

**Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji**

**Dokumentacja projektowa**

**Skaner pola magnetycznego**

Autorzy: Dominik Jaworski, Paweł Frączkiewicz, Łukasz Piasecki

Kierunek studiów: *Elektronika* i Telekomunikacja

Przedmiot: Sensory w aplikacjach wbudowanych

Kraków, 2023

Spis treści

[**1. Wprowadzenie 3**](#_heading=h.30j0zll)

[**2. Opis technologii 3**](#_heading=h.1fob9te)

[2.1. Drukarka 3D 3](#_heading=h.3znysh7)

[2.1.1. Wykonane modyfikacje drukarki 6](#_heading=h.59yb4cgt7ge9)

[2.2. OctoPrint 8](#_heading=h.2et92p0)

[2.3. Wtyczka Magnetic Field Scanner 9](#_heading=h.tyjcwt)

[2.4. Sensor pola magnetycznego 11](#_heading=h.3dy6vkm)

[2.5. Analizator widma 12](#_heading=h.1t3h5sf)

[2.6. Podłączenie sensora oraz ustawienia analizatora widma. 13](#_heading=h.ok8weq6djt4p)

[2.7. Połączenie z drukarką 3D 15](#_heading=h.ux4amc8ixh8)

[2.8. Instalacja oraz konfiguracja wtyczki 15](#_heading=h.ggzzlj40xi94)

[3. Obsługa skanera 19](#_heading=h.8ivccusgfkd3)

[3.1. Generacja G-code 19](#_heading=h.pf17rntsvvb0)

[3.2. Rozpoczęcie skanowania 20](#_heading=h.winqn0aqgz0f)

[3.3. Wizualizacja danych 22](#_heading=h.o7vvefr26wz8)

[3.4. Eksport, import oraz usuwanie danych 22](#_heading=h.czl1jylu8wpd)

[4. Testy 23](#_heading=h.qmadfjvxi6sw)

[4.1. Symulacja w programie CST Studio 24](#_heading=h.rz7xd8ebwvxh)

[4.2. Pomiar tła 25](#_heading=h.tjsghmvriuib)

[4.3. Pomiar pola elektromagnetycznego cewki 26](#_heading=h.ihbwhu7ttrjc)

[4.4. Eksport danych, wizualizacja w Matlab 29](#_heading=h.6bwnj04bovxk)

[4.5. Podsumowanie 29](#_heading=h.ctsdmslcas9b)

# Wprowadzenie

Niniejszy dokument zawiera komplet informacji na temat skanera pola magnetycznego. Skaner został skonstruowany jako projekt zaliczeniowy przedmiotu sensory w aplikacjach wbudowanych. Dokument zawiera szczegółowy opis skanera, w tym zasady jego działania, instrukcje dotyczące obsługi, konfiguracji oraz wizualizacji danych uzyskanych z pomiarów.

Skaner pola magnetycznego wykorzystuje zaawansowany sprzęt pomiarowy w tym sondę pola H, która wykrywa emitowane linie pola magnetycznego. Dzięki wykorzystaniu systemu drukarki 3D możliwy jest pomiar pola w przestrzeni trójwymiarowej.

Skanery pola magnetycznego znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach. Mogą być wykorzystywane do analizy pola magnetycznego generowanego przez różne urządzenia elektroniczne, badania magnetycznych właściwości materiałów, diagnostyki w medycynie, analizy pola magnetycznego w środowiskach przemysłowych, kontroli jakości w produkcji i wielu innych.

# Opis technologii

Częściami składowymi skanera są drukarka 3D wraz ze specjalnie przygotowaną wtyczką oprogramowania, sensor pola magnetycznego oraz analizator widmowy.

