

# Sprawozdanie PZSP1

## Bezdotykowy termometr

Bezdotykowydominator67

---

Jakub Złotnicki  
Mikołaj Urbańczyk  
Bartosz Grzanka  
Mateusz Marynowski

---

Data opracowania: 05.02.2026

# Spis treści

<b>Spis treści.....</b>	<b>2</b>
<b>Temat wyjściowy.....</b>	<b>3</b>
Cel projektu.....	3
Specyfikacja problemu i określenie rozwiązania.....	3
<b>Funkcjonalności.....</b>	<b>4</b>
Wykrycie obiektu.....	4
Wykrycie twarzy.....	5
Analiza obrazu.....	6
Pomiar temperatury.....	7
Aplikacja webowa.....	9
Wygląd aplikacji webowej.....	10
Estetyczna obudowa.....	11
Podgląd z kamery na żywo.....	13
Sygnalizacja wizualna.....	14
<b>Budowa projektu.....</b>	<b>14</b>
<b>Testy rozwiązania.....</b>	<b>17</b>
<b>Wnioski.....</b>	<b>18</b>
Ogólna ocena realizacji projektu.....	18
Co poszło dobrze?.....	18
Co zrobilibyśmy inaczej?.....	19
Kierunki rozwoju projektu.....	19
<b>Informacje o zespole.....</b>	<b>20</b>
Opis ról członków zespołu.....	20
Organizacja współpracy.....	20
<b>Dodatki.....</b>	<b>20</b>
Materiały.....	20

## Temat wyjściowy

W ostatnich latach technologie bezdotykowe stają się coraz bardziej popularne, sterowane za pomocą glosu, wzroku i czujników zbliżeniowych, mają za zadanie ułatwić codzienne życie jak największej grupie osób, dzięki czemu już teraz spotykamy się często z zastosowaniem interfejsów bezdotykowych w urządzeniach codziennego użytku takich jak automatyczne krany, dozowniki mydła lub płyny do dezynfekcji, suszarki do rąk, drzwi automatyczne czy terminale płatnicze.

Razem z dużym zapotrzebowaniem na tego typu rozwiązania pojawia się wyzwanie, jakim jest stworzenie prostych w obsłudze i przede wszystkim niezawodnych urządzeń, które faktycznie ułatwiają życie końcowemu użytkownikowi, dzięki technologii bezdotykowej, zamiast je utrudnić.

## Cel projektu

Celem naszego projektu stało się nie tylko wyeliminowanie interakcji dotykowej między użytkownikiem, a urządzeniem, ale też uzyskanie intuicyjnego, wydajnego i podnoszącego jakość użytkowania urządzenia.

Projekt zakłada realizację urządzenia, które oprócz samego obsługiwania własnych funkcji jest proste w użyciu, intuicyjne dla użytkownika, a przede wszystkim będzie lepszą alternatywą względem swojego dotykowego odpowiednika.

## Specyfikacja problemu i określenie rozwiązania

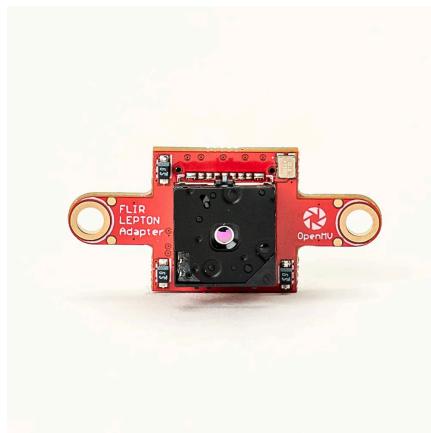
Współczesne standardy bezpieczeństwa w placówkach takich jak szkoły, biura czy urzędy generują silną potrzebę kontroli zdrowia wśród przebywających w nich osób, poprzez między innymi pomiary temperatury. Głównym wyzwaniem, które ta potrzeba generuje jest wykonanie wielu pomiarów w możliwie najkrótszym czasie co przy dostępnych metodach (użycie np. termometrów medycznych) wymaga interakcji operatora urządzenia z badanym co skutecznie spowalnia cały proces.

Nasze wstępne określenie rozwiązania tego problemu zakładało stworzenie urządzenia pomiarowego wykorzystującego kamerę termowizyjną i umożliwiającego płynne pomiary u podchodzących do niego osób. Urządzenie ma wymagać jedynie podejścia badanego na określoną odległość, a następnie samodzielnie wyznaczać i wyświetlać jego temperaturę, nie wymagając przy tym dodatkowego ludzkiego operatora, co znacznie przyspiesza cały proces. Ponadto urządzenie może wysyłać wszystkie wykonane pomiary do centralnej bazy danych, co pozwala administracji danej placówki na szybką analizę tych danych przy użyciu odpowiednich narzędzi.

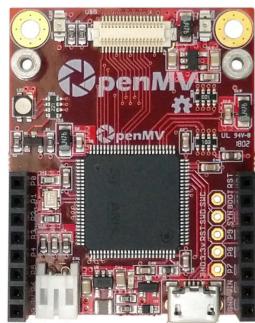
# Funkcjonalności

Warstwa optyczna systemu została zrealizowana w oparciu o moduł termowizyjny **FLIR Lepton 3.5**, zintegrowany z jednostką obliczeniową **OpenMV Cam H7 Plus**. W opisie funkcjonowania, moduł termowizji oraz jednostka termowizyjna zostanie zastąpiona nazwą jednostka pomiarowa. Dobór komponentów podyktowany był optymalizacją kosztów oraz dostępnością zasobów sprzętowych.

