

PBL 2 – GRUPA 2

„AUTONOMICZNY UKŁAD WYKRYWANIA POŻARU W MIESZKANIACH”



Opracowano przez:

Paweł Plewa,
Tymon Zadara,
Kinga Konieczna,
Jan Czechowski

Warszawa, 2025

Warszawa, 08.06.2025 r.

SPIS TREŚCI

1.	IDENTYFIKACJA PROBLEMU I BADANIA.....	7
1.1.	STATYSTYKI POŻARÓW W POLSCE W UBIEGŁYCH LATACH	7
1.1.1.	POŻARY W 2024 ROKU [1]	7
1.1.2.	POŻARY W 2023 ROKU [2]	8
1.1.3.	POŻARY W 2022 ROKU [3]	10
1.2.	PRZYCZYNY POŻARÓW.....	11
1.2.1.	PRZYCZYNY NATURALNE	11
1.2.2.	PRZYCZYNY ZWIĄZANE Z DZIAŁALNOŚCIĄ CZŁOWIEKA.....	11
1.3.	SKUTKI POŻARÓW	12
1.3.1.	SKUTKI LOKALNE.....	12
1.3.2.	SKUTKI GLOBALNE	12
1.4.	TECHNOLOGIE WYKRYWANIA POŻARÓW[10].....	13
1.4.1.	FOTOELEKTRYCZNE WYKRYWACZE DYMU.....	13
1.4.2.	WYKRYWACZE CIEPŁA.....	13
1.4.3.	CZUJNIKI UNIWERSALNE	14
1.4.4.	WYKRYWACZE SYGNAŁÓW RADIOWYCH	14
1.4.5.	CZUJNIKI LASEROWE.....	14
1.4.6.	SYSTEMY ZASYSAJĄCE.....	14
1.4.7.	URZĄDZENIA ISKROBEZEPICZNE	14
1.4.8.	SIL	15
1.4.9.	LHDC	15
1.4.10.	WYKRYWACZE PŁOMIENIA	15
1.5.	AUTONOMICZNY SYSTEM I JEGO WŁAŚCIWOŚCI	15
1.5.1.	WŁASNOŚCI AUTONOMICZNYCH SYSTEMÓW	15
1.5.2.	GŁÓWNE ELEMENTY UKŁADU	16
1.5.3.	ZASTOSOWANIA	16
1.5.4.	ZALETY	16
1.5.5.	WYZWANIA I ZAGROŻENIA	17
2.	ANALIZA RYNKU.....	18
3.	PERSONY.....	19
3.1.	PERSONA NR 1.....	19
3.2.	PERSONA NR 2.....	20

3.3.	PERSONA NR 3	21
3.3.1.	POŻARY NA ŁÓDKACH.....	22
3.3.2.	WYWIAD Z BARTOSZEM PTAKIEM NA TEMAT CZUJNIKA WYKRYWANIA POŻARU NA ŁÓDKACH MAZURSKICH.....	22
4.	INTERESARIUSZE	24
4.1.	KTO ZYSKUJE?	24
4.2.	KTO TRACI?	24
5.	SYNTEZA.....	26
6.	PYTANIA HMW – HOW MIGHT WE?.....	27
7.	IDEACJA.....	28
8.	IDENTYFIKACJA WYZWAŃ.....	29
8.1.	ANALIZA WYKONALNOŚCI	29
8.2.	TRUDNOŚCI.....	29
8.2.1.	KALIBRACJA.....	29
8.2.2.	TRUDNOŚĆ W TESTOWANIU	29
9.	PROTOTYPOWANIE URZĄDZENIA	30
9.1.	OKREŚLENIE WYMAGAŃ I FUNKCJONALNOŚCI URZĄDZENIA	30
9.2.	WYBÓR KOMPONENTÓW	30
9.2.1.	KOMPONENTY GŁÓWNE	30
9.2.2.	CZUJNIKI	31
9.3.	RESEARCH PROGÓW ŚWIADCZĄCYCH O POŻARZE	37
9.3.1.	TEMPERATURA	37
9.3.2.	CZAD	37
9.3.3.	PYŁY ZAWIESZONE	38
9.4.	WDROŻENIE PROTOTYPU I WYNIKI TESTÓW	38
9.4.1.	INTEGRACJA PRZETWORNIKA ADS1115	38
9.4.2.	CHARAKTERYSTYKA STABILIZATORA LF33CV	38
9.4.3.	WERYFIKACJA ZASILANIA BATERYJNEGO I UKŁADU ŁADOWANIA.....	39
9.4.4.	POMIAR I OPTIMALIZACJA POBORU PRĄDU	40
9.4.5.	TESTOWANIE DZIAŁANIA CZUJNIKA UV.....	44
9.4.6.	TESTOWANIE CZUJNIKA PŁOMIENIA	45
9.5.	POMIARY I OPTIMALIZACJA POBORU PRĄDU Z PPK2	50
9.5.1.	KONFIGURACJA SPRZĘTU Z PPK2	50
9.5.2.	OPROGRAMOWANIE I WERYFIKACJA DZIAŁANIA PPK2	50