## Drukarka 3D

Drukarka 3D jest kluczowym elementem skanera pola magnetycznego. Układ mechaniczny oraz dedykowane oprogramowanie odpowiada za poruszanie głowicą skanera zawierającą sensor pola magnetycznego. W projekcie została użyta drukarka zbudowana na bazie płyty głównej Bigtreetech SKR v1.4 Turbo 32-bit wraz oprogramowaniem OctoPrint.

|  |
| --- |
| Zdj 1. Drukarka 3D wykorzystana podczas projektu |

|  |
| --- |
| Zdj 2. Płyta główna drukarki 3D - Bigtreetech SKR v1.4 Turbo 32-bit |

## Wykonane modyfikacje drukarki

W celu dostosowania drukarki do potrzeb projektu niezbędna była modyfikacja wielu części składowych. Poniżej znajduje się lista dokonanych modyfikacji.

|  |
| --- |
| Usunięcie czujnika autopoziomowania BLTouch. W zamian zamontowano czujnik krańcowy na osi Z |
| Usunięcie extrudera odpowiedzialnego za dystrybucję filamentu wraz hotend’em służącym do jego podgrzewania oraz zaprojektowanie i wydrukowanie elementu mocowania sondy w miejscu hotend’u    Zdj.3 Mocowanie sondy zaprojektowane w środowisku Shapr 3D    Zdj.4 Mocowanie sondy po wydruku |
| Wymiana stołu grzewczego na drewnianą powierzchnię w celu wyeliminowania metalowego podłoża pod badanym obiektom który zaburza generowane pole i tym samym same pomiary. Dodatkowo zwiększono dystans między badanym układem a podłożem poprzez dodanie plastikowego materiału aby oddalić badany układ od metalowego mocowania ruchomego stołu.    Zdj. 5. Podstawa skanera z widocznymi zmianami |
| Z powodu usunięcia ekstrudera oraz stołu grzewczego wraz z ich sondami temperaturowymi niezbędne było zmapowanie pomiaru temperatury poprzez rezystory 100k powodując tym samym stały odczyt temperatury w okolicy 22°C |
| Wymiana sterownika silnika krokowego osi Z na TMC2208 |
| Wykonano formatowanie płytki Raspberry PI oraz zainstalowano oprogramowanie Octoprint |
| Wykonano zmianę software’u na płycie głównej na nowszą wersję oprogramowania Klipper |

## OctoPrint

OctoPrint jest oprogramowaniem open source, służące do zarządzania i monitorowania drukarek 3D. Jest to platforma hostująca, która umożliwia kontrolę drukarki 3D za pomocą przeglądarki internetowej.

Można go zainstalować na komputerze jednopłytkowym, takim jak Raspberry Pi, który jest podłączony do drukarki 3D. Oprogramowanie to pozwala na monitorowanie postępu drukowania, zarządzanie plikami drukowalnymi, kontrolę nad ruchem drukarki, regulację parametrów druku.

Dodatkowo można rozwijać jego funkcjonalność jak np. wizualizacje krzywizny stołu, nagrywanie kamerą procesu drukowania. Dzięki temu, że OctoPrint jest oprogramowaniem open software istnieje ogromna baza wtyczek mogących zmodyfikować każdy element programu. Pozwala to prostą personalizację środowiska, według własnych potrzeb.

|  |
| --- |
| Zdj 6. Zrzut ekranu prezentujący okno OctoPrint |

Dzięki możliwości sterowania zdalnego poprzez sieć lokalną lub Internet możliwa jest kontrola drukarki i monitorowanie postępów skanowania z dowolnego miejsca, korzystając z urządzenia z przeglądarką internetową, takiego jak komputer, tablet czy smartfon.

