

WYDZIAŁ AUTOMATYKI, ELEKTRONIKI I INFORMATYKI



POLITECHNIKA ŚLĄSKA

Inteligentny dalmierz

Autorzy: Jakub Tymkiewicz, Marek Gałeczka

Nazwa producenta: Dalex

Numer projektu: 296292

Zamawiający: Politechnika Śląska

Numer sprawozdania: 01

Data wydania: 19.06.2024

Gliwice, 2024

Spis treści

| | | |
|------|---|----|
| 1. | Wstęp | 3 |
| 2. | Główne wnioski i uwagi | 4 |
| 2.1. | Specyfikacja komponentów | 4 |
| 2.2. | Wydajność poza specyfikacją | 5 |
| 2.3. | Zdarzenia nieoczekiwane | 5 |
| 2.4. | Budowa | 5 |
| 2.5. | Instalacja | 5 |
| 2.6. | Uruchamianie | 6 |
| 2.7. | Bezpieczeństwo | 6 |
| 2.8. | Opakowanie | 6 |
| 2.9. | Uwagi o dokumentacji | 6 |
| 3.1. | Charakterystyka przetwarzania | 7 |
| 3.2. | Wpływ temperatury na badanie pomiaru odległości | 7 |
| 3.3. | Wpływ zakłócenia światłem na badanie pomiaru odległości | 7 |
| 4. | Wyniki prób | 8 |
| 4.1. | Charakterystyka przetwarzania | 8 |
| 4.2. | Wpływ temperatury na badanie pomiaru odległości | 10 |
| 4.3. | Wpływ zakłócenia światłem na badanie pomiaru odległości | 11 |
| 5. | Zasada działania i budowa mechaniczna | 13 |
| 6. | Dokumenty powołane i definicje stosowane w sprawozdaniu | 14 |
| 7. | Załączniki | 15 |

1. Wstęp

Ten raport opisuje budowę inteligentnego przetwornika pomiarowego, którego zadaniem jest wykonanie pomiaru odległości w zakresie od 0,2m do 8,0m.

Badanie urządzenia zostało przeprowadzone zgodnie z normą PN-EN 61289-4:2009, która opisuje ogólne metody i procedury wyznaczania właściwości urządzeń do pomiarów i sterowania procesami przemysłowymi.

Celem opracowania urządzenia było stworzenie narzędzia dla architektów oraz projektantów wnętrz budynków. Dalmierz umożliwia wykonanie pomiaru długości pomieszczenia, a następnie wykorzystanie tych informacji do obliczenia pola powierzchni pomieszczenia. Istnieje również możliwość prezentacji otrzymanych wyników za pomocą trzech różnych jednostek: metrów, cali oraz milimetrów. Dzięki temu urządzenie może być wykorzystywane za równo w Europie jak i w Stanach Zjednoczonych.

Urządzenie składa się z trzech głównych modułów. Pierwszym z nich jest płytką z wbudowanym mikroprocesorem. Drugim modułem jest czujnik odległości LiDAR. Ostatnim modułem jest wyświetlacz LCD do czytelnej prezentacji wyników. Dodatkowo zamontowano trzy przyciski ułatwiające zmianę opcji wyświetlania wyników. Układ zasilany jest za pomocą czterech akumulatorów.

2. Główne wnioski i uwagi

2.1. Specyfikacja komponentów

Specyfikacja płytki ESP32-DevKitC z układem ESP-32:

- Mikrokontroler: Dual Core Tensilica LX6 240MHz,
- Napięcie zasilania: 5V (z microUSB),
- Pamięć SRAM: 520kB,
- Pamięć FLASH: 4kB,
- 30 wyprowadzeń GPIO w tym:
 - UART x3,
 - SPI x3,
 - I2C x2,
 - 12-kanałowy przetwornik ADC,
 - 2-kanałowy przetwornik DAC,
 - Wyjścia PWM,
- Wymiary: 55 x 28 x 8mm (bez złącz).