9.5.3.	ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW	50
9.6.	UKŁAD PODŁĄCZENIA KOMPONENTÓW W PROJEKCIE	51
9.6.1.	WYŚWIETLACZ E-PAPER	51
9.6.2.	CZUJNIK BME680	52
9.6.3.	CZUJNIK GP2Y1010AU0F	52
9.6.4.	CZUJNIK MICS-5524	52
9.6.5.	ADS1115 (PRZETWORNIK ADC)	52
9.6.6.	POMIAR BATERII	52
9.6.7.	BUZZER	52
9.6.8.	ZASILANIE	53
9.6.9.	Przełącznik	53
10.	OPIS OPROGRAMOWANIA	54
10.1.	OGÓLNA ARCHITEKTURA SYSTEMU	54
10.2.	OPIS PLIKÓW	54
10.2.1.	MODUŁ OBSŁUGI PRZETWORNIKA ADC (ADS1115)	54
10.2.2.	MODUŁ DO BATERII	54
10.2.3.	MODUŁ OBSŁUGI CZUJNIKA BME680	54
10.2.4.	MODUŁ OBSŁUGI MICS-5524	55
10.2.5.	MODUŁ OBSŁUGI CZUJNIKA PYŁU ZAWIESZONEGO	55
10.2.6.	MODUŁ OBSŁUGI WYŚWIETLACZA E-PAPIEROWEGO	56
10.2.7.	MODUŁ GENEROWANIA DŹWIĘKÓW ALARMOWYCH	56
10.2.8.	GŁÓWNY PROGRAM SYSTEMU	56
10.3.	INTERAKCJE MIĘDZY MODUŁAMI	57
10.3.1.	STRUKTURA PRZEPŁYWU DANYCH	57
10.3.2.	CYKL PRACY	57
10.3.3.	ZARZĄDZANIE ENERGIĄ	57
10.4.	CHARAKTERYSTYKA DZIAŁANIA	57
11.	TESTOWANIE	59
11.1.	TESTOWANIE W NORMALNYCH WARUNKACH	59
11.2.	TESTOWANIE ZE ŹRÓDŁEM OGNIA	61
11.3.	TESTOWANIE W KUCHNI	62
12.	WNIOSKI	65
13.	POMYSŁY NA PRZYSZŁOŚĆ	66

13.1.	ROZWÓJ SPRZĘTOWY	66
13.2.	ROZWÓJ OPROGRAMOWANIA	66
13.3.	ROZWÓJ INTERFEJSU UŻYTKOWNIKA	66
13.4.	ROZWÓJ SYSTEMOWY	67
13.5.	PROPOZYCJE WDROŻEŃ	67
13.5.1.	WERSJA DOMOWA	67
13.5.2.	WERSJA PRZEMYSŁOWA	67
13.5.3.	WERSJA SPOŁECZNOŚCIOWA	67
13.6.	PODSUMOWANIE	68
14.	BIBLIOGRAFIA	69
15.	SPIS RYSUNKÓW	71
16.	SPIS TABEL	72

WSTĘP

Problem: Autonomiczny układ wykrywania pożaru.

Autonomiczny układ wykrywania pożaru ma na celu jak najszybsze lokalizowanie zagrożenia w przestrzeniach zamkniętych, bez konieczności stałej ingerencji człowieka. Kluczowym wyzwaniem jest zapewnienie niezawodnej detekcji dymu, ognia czy podwyższonej temperatury przy jednoczesnym minimalnym zużyciu energii, co pozwala na długotrwałą, samodzielną pracę urządzenia. W tym projekcie wykorzystano kombinację czujników optycznych, chemicznych oraz środowiskowych, zintegrowanych z mikrokontrolerem Raspberry Pi Pico 2W, aby uzyskać szybkie i precyzyjne wyniki w różnych warunkach pracy.

Co kto robił?