## Wtyczka Magnetic Field Scanner

Specjalnie przygotowana wtyczka (plugin) oprogramowania zapewnia integrację drukarki 3D z resztą skanera. Odpowiada za sterowanie procesem skanowania, akwizycji danych oraz wizualizacją pomiarów.

|  |
| --- |
| Zdj 7. Zrzut ekranu prezentujący okno wtyczki Magnetic Field Scanner |

W skład wtyczki wchodzi szereg skryptów napisanych zarówno w języku Python jak i JavaScript. Poniżej lista najważniejszych skryptów wraz z krótkim opisem.

|  |  |
| --- | --- |
| Nazwa | Opis |
| \_\_init\_\_.py | Kod definiujący wtyczkę do OctoPrint. Kod udostępnia interfejs oraz nadzoruje wszystkie inne procesy związane ze skanowaniem pola. Zawiera również funkcje przechwytujące komendy G-code wysyłane do drukarki przed ich wykonaniem w celu usunięcia konfliktowych rekordów tj. np. temperatura. |
| scanner.py | Skrypt definiuje klasę Scanner, która służy do komunikacji z urządzeniem pomiarowym za pomocą biblioteki PyVisa. Klasa posiada metody do połączenia z urządzeniem, rozłączenia, oraz pomiaru wartości z urządzenia. W trakcie pomiaru ustawiane są odpowiednie parametry na urządzeniu, a następnie pobierane są wartości pomiarowe (częstotliwość i wartość) za pomocą komend wywoływanych na instrumencie. |
| chart.js | Plik zawiera funkcje odpowiedzialne za wizualizację oraz odświeżenie wykresu. |
| magneticfieldscanner.js | Skrypt odpowiedzialny jest za zarządzanie interakcjami użytkownika i danymi dla wtyczki do skanowania pola magnetycznego. Zdefiniowano również elementy interfejsu użytkownika, takie jak przyciski, pola tekstowe i wykresy, oraz obsługuje interakcje z nimi np. przesyłanie plików, aktualizowanie danych i wysyłanie poleceń do serwera OctoPrint. Reaguje na wiadomości otrzymane od serwera OctoPrint i aktualizuje stan interfejsu użytkownika na podstawie tych wiadomości. |

Wtyczka została napisane zgodnie z wytycznymi ze strony OctoPrint, dzięki czemu jest łatwa w instalacji, przejrzysta oraz kompatybilna z innymi urządzeniami, które posiadają zainstalowane środowisko OctoPrint.

## Sensor pola magnetycznego

Sensor wykorzystany w skanerze pola magnetycznego to XF-B 3-1, sonda pola H o zakresie częstotliwości od 30 MHz do 6 GHz.

XF-B 3-1 to pasywna sonda bliskiego pola, specjalnie zaprojektowana do wykrywania linii pola magnetycznego emitowanych przez obiekt mierzony pod kątem 90°. Sonda posiada cewkę pomiarową, która jest umieszczona pod kątem 90° względem badanej powierzchni. Tym samym linie pola magnetycznego, które wchodzą do sondy w osi wertykalnej, nie są wykrywane.

|  |
| --- |
| https://www.langer-emv.de/fileadmin/Bilder300/Disturbance%20emission_near%20field%20probe_XF-B%203-1_function_en_wPZ.png?v=1687071604117  Zdj 8. Sonda XF-B 3-1 |

Dzięki swojej konstrukcji umożliwia precyzyjny pomiar pola magnetycznego w bliskiej odległości od mierzonego obiektu. W celu użycia należy podłączyć bezpośrednio do analizatora z wejściem 50Ω. Poniżej znajduje się wykres pasma przenoszenia sondy.

|  |
| --- |
| Frequency response [dBµV] / [dBµA/m]  Zdj 9. Pasmo przenoszenia Sondy XF-B 3-1 |

## Analizator widma

Wykorzystany analizator to Rohde & Schwarz ESRP. Jest to zaawansowany analizator sygnałów elektromagnetycznych. Jest to wszechstronne narzędzie do analizy i pomiaru sygnałów radiowych posiadający zarówno analizator sygnału jak i analizator widma.