Specyfikacja laserowego czujnika odległości TF-Luna:

- Napięcie zasilania: 4,5 – 5,5V,
- Średni pobór prądu: do 70mA,
- Maksymalny pobór prądu: 150mA,
- Komunikacja: UART / I2C,
- Zakres pracy: 0,2 – 8m,
- Rozdzielczość: 1cm,
- Dokładność: do 2%,
- Częstotliwość: 100Hz,
- Odporność na światło: do 70klux,
- Wymiary: 35 x 21,5 x 13,5mm.

Specyfikacja wyświetlacza Waveshare LED TFT 1,8”:

- Sterownik: ST7735S,
- Interfejs: SPI,
- Kolor wyświetlacza: RGB, 65K,
- Rozdzielczość: 128 x 160px,
- Podświetlenie: LED,
- Napięcie zasilania: 3,3V,
- Wymiary: 56,5 x 34mm.

2.2. Wydajność poza specyfikacją

Przeprowadzone badania nie przekroczyły zakresów i ograniczeń komponentów podanych przez producentów.

2.3. Zdarzenia nieoczekiwane

Nie zaobserwowano zdarzeń nieoczekiwanych.

2.4. Budowa

Do budowy urządzenia wykorzystano płytkę z wbudowanym mikroprocesorem ESP32. Następnie podłączone do niej czujnik odległości LiDAR TF Luna. Ostatnim krokiem było podłączenie wyświetlacza LCD Waveshare od rozdzielczości 128x160px w celu prezentacji wyników oraz podłączenie trzech przycisków do zmiany opcji wyświetlania. Układ zasilany jest napięciem 5,2V za pomocą czterech akumulatorów AA podłączonych szeregowo.

2.5. Instalacja

Mikroprocesor oraz źródło zasilania znajdują się wewnątrz obudowy. Czujnik odległości TF Luna oraz wyświetlacz LED przytwierdzone są śrubami do zewnętrznej części osłony. Przyciski także są zamontowane na zewnątrz obudowy.

2.6. Uruchamianie

Aby włączyć urządzenie należy zdjąć górną pokrywę, następnie podłączyć przewód zasilania "+" do listwy płytki stykowej. Po zamknięciu górnej części urządzenie jest gotowe do pracy. Następnym etapem jest wybór odpowiedniego trybu urządzenia (przycisk MENU):

- "Default" - służy do wykonania pojedynczego pomiaru odległości,
- "Area" - służy do wykonania pomiaru powierzchni.

Kolejnym krokiem jest wybór jednostki pracy urządzenia (przycisk UNIT):

- "cm" - Urządzenie mierzy odległość w centymetrach,
- "mm" - Urządzenie mierzy odległość w milimetrach,
- "inch" - Urządzenie mierzy odległość w calach.

2.7. Bezpieczeństwo

Urządzenie jest przeznaczone dla dorosłego użytkownika. Dzięki wykorzystaniu obudowy, pod którą ukryte są wszystkie przewody urządzenie nie stanowi zagrożenia dla dzieci.

2.8. Opakowanie

Urządzenie zostało wyposażone w obudowę wykonaną z kartonu. Jej podstawowym zadaniem jest ochrona komponentów przed uszkodzeniami mechanicznymi oraz kurzem. Wykonana obudowa nie jest wodoodporna przez co przy kontakcie z wodą istnieje ryzyko trwałego uszkodzenia urządzenia.

2.9. Uwagi o dokumentacji

Pełna dokumentacja wykorzystanych komponentów znajduje się w załącznikach dokumentu (rozdział nr 7).

3. Metody badań

3.1. Charakterystyka przetwarzania

Charakterystykę przetwarzania wyznaczono za pomocą wykorzystania trzydziestometrowej miarki pełniacej rolę czujnika referencyjnego. Wykonano jedną serię pomiarową, na którą składały się 30 pomiary. Badano dokładność otrzymanych wyników za pomocą opracowanego urządzenia w zależności od zmieniającej się odległości. Pomiary wykonano w zakresie pracy urządzenia wynoszącym od 0,20m do 8,00m. Na koniec wyznaczono błędy względne oraz bezwzględne.