Paweł Plewa: program, elektronika, pomiary, ADS 1115

Kinga Konieczna: bateria + ładowarka, e-paper, BME680

Jan Czechowski: GP2Y1010AU0F, MICS5524

Tymon Zadara: czujnik płomienia, czujnik UV, testowanie

1. IDENTYFIKACJA PROBLEMU I BADANIA

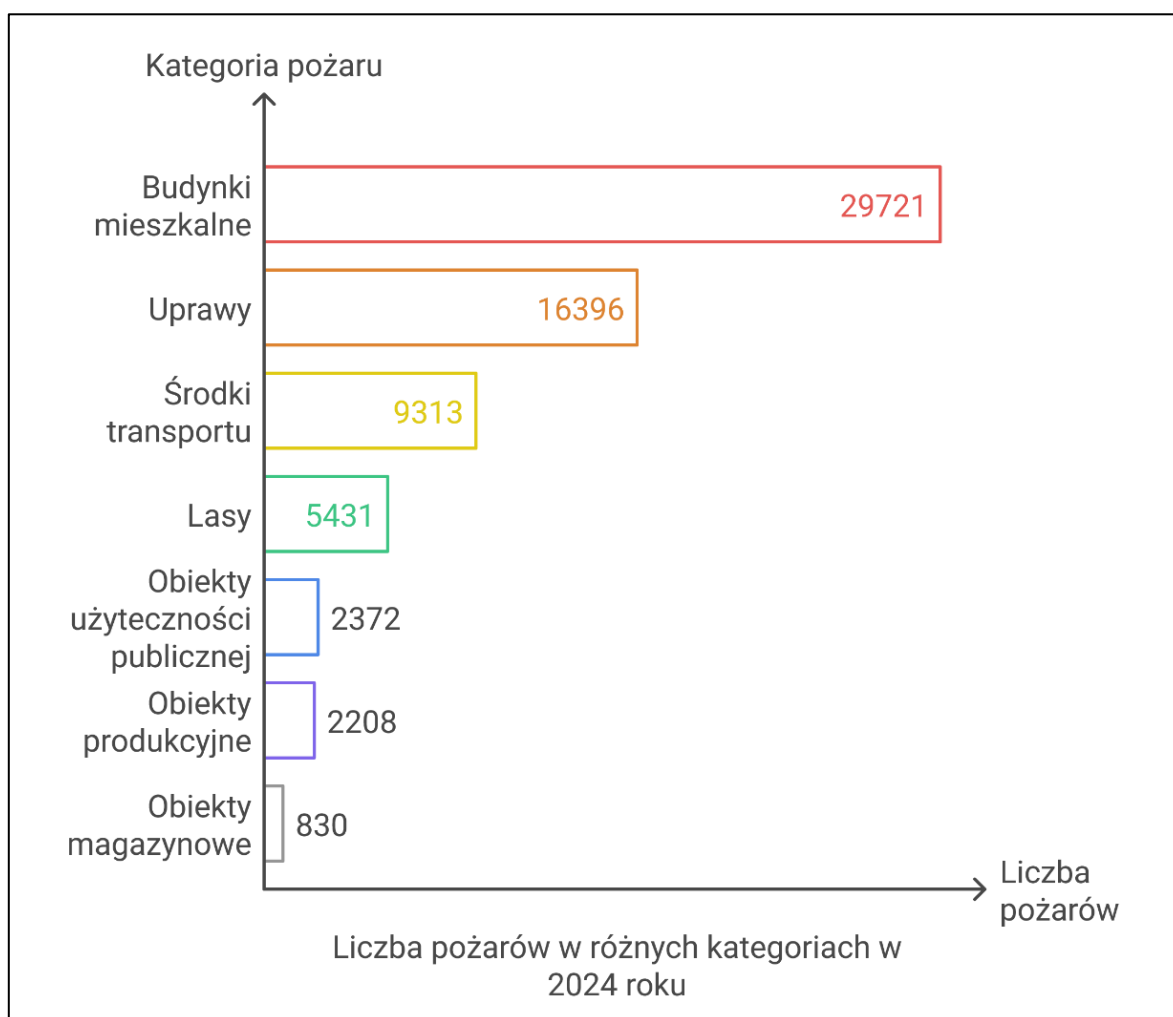
Identyfikacja problemu i przeprowadzenie badań stanowią kluczowy etap w analizie zagrożeń związanych z pożarami. Zrozumienie skali zjawiska, jego przyczyn oraz skutków pozwala na opracowanie skutecznych metod zapobiegania i minimalizowania strat. Analiza dostępnych danych oraz statystyk umożliwia wskazanie obszarów szczególnego ryzyka i wyznaczenie kierunków działań prewencyjnych.

1.1. STATYSTYKI POŻARÓW W POLSCE W UBIEGŁYCH LATACH

Pożary stanowią jedno z najpoważniejszych zagrożeń, z jakimi mierzą się służby ratownicze w Polsce. Każdego roku odnotowuje się dziesiątki tysięcy pożarów, które prowadzą do strat materialnych, zagrożenia życia oraz zanieczyszczenia środowiska. Analiza statystyk z ostatnich lat pozwala lepiej zrozumieć skalę problemu i wskazać najczęstsze przyczyny tych zdarzeń.

1.1.1. POŻARY W 2024 ROKU [1]

W 2024 roku strażacy odnotowali **102 882 pożary**, co stanowi znaczącą część ich interwencji. Na **Rys. 1.1.** przedstawiliśmy podział na kategorie pożarów, które wystąpiły.



Rys. 1.1. Liczba pożarów w 2024 r. – podział na kategorie. [opracowanie własne]

1.1.1.1. POŻARY W OBIEKTACH MIESZKALNYCH

- Wystąpiło **29 271 pożarów** w budynkach mieszkalnych.
- W wyniku tych pożarów **295 osób straciło życie**, a **2052 zostały ranne**.
- Liczba ofiar śmiertelnych była o **70 niższa** niż w 2023 roku.

1.1.1.2. POŻARY W INNYCH OBIEKTACH

Wśród wszystkich pożarów odnotowano m.in.:

- **16 396** pożarów **upraw**,
- **9 313** pożarów **środków transportu**,
- **5 431** pożarów **lasów**,
- **2 372** pożary **obiektów użyteczności publicznej**,
- **2 208** pożarów **obiektów produkcyjnych**,
- **830** pożarów **obiektów magazynowych**.