Ze względu na brak implementacji bezpośredniego odczytu radiometrycznego w przyjętej konfiguracji, niemożliwe było uzyskanie bezwzględnego pomiaru temperatury wprost z sensora. Aby rozwiązać ten problem, opracowano i zaimplementowano **autorski algorytm relatywnej estymacji temperatury**, bazujący na analizie kontrastu termicznego względem punktu odniesienia.



Moduł FLIR LEPTON 3.5



LEPTON H7 PLUS

## Wykrycie obiektu

Proces detekcji sylwetki ludzkiej realizowany jest poprzez analizę statystyczną obrazu w czasie rzeczywistym. Ze względu na ograniczenia sprzętowe mikrokontrolera, zamiast sieci neuronowych zastosowano deterministyczne algorytmy wizyjne, co zapewniło wysoką płynność działania systemu.

Sensor termowizyjny rejestruje promieniowanie podczerwone, tworząc mapę luminancji, gdzie jasność piksela koreluje z temperaturą obiektu. W trybie pracy *Grayscale*, kamera nie zwraca temperatury absolutnej, lecz relatywną mapę w skali 0-255, dopasowaną dynamicznie do zakresu temperatur w kadrze (funkcja AGC). Obiekty emitujące ciepło (ludzie) odwzorowywane są jako obszary o wysokiej jasności, kontrastujące ze stosunkowo chłodnym tłem wnętrza jakiegoś biura, bądź klimatyzowanego budynku.

Wyodrębnienie obiektu odbywa się programowo poprzez segmentację obrazu. Algorytm identyfikuje tzw. **bloby** – spójne grupy pikseli spełniające kryterium jasności. Kluczowym elementem procesu jest mechanizm **adaptacyjnego progowania**. System pobiera wartość referencyjną ze zdefiniowanego punktu tła (w przyjętym rozwiążaniu jest to obszar ROI w lewym górnym rogu kadru).

Obszar ten pełni funkcję termicznej „kotwicy”. Ponieważ celuje on w element infrastruktury o **stabilnej temperaturze** (np. ścianę), stanowi wiarygodny punkt odniesienia dla dalszych obliczeń. Algorytm odfiltrowuje wszelkie sygnały o wartościach niższych lub równych temu odniesieniu, co pozwala na skuteczne odizolowanie cieplejszej sylwetki człowieka od chłodnego otoczenia.

## Wykrycie twarzy

Samo wykrycie sygnatury cieplnej ("plamy ciepła") sylwetki nie jest tożsame z poprawną identyfikacją twarzy, która jest kluczowa dla wiarygodnego pomiaru temperatury. Podczas testów rozwiązania zidentyfikowano problem tzw. fałszywych detekcji (*false positives*). Ze względu na brak analizy obrazu w paśmie widzialnym (RGB), system błędnie interpretował inne źródła ciepła – takie jak zwierzęta domowe, gorące napoje czy elementy infrastruktury grzewczej – jako obszary pomiarowe.

Aby wyeliminować te błędy przy zachowaniu niskiego narzutu obliczeniowego, zaimplementowano wieloetapowy algorytm filtracji w funkcji `extract_face`. Proces ten przebiega według następującego schematu:

**1. Heurystyka anatomiczna (ROI - Region of Interest)** W pierwszej fazie algorytm zawęża obszar poszukiwań. Bazując na anatomicznej części twarzy, przyjęto założenie, że głowa znajduje się w górnej części wykrytej sylwetki. System wyznacza nowy obszar zainteresowania (**ROI**), obejmujący górne 50% wysokości obiektu (**FACE\_TOP\_RATIO = 0.5**). Pozwala to na natychmiastowe odrzucenie dolnych partii ciała i kończyn, które mogłyby generować zakłócenia.

**2. Lokalne progowanie adaptacyjne** Wewnątrz wyznaczonego obszaru ROI następuje ponowna analiza statystyczna. System oblicza średnią jasność pikseli w tym rejonie i wyznacza nowy, lokalny próg detekcji:

$$T_{\text{face}} = L_{\text{mean}} + 5$$

Gdzie  $L_{\text{mean}}$  to średnia jasność w górnej połowie sylwetki. Dodanie stałego offsetu (+5 jednostek) pozwala na odseparowanie najcieplejszego obszaru (odsłoniętej skóry twarzy) od nieco chłodniejszych włosów czy odzieży.

**3. Filtracja geometryczna (Aspect Ratio)** Wyodrębnione w ten sposób obiekty ("bloby") poddawane są weryfikacji kształtu. Zastosowano filtr oparty na współczynniku proporcji (Aspect Ratio), definiowanym wzorem:

$$AR = W/H$$

gdzie W to szerokość, a H to wysokość obiektu.

Na podstawie badań eksperymentalnych wyznaczono akceptowalny przedział dla ludzkiej twarzy: **od 0.5 do 1.4**. Zastosowanie tego kryterium pozwoliło na skutecną eliminację typowych błędów:

- Obiekty o  $AR > 1.4$  (zbyt "płaskie") są odrzucane (np. poziome grzejniki, zwierzęta o wydłużonej sylwetce).
- Obiekty o  $AR < 0.5$  (zbyt "wąskie") są odrzucane (np. uniesiona ręka, nogi, pionowe rury).

```
valid_faces = [f for f in faces if 0.5 <= (f.w() / f.h()) <= 1.4]
return max(valid_faces, key=lambda b: b.pixels()) if valid_faces else None
```

**4. Selekcja końcowa** Jeżeli po filtracji geometrycznej w obszarze ROI nadal znajduje się więcej niż jeden obiekt, algorytm wybiera ten o największej powierzchni (liczbie pikseli), uznając go za najbardziej prawdopodobny obszar twarzy.