Pomiary wykonano 18.06.2024 r.

3.2. Wpływ temperatury na badanie pomiaru odległości

Badanie polegało na zbadaniu wpływu temperatury na otrzymane wyniki pomiaru odległości. Wykorzystano do tego komorę grzewczą. Urządzenie włożono do komory w odległości wynoszącej 20cm od jednej ze ścian. Następnie zmieniano temperaturę w komorze co 5°C po czym odczytywano pomiar. Badanie wykonano dla zakresu temperatury od 22°C do 60°C.

Badanie przeprowadzono 18.06.2024 r.

3.3. Wpływ zakłócenia światłem na badanie pomiaru odległości

Badanie polegało na zbadaniu wpływu zakłócenia światłem na wyniki pomiaru odległości. Wykorzystano do tego naturalne światło słoneczne. Pomiary przeprowadzono wewnątrz budynku i na zewnątrz budynku w narażonym na słońce miejscu. Wykonano serie pomiarów o odległości referencyjnej 8 metrów.

Badanie przeprowadzono 18.06.2024 r.

4. Wyniki prób

4.1. Charakterystyka przetwarzania

Otrzymane wyniki pomiarów zostały przedstawione w Tab. 1. Największy otrzymany błąd wyniósł 3,33%. Pozostałe wartości błędów wynoszą około 1%.

Tabela 1. Wyznaczenie charakterystyki przetwarzania.

| d_{ref}, m | d, m | błąd bezwzględny, m | błąd względny, % |
|--------------|--------|---------------------|------------------|
| 7,00 | 7,05 | -0,05 | -0,71 |
| 6,00 | 6,01 | -0,01 | -0,17 |
| 5,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4,00 | 4,01 | 0,00 | -0,12 |
| 3,00 | 2,99 | 0,02 | 0,50 |
| 2,50 | 2,50 | 0,00 | 0,11 |
| 2,45 | 2,44 | 0,01 | 0,30 |
| 2,40 | 2,40 | 0,00 | 0,11 |
| 2,30 | 2,29 | 0,01 | 0,40 |
| 2,20 | 2,19 | 0,01 | 0,41 |
| 2,10 | 2,09 | 0,01 | 0,56 |
| 2,00 | 1,98 | 0,02 | 0,86 |
| 1,90 | 1,88 | 0,02 | 1,05 |
| 1,80 | 1,78 | 0,02 | 0,91 |
| 1,70 | 1,69 | 0,01 | 0,59 |
| 1,60 | 1,59 | 0,01 | 0,63 |
| 1,50 | 1,49 | 0,01 | 0,67 |
| 1,40 | 1,39 | 0,01 | 0,71 |
| 1,30 | 1,29 | 0,01 | 0,77 |
| 1,20 | 1,19 | 0,01 | 0,83 |
| 1,10 | 1,09 | 0,01 | 0,91 |
| 1,00 | 1,01 | -0,01 | -1,00 |
| 0,90 | 0,90 | 0,00 | 0,10 |
| 0,80 | 0,80 | 0,00 | 0,34 |
| 0,70 | 0,70 | 0,00 | 0,00 |
| 0,60 | 0,59 | 0,01 | 1,52 |
| 0,50 | 0,49 | 0,01 | 2,00 |
| 0,40 | 0,39 | 0,01 | 1,82 |
| 0,30 | 0,29 | 0,01 | 3,33 |
| 0,20 | 0,20 | 0,00 | 0,90 |