1.1.1.3. ZATRUCIA CZADEM (TLENKIEM WĘGLA)

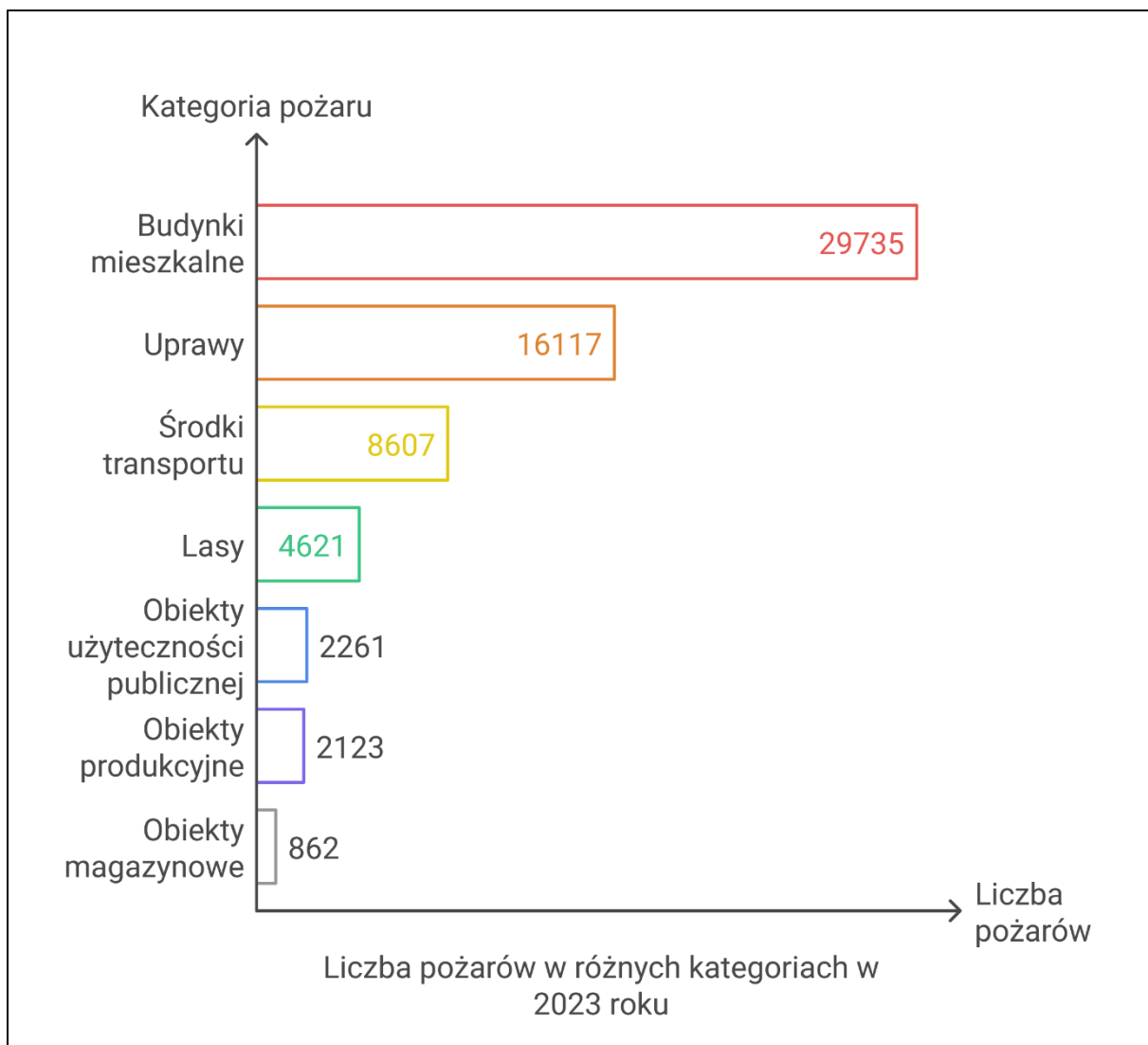
Pożary i wadliwe instalacje grzewcze wiążą się z emisją czadu:

- Strażacy interweniowali **4 329 razy** w związku z zatruciami tlenkiem węgla.
- **52 osoby zmarły** z powodu zatrucia czadem.
- **1 334 osoby uległy podtruciu**.
- W sezonie grzewczym (od października 2024 r.) strażacy interweniowali **1 088 razy** w związku z emisją czadu.

Dane te pokazują, jak istotnym zagrożeniem pozostają pożary oraz związane z nimi ryzyko dla życia, zdrowia i mienia.

1.1.2. POŻARY W 2023 ROKU [2]

W 2023 roku strażacy odnotowali **99 288 pożarów**, co stanowiło znaczny odsetek podjętych interwencji. Na **Rys. 1.2.** przedstawiliśmy podział na kategorie pożarów, które wystąpiły.



Rys. 1.2. Liczba pożarów w 2023 r. – podział na kategorie. [opracowanie własne]

1.1.2.1. POŻARY W OBIEKTACH MIESZKALNYCH

- Wystąpiło **29 735 pożarów** w budynkach mieszkalnych.
- **365 osób straciło życie**, a **1 921 zostało rannych**.
- Liczba ofiar śmiertelnych była o **22 niższa** niż w 2022 roku.

1.1.2.2. POŻARY W INNYCH OBIEKTACH

Wśród wszystkich pożarów odnotowano m.in.:

- **16 117** pożarów **upraw**,
- **8 607** pożarów **środków transportu**,
- **4 621** pożarów **lasów**,
- **2 261** pożarów **obiektów użyteczności publicznej**,
- **2 123** pożary **obiektów produkcyjnych**,

- **862 pożary obiektów magazynowych.**

1.1.2.3. ZATRUCIA CZADEM (TLENKIEM WĘGLA)

Pożary oraz wadliwe instalacje grzewcze wiążą się z emisją tlenu węgla:

- Strażacy interweniowali **4 350 razy** w związku z zatruciami czadem.
- **53 osoby zmarły, a 1 468 uległo podtruciu.**
- W sezonie grzewczym (od października 2023 r.) strażacy interweniowali **1 089 razy** w związku z emisją czadu.
- W wyniku zatrucia tlenkiem węgla **22 osoby straciły życie, a 538 odniosło obrażenia.**