## Analiza obrazu

Analiza cech twarzy i detekcja izolatorów termicznych:

Po poprawnym zlokalizowaniu twarzy, kluczowym wyzwaniem dla wiarygodności pomiaru stają się akcesoria oraz cechy fryzury, które mogą zakłócić odczyt. W termowizji materiały takie jak szkło (okulary) lub gęste włosy (grzywka) działają jak izolatory termiczne lub bariery nieprzepuszczalne dla promieniowania podczerwonego (IR).

1. Okulary korekcyjne: Szkło jest materiałem nieprzeczczystym dla dalekiej podczerwieni (LWIR). Kamera nie "widzi" oczodołów (które są naturalnie jednym z najcieplejszych punktów twarzy), lecz temperaturę soczewki okularowej, która jest zbliżona do temperatury otoczenia.
2. Grzywka: Włosy stanowią skutecną barierę termiczną, maskując emisję ciepła z czoła – drugiego kluczowego punktu pomiarowego.

Zignorowanie tych czynników prowadziłoby do drastycznego zaniżenia średniej temperatury obiektu, co w systemie monitoringu mogłoby skutkować błędnią klasyfikacją osoby zdrowej jako wychłodzonej (błąd I rodzaju). Aby temu przeciwdziałać, zaimplementowano funkcję `analyze_features`.

Funkcja dokonuje wirtualnej segmentacji wykrytego obszaru twarzy na strefy anatomiczne, bazując na geometrii prostokąta (`face_blob.rect`).

Analiza przebiega w następujących krokach:

1. Wyznaczenie stref ROI (Region of Interest): Zamiast analizować całą twarz łącznie, algorytm wydziela dwa kluczowe pasy poziome:

- Strefa czoła (`forehead_roi`): Zdefiniowana jako górne 25% wysokości twarzy.
- Strefa oczu (`eyes_roi`): Zdefiniowana jako kolejne 25% wysokości (obszar od 25% do 50% wysokości twarzy).

2. Analiza statystyczna i różnicowa: Dla każdej ze stref obliczana jest średnia jasność (temperatura). Jest ona następnie porównywana z maksymalną temperaturą znalezioną na całej twarzy (`face_max`). Algorytm zakłada, że u osoby bez okularów i grzywki, temperatura czoła i oczu powinna być zbliżona do maksymalnej temperatury twarz. System sprawdza występowanie dużej różnicy temperatur (gradientu):

- **Dekcja grzywki:** Jeśli  $(\text{Maxtwarz} - \text{Średnia}_{\text{czolo}}) > \text{Próg}_{\text{zakłocen}},$  system uznaje, że czoło jest nienaturalnie chłodne, co wskazuje na obecność włosów.
- **Dekcja okularów:** Jeśli  $(\text{Maxtwarz} - \text{Średnia}_{\text{oczy}}) > \text{Próg}_{\text{zakłocen}},$  system uznaje, że oczy są zasłonięte przez "zimny" materiał (szkło/plastik).

```
has_bangs = (face_max - forehead_mean) > OBSTRUCTION_THRESHOLD  
has_glasses = (face_max - eyes_mean) > OBSTRUCTION_THRESHOLD
```

Jeśli funkcja zwróci informację o wykryciu przeszkody (`True`), w dalszym etapie przetwarzania do wyniku końcowego dodawany jest odpowiedni offset temperaturowy, kompensujący wpływ izolatora. (0.5 stopni dla okularów i 0.2 stopni dla grzywki)

## Pomiar temperatury

W przyjętym rozwiąaniu, przez brak zdolności radiometrycznych sensora w trybie Greyscale, wartość temperatury ciała nie jest odczytywana bezpośrednio. Zamiast tego jest ona wyliczana na podstawie różnicy między jasnością obiektu a tła.

Model ten opiera się na liniowej zależności między natężeniem promieniowania podczerwonego (reprezentowanym przez jasność piksela 0-255) a temperaturą obiektu w wąskim zakresie pomiarowym (32°C – 42°C).

Proces obliczeniowy realizowany jest w następujących krokach:

1. W pierwszej kolejności algorytm oblicza surowy kontrast termiczny pomiędzy najcieplejszym punktem twarzy a tłem.

$$\Delta_{\text{real}} = |I_{\text{face\_max}} - I_{\text{bg\_mean}}|$$

```

face_stats = img.get_statistics(roi=face.rect())
max_val = face_stats.max()

real_diff = max_val - bg_level

```

- $I_{face\_max}$  (`max_val`) – Maksymalna wartość piksela w obszarze twarzy (najcieplejszy punkt).
  - $I_{bg\_mean}$  (`bg_level`) – Średnia wartość piksela w obszarze referencyjnym (ściana).
2. Uzyskana różnica jest porównywana do stałej kalibracyjnej `TARGET_DIFF` (w kodzie wartość 68). Stała ta reprezentuje oczekiwanyą różnicę jasności dla osoby o prawidłowej temperaturze ciała ( $36.6^{\circ}\text{C}$ ) w typowych warunkach oświetleniowych biura.

$$\Delta_{deviation} = \Delta_{real} - C_{target}$$

- Wynik dodatni oznacza, że osoba jest cieplejsza niż wzorzec.
  - Wynik ujemny oznacza, że osoba jest chłodniejsza.
3. Aby wyeliminować szum cyfrowy i nagłe skoki wartości, surowa odchyłka jest poddawana filtracji dolnoprzepustowej (średnia ważona wykładniczo):

$$\Delta_{filtered}[n] = (\Delta_{filtered}[n-1] * 0.8) + (\Delta_{deviation} * 0.2)$$

```

real_diff = max_val - bg_level
temp_change = real_diff - TARGET_DIFF
delta_filtered = (delta_filtered * 0.8) + (temp_change * 0.2)

```

Zastosowanie wagi 0.8 dla historii pomiaru zapewnia stabilność odczytu, podczas gdy waga 0.2 dla nowej próbki pozwala na płynną reakcję na zmiany.