Precyzyjny analizator widma, umożliwia wyświetlanie widma sygnału w czasie rzeczywistym oraz wykrywanie i identyfikację różnych składników spektralnych.

|  |
| --- |
| https://cdn.rohde-schwarz.com/image/products/test-and-measurement/emc-test-equipment/emi-receivers/esrp/esrp-emi-test-receiver-front-view-rohde-schwarz_200_1279_2880_1620_3.jpg  Zdj 10. Analizator Rohde & Schwarz ESRP |

## Podłączenie sensora oraz ustawienia analizatora widma.

Na początku należy umieścić sondę pola magnetycznego w uchwycie drukarki, a następnie połączyć ją do analizatora widma podłączonego do zasilania oraz sieci lokalnej lub internetu.

|  |
| --- |
| Zdj.11 Drukarka z zamontowaną sondą pola magnetycznego |

## 

Reszta koniecznych ustawień dokonywana zostanie w oknie OctoPrint i przesłana za pomocą pyVisa za pomocą funkcji zamieszczonych w skrypcie scanner.py. Poniżej lista najważniejszych metod.

Metody connect() oraz disconnect() mają za zadnie odpowiednio nawiązywać oraz kończyć połączenie z analizatorem. Dodatkowo w metodzie connect() następuje konfiguracja urządzenia oraz inicjalizacja parametrów pomiarowych, takie jak częstotliwość, szerokość pasma RBW (Resolution Bandwidth) oraz poziom odniesienia.

Metoda measure() jest odpowiedzialna za ustawienie parametrów w celu dokonania pomiarów na analizatorze. Metoda konfiguruje urządzenie, znajduje maksymalną wartość na śladzie pomiarowym i zwraca odczytane wartości częstotliwości i amplitudy. Pobieranie danych z analizatora odbywa się w trybie Max Hold dzięki czemu analizator będzie śledził i rejestrował maksymalną wartość do momentu zresetowania.

|  |
| --- |
| def connect(self, ip, freq, window, ref\_level\_offset, RBW):  try:  self.rm = pyvisa.ResourceManager()  # replace with your instrument's VISA address  self.window = window  self.freq = freq  self.ip = ip  self.ref\_level\_offset=ref\_level\_offset  self.RBW=RBW  self.instr = self.rm.open\_resource(f"TCPIP0::{self.ip}::INSTR")  self.instr.write("\*RST")  # Send the command to reset the instrument  # Select the measurement parameters you want to measure  self.instr.write(  f"SENS:FREQ:START {self.freq - self.window}MHz"  ) # Set the start frequency for the measurement  self.instr.write(  f"SENS:FREQ:STOP {self.freq + self.window}MHz"  ) # Set the stop frequency for the measurement  self.instr.write(f"SENS:BWID {self.RBW} Hz") # Set the measurement bandwidth  self.instr.write("CALC:MARK:AOFF") # Turn off the active marker  self.instr.write("CALC:MARK1:STAT ON") # Turn on MARK1 marker  # Set the analyzer to continuous measurement mode  self.instr.write("INITiate:CONTinuous ON") # Turn on continuous measurement  self.instr.write(f"DISP:WIND:TRAC:Y:RLEV:OFFS {self.ref\_level\_offset}")  # Set the reference level offset for the display  self.connected = True  except Exception as err:  logging.error(f"Error while initializing PyVisa: {err}")  self.connected = False  return self.connected  Zdj. 12.Metoda nawiązuje połączenie z analizatorem i inicjuje parametry ustawione w oknie wtyczki w sekcji ustawienia. |
| def disconnect(self):  try:  self.rm.close()  except Exception as err:  logging.error(f"Error while closing PyVisa connection: {err}")  self.connected = False  Zdj. 13. Metoda ta ma na celu rozłączenie połączenia z analizatorem |
| def measure(self):  # Clear the trace and enable auto-scaling for the Y-axis  self.instr.write("CALC:TRAC1:CLE")  self.instr.write("DISP:WIND1:TRAC1:Y:AUTO ON")  # Find and mark the maximum value on the trace  self.instr.write("CALC:MARK1:MAX")    # Set max hold mode  self.instr.write("DISP:TRAC:MODE MAXH")  # Enable averaging  self.instr.write("SENSE:AVERAGE ON")  time.sleep(0.1)  # Query the Y-value (measurement value) of the marked maximum  value = self.instr.query\_ascii\_values("CALC:MARK1:Y?")[0]  # Query the X-value (frequency) of the marked maximum  freq = self.instr.query\_ascii\_values("CALC:MARK1:X?")[0]  return freq, value  Zdj. 14 Metoda odpowiadająca za konfigurację analizatora przed każdym pomiarem |