1.1.3. POŻARY W 2022 ROKU [3]

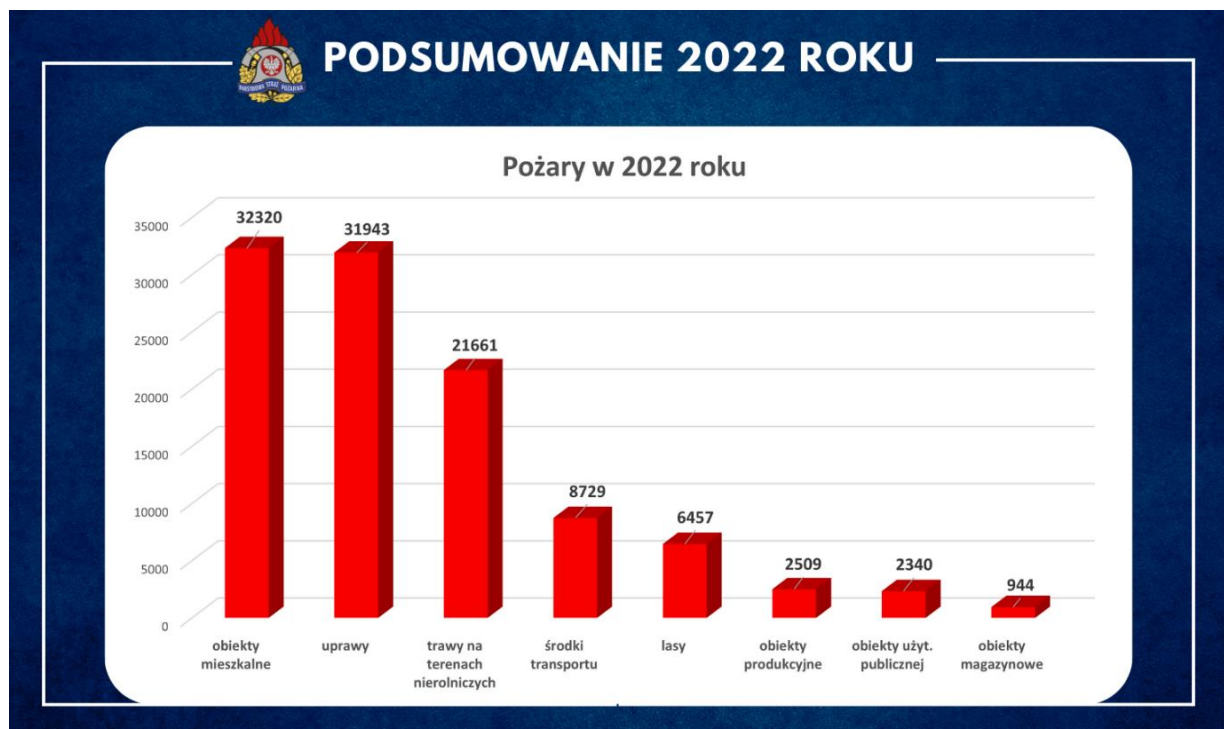
W 2022 roku strażacy odnotowali **135 968 pożarów.**

1.1.3.1. MIEJSCA POŻARÓW

Gdzie występowały te pożary (podsumowanie 2022 roku na **Rys. 1.3.**)?

- **32 320 pożarów** w obiektach mieszkalnych,
- **53 604 pożarów traw**, w tym **31 943 pożarów upraw** oraz **21 661 pożarów traw na terenach nierolniczych**,
- **6 457 pożarów lasów.**

W wyniku tych pożarów **387 osób straciło życie, a 2 338 osób zostało rannych.**



Rys. 1.3. Pożary w 2022 roku. [źródło: <https://www.gov.pl/web/kgpsp/interwencje-podsumowanie-2022>]

1.1.3.2. ZATRUCIA CZADEM (TLENKIEM WĘGLA)

Strażacy interweniowali **4 686 razy** w związku z zatruciami tlenkiem węgla, w wyniku czego:

- **68 osób zmarło,**
- **1 224 osoby zostały podtrute.**

W sezonie grzewczym (od października 2022 r.) strażacy interweniowali **1 298 razy** w związku z emisją czadu, a w wyniku tych interwencji **34 osoby straciły życie**, a **429 osób zostało rannych**.

1.2. PRZYCZYNY POŻARÓW

Przyczyny pożarów mogą mieć różnorodne uwarunkowania, które determinują ich występowanie zarówno w obrębie konkretnego miejsca zdarzenia, jak i w szerszym kontekście systemów bezpieczeństwa. Ich genezę można podzielić na dwie główne kategorie: naturalne, obejmujące m.in. wyładowania atmosferyczne i samozapłon [7], oraz te związane z działalnością człowieka, takie jak błędy operacyjne, usterki elektryczne, nieprawidłowe użytkowanie urządzeń czy celowe działania [5] [6] [8] [9].

1.2.1. PRZYCZYNY NATURALNE

- **Wyładowania atmosferyczne** - wyładowania atmosferyczne, czyli pioruny, są najczęstszym naturalnym źródłem inicjacji pożarów. Podczas intensywnego wyładowania piorun przekazuje ogromne ilości energii, która może błyskawicznie podgrzać suche rośliny i materiały organiczne do temperatury zapłonu. Szczególnie niebezpieczne są te zdarzenia w okresach suszy, gdy roślinność jest przesuszona i łatwopalna, co sprzyja szybkiemu rozprzestrzenianiu się ognia. [7] [8]
- **Samozapłon** - samozapłon występuje, gdy materiały organiczne, takie jak zgromadzony kompost, stosy liści czy inne rozkładające się substancje, nagrzewają się na skutek naturalnych procesów rozkładu. W warunkach, gdy ciepło nie jest odpowiednio rozpraszane, temperatura wewnątrz masy może wzrosnąć do punktu, w którym materiał zapala się bez zewnętrznego źródła ognia. Proces ten, choć rzadszy niż wyładowania atmosferyczne, stanowi istotne zagrożenie, zwłaszcza w obszarach o zmiennych warunkach wilgotności i temperatury. [7]