4. Ostateczne przeliczenie bezwymiarowej wartości jasności na jednostki temperatury odbywa się według funkcji liniowej:

$$T_{raw} = T_{base} + (\Delta_{filtered} \cdot G)$$

```

raw_temp = BASE_TEMP + (delta_filtered * GAIN)
final_temp = raw_temp

```

- $T_{base}$  (`BASE_TEMP`) – Temperatura bazowa ( $36.6^{\circ}\text{C}$ ).
- $G$  (`GAIN`) – Współczynnik wzmacnienia (nachylenie krzywej), określający ile stopni Celcjusza przypada na jedną jednostkę zmiany jasności piksela (w kodzie 0.15).

5. Ostatnim etapem jest uwzględnienie wykrytych izolatorów (okulary/grzywka) oraz sztywne ograniczenie zakresu wyjściowego (clamping) do wartości fizjologicznych (32.0°C – 42.0°C), co eliminuje wyniki rażąco błędne.

6. Tabela stałych dla opisu:

```
BASE_TEMP = 36.6 #Założona temperatura osoby zdrowej.

NOISE_MARGIN = 20 #Poziom szumu tła, poniżej którego detekcja
jest ignorowana.

GAIN = 0.15 #Czułość układu: zmiana jasności o 1 jednostkę =
#zmiana temp. o 0.15°C.

TARGET_DIFF = 68 #Oczekiwana różnica jasności (pikseli) między
zdrową osobą a ścianą.
```

## Aplikacja webowa

W czasie planowania projektu stwierdziliśmy, że dla potencjalnych użytkowników naszego projektu może być ważna możliwość zbierania danych z pomiarów, na przykład w celu oceny ogólnego zdrowia użytkowników.

W tym celu powstała aplikacja webowa, która:

- pozwala pokazywać wynik ostatniego pomiaru,
- zbiera historyczne pomiary w celu analizy zdrowia grupy osób.

Aplikacja webowa składa się z:

- backendu,
- strony internetowej.

Backend jest realizowany przez serwer HTTP, który jest odpowiedzialny za odbieranie danych wysłanych przez kamerę oraz serwuje użytkownikom stronę internetową. Jest on napisany w technologii ASP.NET Core z użyciem EntityFramework Core, który odpowiada za zarządzanie bazą danych Sqlite, która przechowuje pomiary.

Strona internetowa jest napisana w technologii HTML, CSS i JavaScript. W zakładce “Ostatni pomiar” pobiera ona dane z backendu co sekundę w celu aktualizacji ostatniego

pomiaru. Zakładka “Historia” pobiera dane pomiarów z backendu w miarę gdy użytkownik przewija pomiary, pozwala to na przechowywanie setek tysięcy pomiarów bez ryzyka przeciążenia serwera ani strony internetowej.

Kamera wysyła pomiary do backendu za pomocą formatu JSON. Przykładowy pomiar wysyłany przez kamerę wygląda tak:

```
{  
  "Temperature": 36.6,  
  "Distance": 67  
}
```

## Wygląd aplikacji webowej

Wygląd zakładki “Ostatni pomiar”:

The screenshot displays a web-based monitoring application interface. On the left, a sidebar menu includes 'Dashboard' (which is currently selected, indicated by a blue background) and 'Historia'. The main content area is titled 'Ostatni pomiar' (Last measurement). It contains three distinct information cards:

- Temperatura: 35.9 °C**
- Odległość: 57 cm**
- Status: OK**

Wygląd zakładki "Historia", pokazującej pomiary wykonane na EXPO:

The screenshot shows a user interface for a dashboard. On the left, there is a sidebar with two items: 'Dashboard' and 'Historia'. The 'Historia' item is highlighted with a blue background and a white border. The main area is titled 'Historia pomiarów' (Measurement History). Below the title is a table with three columns: 'Czas' (Time), 'Temperatura' (Temperature), and 'Odległość' (Distance). The table contains ten rows of data, each representing a measurement taken at a specific time, with corresponding temperature and distance values.

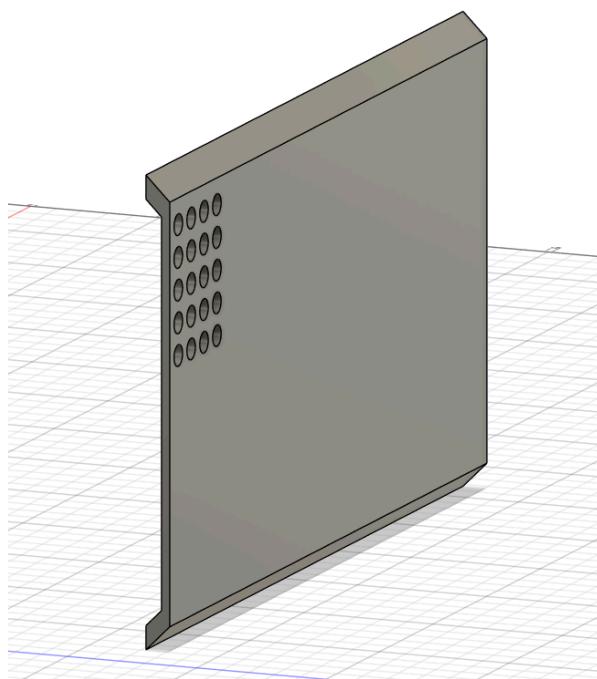
Czas	Temperatura	Odległość
2.02.2026, 13:53:03	35.9	57
2.02.2026, 13:53:02	36.3	72
2.02.2026, 13:52:59	36.2	65
2.02.2026, 13:52:58	36.1	60
2.02.2026, 13:52:55	36.3	60
2.02.2026, 13:52:52	36.7	73
2.02.2026, 13:52:51	37	78
2.02.2026, 13:52:49	37.4	75
2.02.2026, 13:52:48	37.3	74

## Estetyczna obudowa

Dobrze wyglądająca obudowa projektu jest bardzo ważna. Bez niej ciężko trafić do potencjalnych użytkowników. Stwierdziliśmy, że musi mieć ona wiele otworów - na kamerę termowizyjną i jej podłączenia oraz chłodzenie, czujnik odległości, wyświetlacz oraz zasilanie do ESP32.