## Połączenie z drukarką 3D

Kolejnym krokiem jest połączenie drukarki 3D oraz urządzenia za pomocą którego będziemy się łączyć, to tej samej sieci lokalnej lub do sieci z dostępem do Internetu. Następnie należy połączyć się z serwerem OctoPrint wpisując w przeglądarkę adres zdefiniowany na Raspberry <http://192.168.1.181/>, a następnie zalogować się na swoje konto.

## Instalacja oraz konfiguracja wtyczki

## W celu instalacji wtyczki należy kliknąć na ikonę „Ustawienia” w prawym górnym rogu ekranu.

|  |
| --- |
|  |

## Następnie przechodzimy się do sekcji zarządzania wtyczkami, w której można przeglądać dostępne wtyczki wybierając “Plugin Manager”

|  |
| --- |
| Zdj. 15. Przycisk “Plugin Manager” |

## Jeśli na liście zainstalowanych wtyczek nie znajduje się wtyczka „Magnetic Field Scanner” należy wybrać oraz „Get More”

|  |
| --- |
| Zdj. 16. Przycisk “Get More” |

a sekcji „... from an uploaded file” wybrać plik .zip z wtyczką, a następnie kliknąć instaluj. Po udanej instalacji należy zrestartować OctoPrint.

|  |
| --- |
| Zdj. 17. Sekcja „... from an uploaded file” |

Po udanej instalacji powinna pojawić się nowa sekcja w oknie drukarki.

|  |
| --- |
| Zdj.18 Miejsce wyboru wtyczki Magnetic Field Scanner |

W kolejnym kroku konieczne jest dostosowanie parametrów analizatora z wykorzystaniem pyVisa. W pierwszej kolejności niezbędne jest dobranie parametrów analizy.

|  |
| --- |
| Zdj.19 Ustawienia zapisywane do analizatora za pomocą standardu pyVisa |

Poniżej znajduje się lista parametrów wraz z komentarzem.

|  |  |
| --- | --- |
| **Parametr** | **Komentarz** |
| IP Address | Unikalny adres przypisany do urządzenia w sieci komputerowej |
| Center frequency [Mhz] | Częstotliwość centralna określająca punkt wokół którego analizator dokonuje pomiarów widma. |
| Frequency window [Mhz] | Zakres (okno) wokół centralnej częstotliwości w jakim analizator przeprowadza pomiary. |
| Ref level offset [dB] | Przesunięcie poziomu referencyjnego, które można zastosować w celu dostosowania skali pomiarowej analizatora. |
| RBW [Hz] | (Resolution Bandwidth) określa szerokość pasma rozdzielczego w jakim analizator może rozróżnić dwa sygnały o różnych częstotliwościach. |

## 

## Obsługa skanera

## Generacja G-code

Niezbędnym krokiem jest wyznaczenie obszaru skanowania. W tym celu w dowolnym programie umożliwiającym przygotowanie modeli 3D do druku np. Ultimaker Cura należy wygenrować plik G-code zawierający instrukcje ruchu dla drukarki.

Przed wygenerowaniem pliku możliwe jest ustawienie szerokości, długości i wysokości skanowania. Aby w prosty sposób otrzymać wymagany obszar należy wygenerować samo wypełnienie bryły, obszar ścian oraz górnej i dolnej warstwy ustawiamy na 0. Określając ilość wypełnienia określamy tym samym gęstość wypełnienia próbkami.