1.2.2. PRZYCZYNY ZWIĄZANE Z DZIAŁALNOŚCIĄ CZŁOWIEKA

- **Błędy ludzkie** - niewłaściwe obchodzenie się z ogniem – na przykład nieostrożne używanie świec, zapalek czy innych otwartych źródeł ognia – często prowadzi do powstania pożarów. Brak świadomości i nieuwaga mogą skutkować sytuacjami, w których niewielka iskra szybko przeradza się w rozległy pożar. [5] [9]
- **Usterki elektryczne** - problemy z instalacjami elektrycznymi, takie jak zwarcia, przeciążenia czy niewłaściwa konserwacja urządzeń, są częstym źródłem pożarów. Awaria instalacji może szybko doprowadzić do rozprzestrzenienia ognia, szczególnie w obiektach mieszkalnych i przemysłowych. [8] [9]

- **Nieprawidłowe użytkowanie urządzeń kuchennych** - błędna eksploatacja systemów grzewczych, pieców czy innych urządzeń domowych może prowadzić do przegrzania i zapłonu materiałów łatwopalnych. Niewłaściwa obsługa oraz brak odpowiedniej wentylacji zwiększają ryzyko wybuchu pożaru. [5] [9]
- **Pożary w miejscu pracy** - w środowiskach przemysłowych i biurowych, przyczyny pożarów często wiążą się z niewłaściwą organizacją przestrzeni, nagromadzeniem materiałów łatwopalnych, usterkami maszyn lub nieprawidłowym przechowywaniem substancji chemicznych. [6]
- **Działania celowe** - choć występują rzadziej, celowe podpalenia i akty sabotażu również przyczyniają się do powstawania pożarów. Takie incydenty, często o charakterze kryminalnym, mają na celu wyrządzenie szkód materialnych lub zakłócenie funkcjonowania obiektów. [7] [9]
- **Pożary przemysłowe** - w procesach produkcyjnych, wycieki substancji chemicznych oraz niekontrolowane reakcje technologiczne mogą prowadzić do wybuchów i pożarów na dużą skalę. [5]

1.3. SKUTKI POŻARÓW

Pożary mogą mieć różnorodne konsekwencje, które oddziałują zarówno na najbliższe otoczenie, jak i na szerszą skalę. Ich skutki można podzielić na lokalne, dotyczące bezpośredniego miejsca zdarzenia, oraz globalne, wpływające na środowisko i gospodarkę w dłuższej perspektywie [4]. Taki podział pozwala lepiej zrozumieć ich znaczenie oraz konieczność skutecznych metod zapobiegania i wykrywania pożarów.

1.3.1. SKUTKI LOKALNE

- **Straty materialne** – zniszczenie samochodów, narzędzi, budynku oraz utrata ważnych dokumentów i rzeczy osobistych.
- **Zagrożenie zdrowotne dla ludzi i zwierząt** – poparzenia, zatrucie dymem, ewakuacja, stres związany z utratą mienia.
- **Koszty naprawy i odbudowy** – ubezpieczenia, remonty, zakup nowych rzeczy.
- **Zanieczyszczenie powietrza w pobliżu** – dym, toksyczne substancje z palonych materiałów (np. plastików, farb).

1.3.2. SKUTKI GLOBALNE

- **Wpływ na środowisko** – emisja gazów cieplarnianych (CO_2 , tlenków azotu) do atmosfery substancje toksyczne w atmosferze oraz zanieczyszczenie gleby i wód gruntowych przez toksyczne substancje z popiołu.
- **Wzrost zagrożenia pożarami w skali świata** – pożary lasów niszczą ekosystemy i zmniejszają powierzchnię pochłaniającą CO_2 , co sprzyja szybszemu powstawaniu kolejnych pożarów.
- **Obciążenie dla służb ratunkowych** – większa liczba pożarów oznacza większe koszty dla państwa i dłuższy czas reakcji na inne zdarzenia.
- **Wpływ na gospodarkę** – zniszczenie mienia, miejsc pracy, zakłócenia w produkcji, wyższe składki ubezpieczeniowe.

1.4. TECHNOLOGIE WYKRYWANIA POŻARÓW[10]

Systemy wykrywania ognia są projektowane tak, aby odpowiadać we wczesnym stadium pożaru. To powiedziawszy, nie każdy rodzaj *wykrywacza/czujnika* jest odpowiedni do pracy w każdym środowisku. Tym samym istotne jest dogłębne zrozumienie naszych możliwości, by tym samym wybrać odpowiedni rodzaj technologii do naszych zastosowań. Przykładowo tzw. *czujki punktowe* o ile dobrze sprawdzają się w małych zamkniętych pomieszczeniach, to nie dają sobie rady w dużych magazynach czy też fabrykach. Skupimy się na:

- Fotelektrycznych wykrywaczach dymu
- Wykrywaczach ciepła
- Czujnikach uniwersalnych
- Wykrywaczach sygnałów radiowych
- Czujnikach laserowych
- Systemach zasysających
- Czujnikach płomienia
- Urządzeniach iskrobezpiecznych
- Urządzeniach *SIL*
- LHDC
- Wykrywacze płomienia

1.4.1. FOTOELEKTRYCZNE WYKRYWACZE DYMU

Cząstki dymu składają się z węgla i innych zanieczyszczaczy powietrza i to właśnie te cząstki mogą zostać optycznie złapane przez wykrywacze fotelektryczne. Istnieją dwa sposoby działania tego typu czujników.

1.4.1.1. ROZPRASZANIE WSTECZNE

W komorze detektora znajdują się dwa główne elementy optyczne: nadajnik i odbiornik podczerwieni. Gdy cząsteczki dymu dostaną się do komory, światło podczerwone odbija się od cząsteczek, powodując ich rozproszenie. Im więcej cząstek znajduje się w komorze, tym większa ilość rozproszonego światła jest odbierana, tym samym uruchamiając alarm.