W związku z tym zdecydowaliśmy się na wydrukowanie obudowy na drukarce 3D. Została ona zaprojektowana w programie Autodesk Fusion oraz wydrukowana na drukarce Bambu Lab A1.

Ostateczny model obudowy:

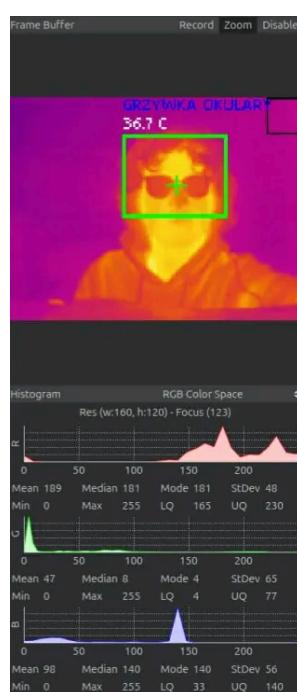


Ostateczny wygląd obudowy:



## Podgląd z kamery na żywo

W przypadku podłączenia urządzenia do komputera istnieje możliwość uzyskania odczytu danych wizualnych z kamery termowizyjnej, których przykład znajduje się na załączniku poniżej:



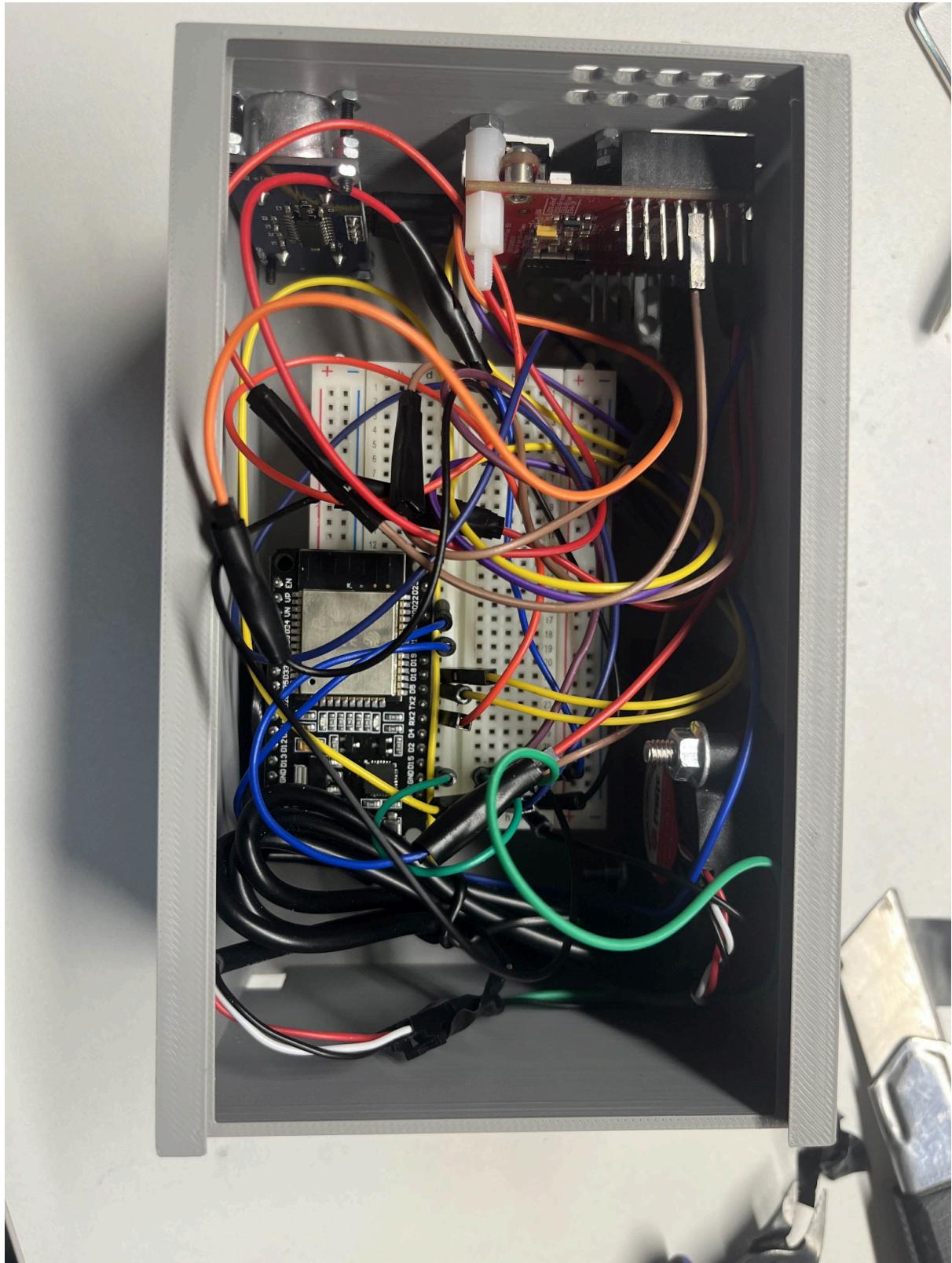
## Sygnalizacja wizualna

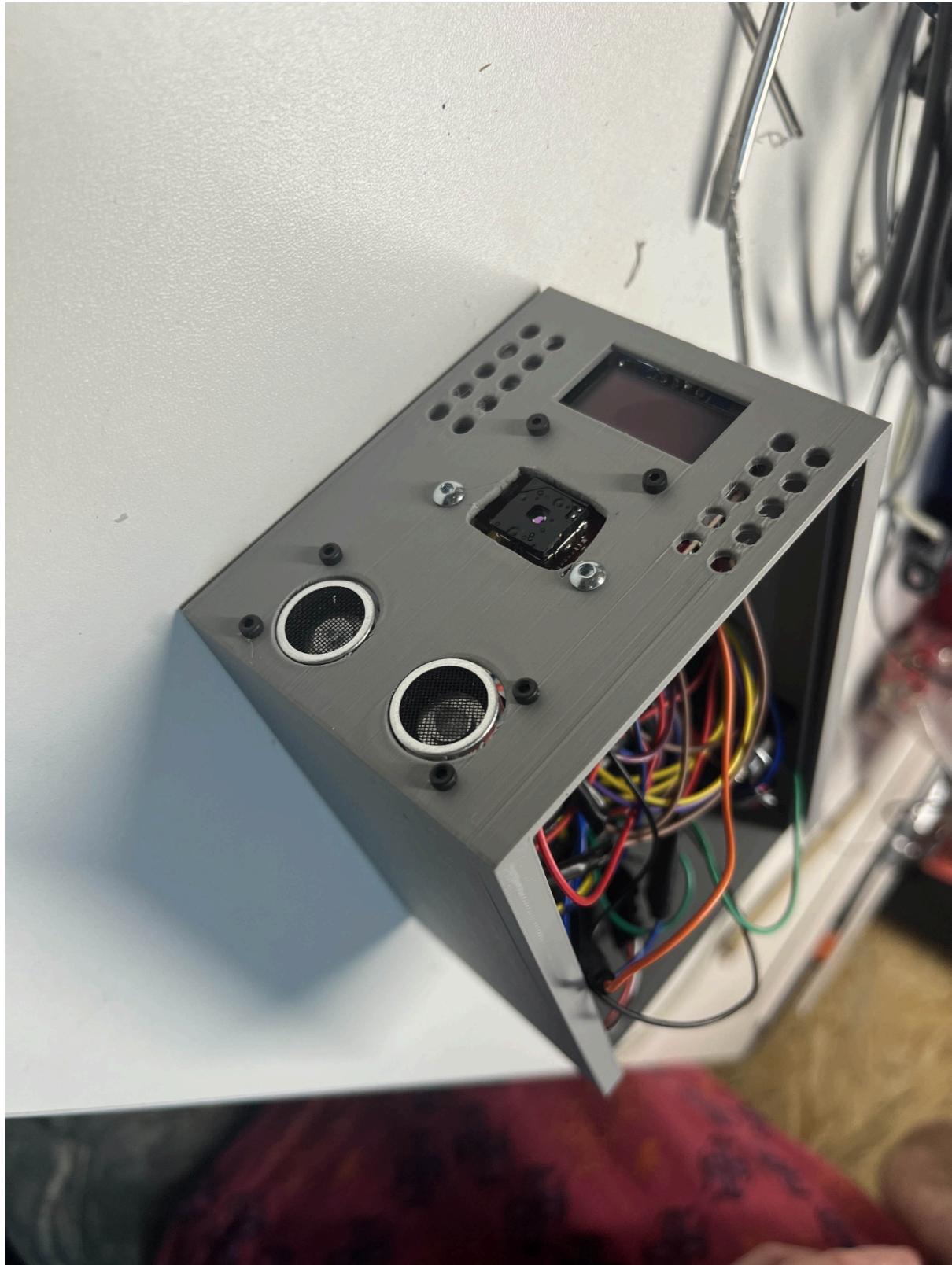
Informację zwrotną dla użytkownika zawiera zamontowany w urządzeniu wyświetlacz, który w zależności od aktualnego stanu urządzenia wyświetla aktualny pomiar temperatury, ostatni pomiar temperatury lub informację, że system jest gotowy na wykonanie pomiaru. Załączone zdjęcie przedstawia pomiar temperatury bez skalibrowanej kamery (wyniki mogą odstawać od normy).

