MHz

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

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; dr inż. Marek Bugaj, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: marek.bugaj@wat.edu.pl; prof. dr hab. inż. Roman Kubacki, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: roman.kubacki@wat.edu.pl; mgr inż. Tomasz Piaścik, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: tomasz.piascik@wat.edu.pl;

LITERATURA

- [1] ETSI EN 302 307: "Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)".
- [2] ETSI TS 102 992: "Digital Video Broadcasting (DVB); Structure and modulation of optional transmitter signatures (T2-TX-SIG) for use with the DVB-T2 second generation digital terrestrial television broadcasting system".
- [3] ETSI TS 102 005: "Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for the use of video and audio coding in DVB services delivered directly over IP".
- [4] Reimers, A. Morello: "DVB-S2, the second generation standard for satellite broadcasting and unicasting", submitted to *International Journal on Satellite Communication Networks*, 2004; 22.
- [5] B. Luadang and C. Phongcharoenpanich, "Wideband antenna using bow tie shape with incision Gap for DVB-T2 application," *2015 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA)*, Chiang Mai, Thailand, 2015, pp. 1-2, doi: 10.1109/CAMA.2015.7428175.
- [6] R. Fauzi, M. P. K. Praja and S. Romadhona, "Experimental of Rectangular Microstrip Antenna using Parasitic Element for DVB-T2 Applications," *2023 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT)*, Malang, Indonesia, 2023, pp. 475-480, doi: 10.1109/COMNETSAT59769.2023.10420535.
- [7] S. D. Ashari, M. P. K. Praja and A. Wicaksono, "Experimental of Circular Patch Microstrip Antenna Using Defected Ground Structure (DGS) Methods in DVB-T2 Applications," *2023 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT)*, Malang, Indonesia, 2023, pp. 464-469, doi: 10.1109/
- [8] James, J.R.; Hall, P.S. *Handbook of Microstrip Antenna; The Institution of Engineering and Technology: London, UK, 30 June 1989.*
- [9] Hirtenfelder, F. Effective Antenna Simulations using CST MICROWAVE STUDIO®. *In Proceedings of the 2007 2nd International ITG Conference on Antennas*, Munich, Germany, 28–30 March 2007; p. 239.