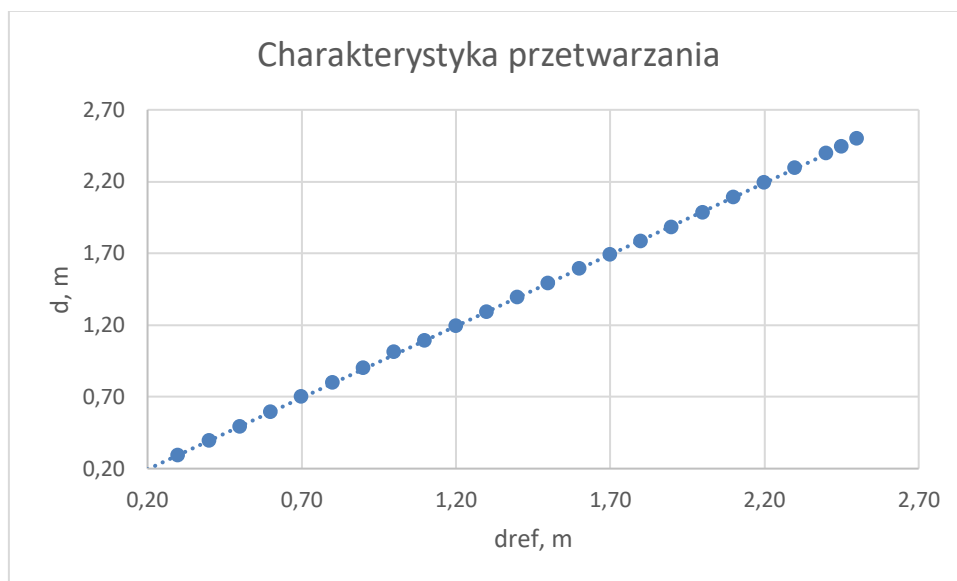
Gdzie:

d_{ref} – zmierzona za pomocą miarki, m;

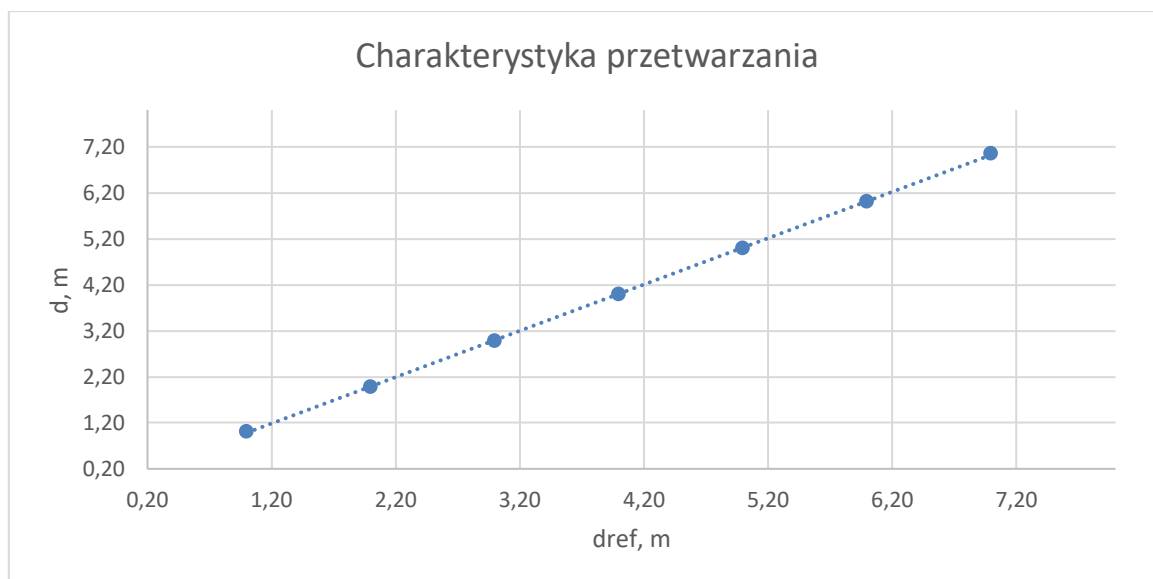
d – odległość zmierzona za pomocą TF Luna, m.

Obliczone niepewności:

- Średnia $d_{sr} = 1,99m$,
- Niepewność złożona $u_c(d) = 0,30m$,
- Niepewność rozszerzona dla $k = 2$: $U(d) = 0,60m$.



Rysunek 1. Charakterystyka przetwarzania dla zakresu 0,2m-2,7m.