Program Ulti Maker służy do generowania plików do wydruku 3D, dlatego konieczne może być ustawienie wartości wielu parametrów, które nie są ważna dla procesu skanowania np. parametr temperatury, ruch wiatraka, dlatego nie ma konieczności przejmowania się wartościami tych parametrów. Z racji, że nie odbywa się fizyczne drukowanie wtyczka ignoruje te parametry.

Usunięte zostaną parametry:

E–: Wszystkie makra dotyczące ekstrudera w drukarce 3D.

M104: Ustawianie temperatury ekstrudera w trybie bez oczekiwania.

M109: Ustawianie temperatury ekstrudera w trybie z oczekiwaniem.

M140: Ustawianie temperatury stołu roboczego w trybie bez oczekiwania.

M190: Ustawianie temperatury stołu roboczego w trybie z oczekiwaniem.

G92: Ustawianie współrzędnych zerowych (zerowanie pozycji).

Eliminacją tych parametrów zajmuje się kod zawarty w skrypcie \_\_init\_.py

|  |
| --- |
| words = return\_cmd.split()  # Remove words based on specified conditions  words = [word for word in words if not word.startswith(("E", "M104", "M109", "M140", "M190","G92"))]  return\_cmd = " ".join(words)  Zdj. 20. Fragment kodu eliminujący zbędne prefiksy wprowadzające błędy w działaniu skanera |

|  |
| --- |
| Zdj. 21 Bryła skanowania w programie UltiMaker |

Dużym problemem wydaje się konieczność generowania dużej ilości punktów pomiarowych, które należałoby wykonać w programie CAD. Działanie to byłoby długie i żmudne, dlatego w celu uproszczenia tego procesu należy wybrać wypełnienie gyroid, dzięki czemu skanowanie obszaru przebiegnie bezproblemowo.

## Rozpoczęcie skanowania

Po przygotowaniu obiektu, który zostanie poddany pomiarom można rozpocząć skanowanie pola magnetycznego. W interfejsie OctoPrint, należy połączyć się z zdalnie za pomocą biblioteki pyVisa z analizatorem. W tym celu należy kliknąć przycisk “Connect.

Następnie należy wybrać plik G-code zawierający serię instrukcji za pomocą których odbywa się ruch głowicy drukarki. W momencie rozpoczęcia “wydruku” parametr “Measured points” powinien się zwiększać.

|  |
| --- |
| Zdj.22 Początek wykonywania pomiarów |

Uwagę zwraca również podpis skali kolorów. W przypadku wartości ujemnych wyświetlane zostają błędne symbole. Jest to błąd związany z biblioteką plotly, który jest obecnie dobrze znany w środowisku programistów i powinien zostać usunięty z kolejną wersją biblioteki plotly.

Po rozpoczęciu skanowania drukarka automatycznie porusza głowicą z sondą „rysując” kształt sześcianu, a dane odczytywane z analizatora zostają zapisane w pamięci.

## Wizualizacja danych

W celu zaktualizowania wykresu wizualizujące obecnie dokonane pomiary należy nacisnąć przycisk “Update chart”. Dzięki temu zostaną wrysowane wszystkie obecnie zebrane dane.

Wizualizację zapewnia skrypt napisany w języku JavaScript wykorzystujący bibliotekę plotly.

## Eksport, import oraz usuwanie danych

W oknie wtyczki można również znaleźć przyciski umożliwiające eksportowanie danych do pliku. Dane zapisywane zostają w pliku w formacie .csv. Pozwala to na analizę pomiarów w zewnętrznym programie np. Python, Matlab.

Dzięki funkcji importowania wtyczka działa również jako viewer, co pozwala nam na przeglądanie starszych zapisanych danych albo kontynuowanie zapisu danych po imporcie. Format który jest obsługiwany to .csv.