1.4.1.2. PRZYĆMIENIE

Tutaj w przeciwieństwie do światła rozproszonego mierzy się światło **przyćmione**. Jeśli obecne są cząsteczki dymu, to najprawdopodobniej zakłóca promień światła podczerwonego idącego od nadajnika do odbiornika. Ustalony jest pewien próg przyćmienia i kiedy owy próg zostanie osiągnięty lub przekroczony – uruchamia się alarm.

1.4.2. WYKRYWACZE CIEPŁA

Służą one jako alternatywa do czujników dymu. Używane są głównie w miejscach gdzie dym jest czymś powszechnym, na przykład w teatrach. Ponownie, istnieją dwa rodzaje tego typu czujników.

1.4.2.1. TEMPERATURA PROGOWA

Jak nazwa wskazuje czujnik ma ustaloną pewną progową temperaturę. Alarm uruchamia się wtedy, gdy zostanie ona odgórnie przekroczona.

1.4.2.2. WSPÓŁCZYNNIK WZROSTU TEMPERATURY

Czujnik współczynnika wzrostu mierzy nie tylko temperaturę, ale monitoruje też prędkość z jaką się ona podnosi. Czujnik ten ignoruje powolne fluktuacje temperatury lecz odpowiada na szybkie, które to prawdopodobnie są spowodowane ogniem.

1.4.3. CZUJNIKI UNIWERSALNE

Czujniki uniwersalne to urządzenia wyposażone w zarówno technologię optyczną jak i technologię mierzącą poziom ciepła, ażeby określić istnienie warunków pożaru. Jest to praktycznie po prostu fuzja dwóch wcześniej opisanych rozwiązań. Charakteryzuje się ona niską ilością fałszywych alarmów.

1.4.4. WYKRYWACZE SYGNAŁÓW RADIOWYCH

Bezprzewodowy system wykorzystuje technologię radiową zamiast łączy po kablach. Brak okablowania sprawia, że tego typu czujniki są szybkie w instalacji. Polega to na tym, że istnieje pewien działający czujnik, który w razie alarmu wysyła informacje o nim przez sygnał radiowy do odbiornika. Jest to rozwiązanie wykorzystywane najczęściej z powodów estetycznych, zwłaszcza w obiektach historycznych. Potrafią charakteryzować się zasięgiem nawet o ponad 100 metrach.

1.4.5. CZUJNIKI LASEROWE

Istnieją dwa rodzaje czujników laserowych:

- Nadajnik z osobnym odbiornikiem
- Nadajnik z odbłyśnikiem

Oba działają na tej samej zasadzie: **przyćmieniu**. Działają one w praktyce na tej samej zasadzie co fotoelektryczne czujniki dymu. W rzeczywistości różnią się raczej konstrukcją i używa się ich w dużych zamkniętych przestrzeniach.

1.4.6. SYSTEMY ZASYSAJĄCE

W momencie gdy należy zabezpieczyć terytorium o dużej objętości i wymagana jest wysoka czułość warto użyć systemu zasysającego. Owy system składa się z mniejszych systemów próbkowania powietrza składają się z długich rur z odpowiednio często rozmieszczonymi otworami do zbierania próbek. Następnie wirnik powietrza zasysa powietrze wzdłuż rury z otworów próbkujących i wprowadza je do komory pomiarowej czujnika. Większość czujników zasysających o wysokiej czułości wykorzystuje metodę przyćmienia, a gdy wstępnie zdefiniowana gęstość dymu wypełni komorę, system przejdzie w stan alarmowy.

1.4.7. URZĄDZENIA ISKROBEZEPICZNE

Aby produkt był sklasyfikowany jako *iskrobezpieczny* nie może być on w stanie jakkolwiek zapalić wybuchową atmosferę poprzez iskrę lub ciepło. Iskrobezpieczne urządzenie wykrywające pożar są tym projektowane w taki sposób, aby pracować z o wiele niższym napięciem. Nawet ich prąd spoczynkowy jest znacznie niższy. Niska moc oznacza również brak szansy na porażenie elektryczne spowodowane nadmiarem zgromadzonej energii termalnej. Bardzo ważne jest to, że rozważony musi zostać **cały** obwód, a nie tylko odizolowana część odpowiedzialna za wykrycie ognia. Istotne jest też bezpieczne zamontowanie.

1.4.8. SIL

SIL oznacza z ang. *Safe Integrity Level*. Wszystkie produkty przeznaczone do wykrywania pożaru muszą zostać zatwierdzone przez IEC tym samym otrzymując poziom SIL (SIL1, 2, 3 lub 4). Należy tu zaznaczyć, że urządzenia SIL i iskrobezpieczne **nie** są tym samym. Urządzenia SIL mają być stosowane w przemyśle wysokiego ryzyka, produkty iskrobezpieczne natomiast służą do użytku w tzw. *Klasyfikowanych niebezpiecznych strefach*.

1.4.9. LHDC

LHDC oznacza z ang. *Linear Heat Detection Cable*. Istnieją dwa rodzaje systemu LHDC – analogowy i cyfrowy. LHDC ma służyć jako wczesny wykrywacz ognia i przegrzania w sytuacjach, kiedy pozostałe rozwiązania nie mogą zostać zastosowane z przyczyn środowisk lub też finansowych. Taki kabel ma nawet do 3km długości[11]. W momencie, w którym temperatura na pewnym odcinku kabla przekracza pewien próg - kabel może włączyć alarm i/lub system gaszenia ognia. Kable te ze względu na swoją niewrażliwość na wilgotność, przepływ powietrza oraz niebezpieczne chemikalia i toksyny mają bardzo niski wskaźnik występowania fałszywych alarmów, tym samym pomagają w oszczędzaniu pieniędzy. Aktywacja alarmu działa poprzez zmianę odporności polimeru (analogowy) lub jakie topnienie (cyfrowy).