Rysunek 2. Charakterystyka przetwarzania dla pełnego zakresu pomiarowego

Analizując Rys. 1. oraz Rys. 2. można dojść do wniosku, że urządzenie zachowuje się zgodnie z przewidywaniem producenta dla deklarowanego zakresu pomiarowego.

4.2. Wpływ temperatury na badanie pomiaru odległości

W Tab. 2. przedstawiono wpływ temperatury na pomiar odległości za pomocą czujnika odległości LiDAR TF Luna.

Tabela 22. Pomiar odległości w zależności od temperatury

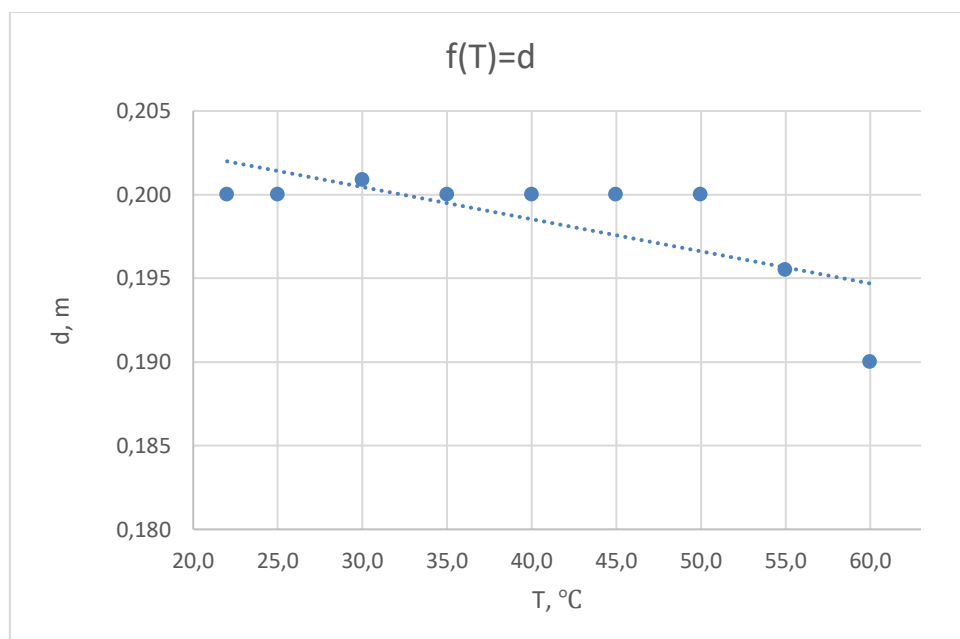
| nr. pomiaru | T, °C | d, m |
|-------------|-------|------|
| 1 | 22,00 | 0,20 |
| 2 | 25,00 | 0,20 |
| 3 | 30,00 | 0,20 |
| 4 | 35,00 | 0,20 |
| 5 | 40,00 | 0,20 |
| 6 | 45,00 | 0,20 |
| 7 | 50,00 | 0,20 |
| 8 | 55,00 | 0,20 |
| 9 | 60,00 | 0,19 |

Gdzie:

T – temperatura, °C;

d – odległość, m.

Otrzymaną charakterystykę przedstawia Rys. 2. Na podstawie otrzymanych wyników można zaobserwować, że zmiana temperatury ma minimalny wpływ na dokładność otrzymanych pomiarów. W warunkach pokojowych zmierzona odległość wynosi 0,20m. Wraz ze wzrostem temperatury dokładność pomiarów nieznacznie spada. W przypadku temperatury 55°C dokładność pomiaru spadła o 5mm. Dla 60°C niedokładność wynosiła już 1cm.



Rysunek 33. Zależność badanej odległości od zmiany temperatury

4.3. Wpływ zakłócenia światem na badanie pomiaru odległości

W Tab. 3. i Tab. 4. zostały przedstawione wyniki pomiarów kolejno: bez bezpośredniego narażenia działania urządzenia na słońce oraz z bezpośrednim narażeniem.