Usuwanie danych odbywa się po naciśnięciu przycisku “Delete data”

## Testy

W celu przetestowania funkcjonalności skanera wykorzystano cewkę emitującą pole elektromagnetyczne, zasiloną generatorem R&S SMCV100B sygnałem o mocy 25 dBm i częstotliwości 3 GHz.

|  |
| --- |
| Zdj. 23 Generator R&S SMCV100B |

Badanym obiektem jest płytka z wytrawioną cewką.

|  |
| --- |
| Zdj. 24 Model cewki wykorzystanej podczas testów |

Uproszczony schemat połączenia znajduje się poniżej.

|  |
| --- |
| Rys. 25. Uproszczony schemat stanowiska testowego |

## Symulacja w programie CST Studio

CST Studio to środowisko symulacyjne do analiz elektromagnetycznych. Dzięki niemu jesteśmy w stanie zasymulować oraz analizować wiele aspektów zachowania się pól elektromagnetycznych, takich jak dystrybucja pola, charakterystyki promieniowania, tłumienie, rezonanse, impedancje, propagacja fali, interakcje z materiałami.

W celu potwierdzenia poprawności pomiarów postanowiono wykonać symulacje w tym środowisku.

|  |
| --- |
| Zdj. 26. Ekran programu CST Studio. |

|  |
| --- |
| Zdj. 27 Symulacja pola elektromagnetycznego |

Niestety nie udało się dokończyć symulacji. Ograniczeniem okazał się dostęp do licencji, z powodu korzystania przez większą ilość osób.

## Pomiar tła

W pierwszej kolejności wykonano skanowanie tła, bez wymuszania zakłóceń. Należy zwrócić uwagę, że średnia moc szumów jest bliska -78dBm.

|  |
| --- |
| Zdj. 28. Pomiary tła. |

## Pomiar pola elektromagnetycznego cewki

W pierwszym pomiarze w celu dokładniejszej obserwacji pola wokół cewki zdecydowano się ustalić obszar skanowanie równy 20cm x 20cm x 0.2cm oraz 25 000 próbek na warstwę. Dzięki temu jesteśmy w stanie obserwować z dużą rozdzielczością wykres pola do kilku mm nad obiektem.

W drugim pomiarze w celu przyspieszenia czasu skanowania ustawiono 5000 próbek na warstwę, a skanowanie przeprowadzono w na obszarze o wymiarach 18cm x 18cm x 2cm

Widzimy, że pole magnetyczne jest mierzone, a w centralnym miejscu wizualizacji można zaobserwować kształt anteny.

|  |
| --- |
| Zdj. 29. Pomiar pola elektromagnetycznego cewki - pomiar nr.1 |
| Zdj. 30. Pomiar pola elektromagnetycznego cewki - pomiar nr.1 |
| Zdj. 31. Pomiar pola elektromagnetycznego cewki - pomiar nr.1 |
| Zdj. 32. Pomiar pola elektromagnetycznego cewki. - pomiar nr.2 |

## 

## Eksport danych, wizualizacja w Matlab

Dzięki funkcji eksportu danych istnieje możliwość analizy danych w zewnętrznym programie np. Matlab.

Przedstawiony przykładowy kod wizualizacji danych w programie Matlab również znajduje się w plikach projektu pod nazwą viewer.m.

|  |
| --- |
| Zdj. 33 Wizualizacja zebranych danych w programie Matlab. |

## Podsumowanie

Celem projektu było skonstruowanie skanera pola magnetycznego w przestrzeni trójwymiarowej. Skaner umożliwia precyzyjny i trójwymiarowy pomiar pola magnetycznego w czasie rzeczywistym. Umożliwia analizę pola emitowanego przez badane obiekty co pozwala na identyfikację zakłóceń elektromagnetycznych oraz optymalizacji projektów elektronicznych.

Dzięki części składowych tj. analizator, sonda pola magnetycznego drukarka 3D powstał w pełni działający skaner, który z powodzeniem może konkurować z produktami komercyjnymi.

Dużą zaletą skanera są prosta obsługa urządzenia, intuicyjny interfejs oraz elastyczność względem danych wejściowych. Samo oprogramowanie OctoPrint posiada rozbudowaną bazę wiedzy, co jeszcze bardziej ułatwia dostosowanie skanera do własnych potrzeb.