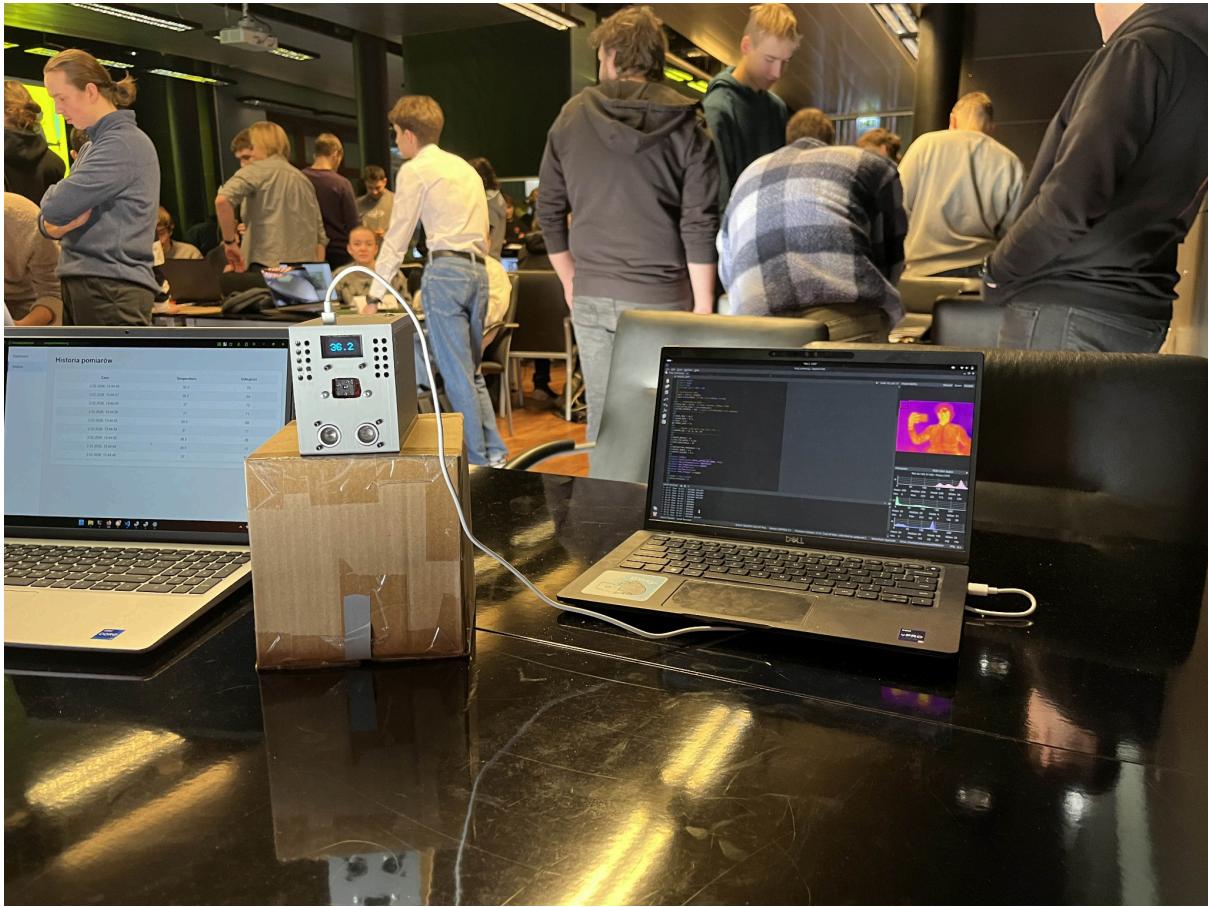


## Budowa projektu

Do projektu wykorzystaliśmy większość dostępnych podzespołów dostarczonych w ramach zestawów takich jak: mikrokontroler ESP32, płytka stykowa, czujnik odległości, mały wyświetlacz OLED i przewody. Komponenty który musieliśmy wykorzystać z zewnątrz (musieliśmy je kupić lub stworzyć) był moduł kamery termowizyjnej Lepton H7 PLUS z FLIR LEPTON 3.5, wentylator, oraz obudowa wydrukowana na drukarce 3D



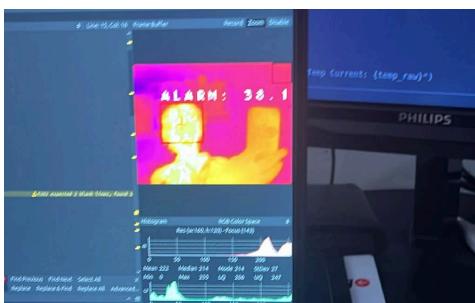




## Testy rozwiązania

Projekt przetestowaliśmy mierząc temperaturę ciała typowym, punktowym termometrem bezdotykowym oraz naszym własnym termometrem. Pozwoliło nam to dostosować ustawienia kamery oraz upewnić się, że pomiar temperatury działa jak należy. Te testy przeprowadziliśmy na siebie oraz swoich rodzinach.

Przetestowaliśmy też wykrywanie twarzy. Nakierowywaliśmy kamerę na nasze zwierzęta domowe (kot, jamnik), grzejniki, świetłówki, kubki z herbatą (różne kształty) aby upewnić się, że nie są one wykrywane przez kamerę jako twarz.



Dzięki testom upewniliśmy się, że pomiar temperatury oraz wykrywanie twarzy dobrze działa, oraz że produkt może być używany przez tych niezaznajomionych z jego zasadą

działania. Dla testów również podczas choroby jednego z nas sprawdzaliśmy czy kamera wiarygodnie mierzy temperaturę, oraz w jednym teście skierowaliśmy suszarkę na twarz aby podnieść temperaturę. Ostatecznie udało nam się osiągnąć przy dobrej kalibracji sprzętu dla pomieszczenia stałocielplnego (klimatyzowanego) dokładność ok 0.2 stopni, co jest dobrym wynikiem dla takiego typu sprzętu.

Przetestowaliśmy wykrywanie okularów, oraz grzywki na kilku osobach, aby dopracować algorytm dzięki czemu jest on wiarygodny

Przetestowaliśmy skoki temperaturowe kamery podczas 12 godzinnego działania, dzięki czemu wiedzieliśmy, że należy zamontować wentylator aby ją chłodzić i nie doprowadzić do przegrzania sprzętu.

## Wnioski

### Ogólna ocena realizacji projektu

Realizacja projektu „Bezdotykowydominator67” zakończyła się sukcesem, a założone cele – zarówno techniczne, jak i użytkowe – zostały osiągnięte. Udało się stworzyć kompletny system, który nie tylko realizuje pomiar temperatury, ale stanowi zintegrowane rozwiązanie IoT łączące warstwę sprzętową, mechaniczną oraz aplikacyjną.

Szczególną wartością projektu jest jego aspekt praktyczny i odpowiedź na realne zapotrzebowanie rynkowe związane z higieną i bezpieczeństwem w miejscach publicznych. Projekt udowodnił, że przy użyciu relatywnie tanich komponentów i zaawansowanej obróbki algorytmicznej, możliwe jest stworzenie urządzenia konkurencyjnego dla rozwiązań komercyjnych.