Tabela 3. Pomiary urządzenia nie narażonego na słońce

| nr. pomiaru | d_{ref} , m | d, cm | d, m | Błąd bezwzględny, m | Błąd względny, % |
|-------------|---------------|--------|------|---------------------|------------------|
| 1 | 8,00 | 799,00 | 7,99 | 0,01 | 0,12 |
| 2 | 8,00 | 798,00 | 7,98 | 0,02 | 0,25 |
| 3 | 8,00 | 798,50 | 7,99 | 0,01 | 0,19 |
| 4 | 8,00 | 799,00 | 7,99 | 0,01 | 0,12 |
| 5 | 8,00 | 798,50 | 7,99 | 0,01 | 0,19 |
| 6 | 8,00 | 798,00 | 7,98 | 0,02 | 0,25 |

Tabela 4. Pomiary urządzenia bezpośrednio narażonego na słońce

| nr. pomiaru | d_{ref} , m | d, cm | d, m | Błąd bezwzględny, m | Błąd względny, % |
|-------------|---------------|--------|------|---------------------|------------------|
| 1 | 8,00 | 794,00 | 7,94 | 0,06 | 0,75 |
| 2 | 8,00 | 800,00 | 8,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | 8,00 | 802,00 | 8,02 | -0,02 | -0,25 |
| 4 | 8,00 | 792,00 | 7,92 | 0,08 | 1,00 |
| 5 | 8,00 | 796,00 | 7,96 | 0,04 | 0,50 |
| 6 | 8,00 | 801,00 | 8,01 | -0,01 | -0,12 |

Gdzie:

d_{ref} – zmierzona za pomocą miarki, m;

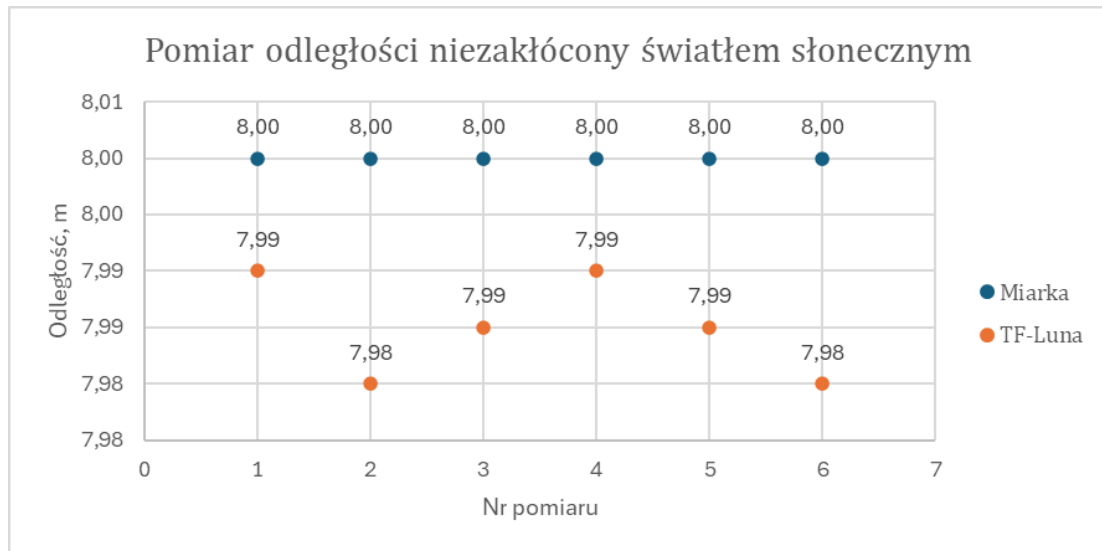
d – odległość zmierzona za pomocą TF Luna, m.

Obliczone niepewności dla pomiarów z Tab. 3:

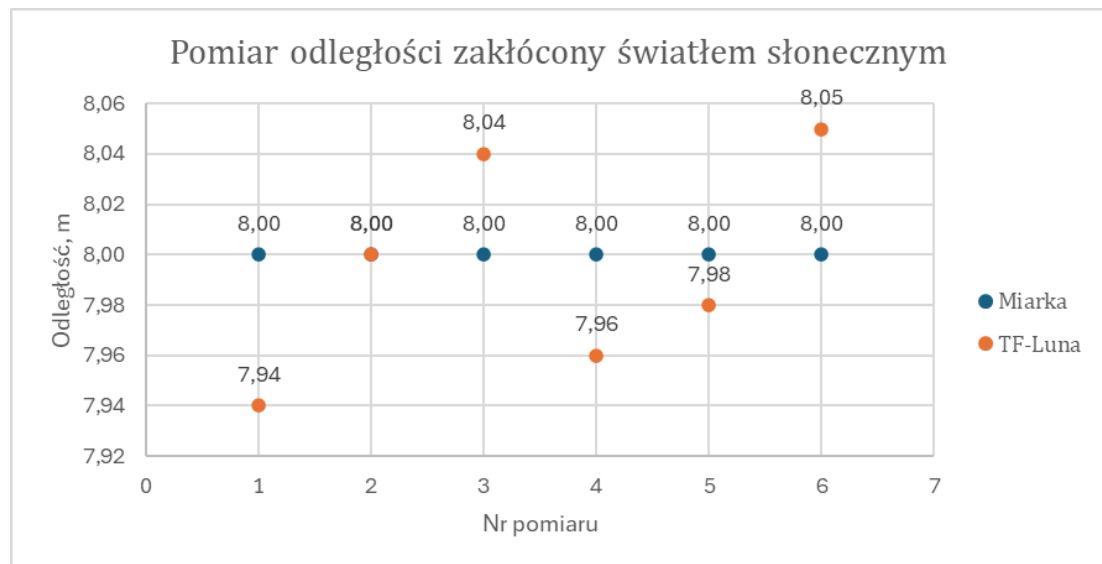
- Średnia $d_{sr} = 7,985$ m,
- Niepewność złożona $u_c(d) = 0,0102$ m,
- Niepewność rozszerzona dla $k = 2$: $U(d) = 0,0203$ m.

Obliczone niepewności dla pomiarów z Tab. 4:

- Średnia $d_{sr} = 7,975m$,
- Niepewność złożona $u_c(d) = 0,0195m$,
- Niepewność rozszerzona dla $k = 2$: $U(d) = 0,0389m$.