### Co poszło dobrze?

Najmocniejszą stroną projektu okazała się warstwa algorytmiczna. Mimo braku bezpośredniego odczytu radiometrycznego z sensora, opracowane heurystyki (analiza kontrastu, dynamiczne progowanie) pozwoliły na uzyskanie wiarygodnych wyników dokładność ok 0.2/0.3 stopnie.

- **Algorytm detekcji twarzy:** Zastosowanie filtracji opartej na proporcjach (Aspect Ratio) oraz analizie stref anatomicznych skutecznie wyeliminowało problem „fałszywych pozytywów” (np. gorąca kawa, zwierzęta, grzejniki).
- **Kompensacja zakłóceń:** Zaimplementowanie mechanizmu wykrywania okularów i grzywki to ważny element.
- **Integracja systemu:** Połączenie kamery termowizyjnej z aplikacją webową i bazą danych przebiegło pomyślnie, umożliwiając nie tylko podgląd bieżący, ale i analizę historyczną, co jest wartością dodaną między innymi dla administratorów budynków.

## Co zrobilibyśmy inaczej?

Gdybyśmy rozpoczęli projekt z obecną wiedzą, wprowadzilibyśmy kilka kluczowych zmian:

1. **Dobór sensora (Techniczne):** Największym wyzwaniem była praca na surowych danych jasności (grayscale) i konieczność estymacji temperatury względem tła. W nowej iteracji projektu wybraliśmy moduł termowizyjny obsługujący pełną radiometrię (bezpośredni odczyt temperatury w stopniach Celsjusza dla każdego piksela). Choć podniosłoby to koszt komponentów, drastycznie skróciłoby czas pisania oprogramowania i zwiększyło precyzję pomiaru bez konieczności ciągłej rekalibracji względem otoczenia.
2. **Testy integracyjne (Organizacyjne):** Testy na szerszej grupie osób (różne fryzury, akcesoria, broda) warto byłoby rozpocząć na wcześniejszym etapie. Pozwoliłoby to na szybsze wykrycie problemów z izolatorami termicznymi (okulary) i uniknięcie konieczności "dostrajania" wag algorytmu w ostatniej fazie projektu.

## Kierunki rozwoju projektu

Projekt posiada duży potencjał do dalszej rozbudowy. Główne ścieżki rozwoju to:

- **Fuzja sensorów (Sensor Fusion):** Dołożenie standardowej kamery RGB. Pozwoliłoby to na wykorzystanie bibliotek do rozpoznawania twarzy w świetle widzialnym (znacznie dokładniejszych niż analiza plam ciepła), a następnie nałożenie maski twarzy na obraz termowizyjny.
- **Integracja z systemami kontroli dostępu:** Urządzenie mogłoby wysyłać sygnał do sterownika drzwi/bramki obrotowej, automatycznie odblokowując wejście tylko osobom z prawidłową temperaturą.
- **Powiadomienia mobilne:** Rozbudowa backendu o system alertów SMS/Push do personelu medycznego lub ochrony w przypadku wykrycia osoby z gorączką.
- Dodania dodatkowego sensora, (mała puszka z procesorem i czujnikiem temperatury) aby powiesić ją na punkcie orientacyjnym i łączyła się po wifi z mikrokontrolerem by przeprowadzać automatyczną i autonomiczną kalibracje.

# Informacje o zespole

## Opis ról członków zespołu

### **Jakub Złotnicki**

Odpowiedzialny za wymyślenie konceptu obudowy, zaprojektowanie oraz wydrukowanie jej na drukarce 3D, zaprogramowanie i hostowanie aplikacji webowej oraz zaprogramowanie wysyłania pomiarów temperatury do niej.

### **Mikołaj Urbańczyk**

Odpowiedzialny za stworzenie wstępnego programu do mikrokontrolera obsługującego komunikację z kamerą termowizyjną (do i z), pomiary odległości przy użyciu czujnika odległości oraz podstawowe wyświetlanie otrzymanych informacji na wyświetlaczu.

### **Bartosz Grzanka**

Odpowiedzialny za opracowanie koncepcji mechanicznej urządzenia oraz stworzenie kompletnego oprogramowania sterującego dla modułu termowizyjnego, gwarantującego stabilność i wiarygodność estymacji temperatury. Do zadań należała pełna integracja sprzętowa, w tym bezpieczny i trwały montaż podzespołów wewnątrz obudowy z wykorzystaniem połączeń śrubowych, a także programowa obsługa peryferiów, takich jak czujnik odległości wyzwalający pomiar. Rola obejmowała również zaprojektowanie i wdrożenie czytelnego interfejsu graficznego na wyświetlaczu oraz koordynację prac całego zespołu w charakterze lidera projektu.

### **Mateusz Marynowski**

Zrobił zarys strony internetowej.

## Organizacja współpracy

W początkowym etapie projektu zespół spotykał się zazwyczaj cotygodniowo w formie zdalnej rozmowy, na wybranej platformie komunikacyjnej, a po określeniu sposobu rozwiązania problemu i przydzieleniu ról każdemu członkowi zespołu każdy pracował we własnym zakresie, tak aby na kolejne zaplanowane spotkanie móc dostarczyć ustalone materiały. Głównym kanałem komunikacyjnym była platforma Discord, na której prowadziliśmy komunikację zarówno tekstową, jak i łączliśmy się na spotkania zdalne.

## Dodatki

### Materiały

**Repozytorium:** <https://gitlab-stud.elka.pw.edu.pl/bgrzanka/turbocamera>

**Aplikacja webowa:** <http://programowanie.org:8000>

**Filmy w załączniku**