Rys 4. Wizualizacja pomiarów urządzenia oraz wartości zadanej



Rys 5. Wizualizacja pomiarów urządzenia oraz wartości zadanej

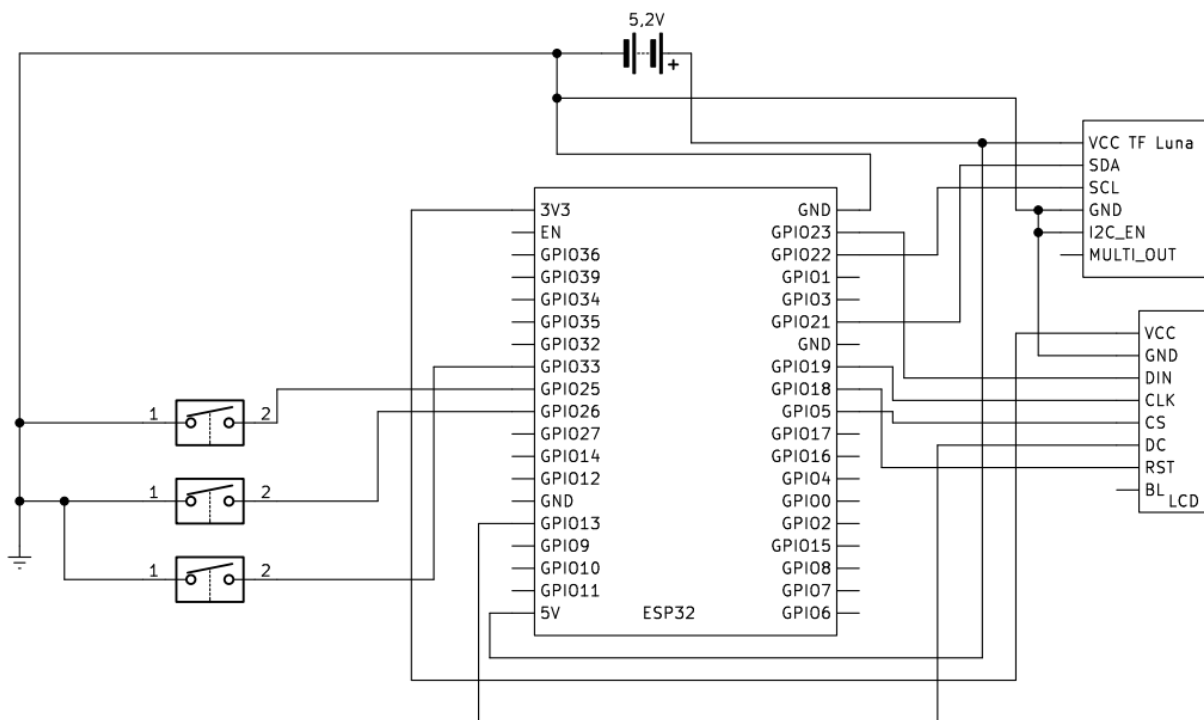
Analizując powyższe wykresy, jak i wartości niepewności pomiarowych zaobserwowano, że zmiana otoczenia pracy urządzenia ma niewielki wpływ na dokładność pomiarów.

5. Zasada działania i budowa mechaniczna

Urządzenie pomiarowe "Dalex" składa się z układu pomiarowego jakim jest laserowy czujnik odległości TF Luna.

Czujnik TF Luna mierzy odległość na zasadzie ToF (Time Of Flight – z ang. "Czas przelotu"). Emituje on fale bliskie podczerwieni, które odbijają się od najbliższego napotkanego przedmiotu. Czujnik mierzy czas lotu fali i oblicza odległość od przedmiotu.

Całość urządzenia pomiarowego składa się z mikrokontrolera ESP32-DevKitC, czujnika odległości TF Luna, wyświetlacza LED, przewodów, przycisków oraz akumulatorów. Wszystkie elementy umieszczone są w obudowie składającej się z dwóch części: dolnej i górnej. Dzięki temu urządzenie jest łatwe w przenoszeniu, a co za tym idzie wygodne w pracy.



Rysunek 6. Schemat elektryczny urządzenia.

Schemat pokazuje złożoność połączeń wszystkich elementów. Taka integracja styków pozwala na poprawną pracę urządzenia.

6. Dokumenty powołane i definicje stosowane w sprawozdaniu

6.1. Referencje:

Wykorzystana norma podczas realizacji dokumentacji:

- PN-EN 61298-4:2009 - Urządzenia do pomiarów i sterowania procesami przemysłowymi.

6.2. Definicje:

W sprawozdaniu nie użyto definicji.

7. Załączniki

1. OEM. Dokumentacja techniczna ESP32.
<https://botland.com.pl/moduly-wifi-i-bt-esp32/8893-esp32-wifi-bt-42-platforma-z-modulem-esp-wroom-32-zgodny-z-esp32-devkit-5904422337438.html>
2. Waveshare. Dokumentacja wyświetlacza LCD TFT.
<https://botland.com.pl/wyswietlacze-lcd-tft-i-ips/10754-wyswietlacz-lcd-tft-kolorowy-18-128x160px-spi-waveshare-13892-5904422316600.html>
3. Benewake. Dokumentacja laserowego czujnika odległości TF Luna.
<https://botland.com.pl/czujniki-time-of-flight/16638-laserowy-czujnik-odleglosci-lidar-tf-luna-8m-uarti2c-5903351249041.html>
4. OEM. Nota katalogowa przycisków.
<https://botland.com.pl/tact-switch/377-tact-switch-6x6mm-43mm-tht-5szt-5904422307622.html>