1.4.10. WYKRYWACZE PŁOMIENIA

Czujniki płomienia korzystają z czujników podczerwieni i/lub czujników UV, które to odpowiadają różnym długościom fal światła. Samo spektrum światła jest niezwykle szerokie, nawet ciała ludzkie wydzielają tzw. *Promieniowanie ciała doskonale czarnego*. Z tego też powodu czujniki płomienia projektowane są tak, aby odpowiadały tylko na obiekty z dalszych krańców spektrum.

1.5. AUTONOMICZNY SYSTEM I JEGO WŁAŚCIWOŚCI

Autonomiczny system to układ, który funkcjonuje samodzielnie, bez konieczności ingerencji zewnętrznej po jego uruchomieniu. Może być stosowany w różnych dziedzinach, takich jak robotyka, biologia, chemia, informatyka.

1.5.1. WŁASNOŚCI AUTONOMICZNYCH SYSTEMÓW

Aby układ można było nazwać autonomicznym, musi on spełniać pewne określone wymagania co do jego działania oraz zasad pracy. Do niezbędnych cech jakie musi posiadać układ autonomiczny należą:

- **Systematyczne wykonywanie procesów** - umiejętność wykonywania modelowanych procesów
- **Zdolność adaptacji do niepewnych warunków środowiskowych** - zdolność systemu do dostosowania swojego działania automatycznie w celu osiągnięcia wyznaczonego celu w odniesieniu do zmian środowiskowych zachodzących w około
- **Samorządność** - zdolność systemu do wykorzystywania zasobów systemowych bez interferencji z zewnątrz systemu, w celu wykorzystania ich w jak najlepszy i efektywniejszy sposób, aby uzyskać predefiniowany cel systemu. Dotyczy to m.in. zarządzania danymi oraz decydowania, o akcjach które musi wykonać układ.
- **Spójność systemu** – precyzyjne i kompleksowe sformułowanie celów systemu. Dotyczy to m.in. działania bez ingerencji człowieka, zakresy pracy itp.

1.5.2. GŁÓWNE ELEMENTY UKŁADU

- **Czujniki** - zbierają informacje z otoczenia (np. Kamery, czujniki ruchu, termometry, czujniki dymu)
- **Jednostka przetwarzania** - analizuje dane i podejmuje decyzje przy użyciu algorytmów (obecnie często opartych na AI)
- **Elementy wykonawcze** - wykonują działania na podstawie podjętych decyzji (np. silniki, serwomotory, diody, wyświetlacze)
- **Systemy komunikacji** - Umożliwiają interakcję z innymi systemami lub operatorami

1.5.3. ZASTOSOWANIA

W **Tab. 1.1.** poniżej znajdują się główne zastosowania autonomicznych systemów w życiu codziennym i różnych działach gospodarki.

Tab. 1.1. Zastosowania autonomicznych systemów. [opracowanie własne]

Kategoria	Zastosowania
Autonomiczne pojazdy	Samochody i ciężarówki poruszające się bez kierowcy
Drony	Nadzór powietrzny, dostawy, monitorowanie upraw
Roboty Przemysłowe	Automatyzacja produkcji, logistyka magazynowa
Systemy Medyczne	Roboty chirurgiczne, monitorowanie pacjentów, diagnostyka
Systemy Wojskowe	Bezzałogowe pojazdy bojowe i drony a zwiadowcze

1.5.4. ZALETY

- ✓ **Efektywność** - Ciągła praca bez zmęczenia
- ✓ **Bezpieczeństwo** - Redukcja ryzyka dla ludzi w niebezpiecznych warunkach

- ✓ **Precyzja** - Wysoka dokładność w powtarzalnych zadaniach
- ✓ **Obniżenie kosztów** - Mniejsze koszty pracy w dłuższej perspektywie

1.5.5. WYZWANIA I ZAGROŻENIA

- ⚠ **Bezpieczeństwo i niezawodność** – Systemy muszą działać bez ryzyka awarii.
- ⚠ **Kwestie prawne i etyczne** – Odpowiedzialność za decyzje podejmowane przez AI.
- ⚠ **Zaufanie społeczne** – Akceptacja ze strony użytkowników i społeczeństwa.
- ⚠ **Prywatność danych** – Ochrona przetwarzanych informacji.

2. ANALIZA RYNKU

Obecnie na rynku występuje wiele rozwiązań do problemu jakim jest wykrywanie pożarów.

Najbardziej podstawowym oraz popularnym rozwiązaniem jest czujnik dymu oraz czujnik czadu. W sklepach występują zarówno pojedyncze czujniki (dym/czad) jak i czujniki zawierające obie te funkcje. Tego typu czujniki są najczęściej spotykanym rozwiązaniem ze względu na ich cenę oraz funkcjonalność.

Najbardziej popularnymi źródłami, z których można zakupić taki czujnik są sklepy z elektroniką (np. Media Expert, Media Markt), sklepy dedykowane dla czujników, (np. czujniki.co), sklepy zajmujące się ochroną przed ogniem (np. Sklep-firetech.waw.pl) oraz allegro.

Czujniki te mogą kosztować między kilkadziesiąt a kilkaset złotych w zależności od modelu oraz marki. Cena zależy od rodzaju wykrywanych zagrożeń, sposobie komunikacji z użytkownikiem (bluetooth, wifi, brak), wydawanych komunikatach w razie wykrycia pożaru (dźwiękowe/opryczne), wymiarów oraz innych właściwości danego czujnika.

Rozwiązania przedstawione powyżej mają swoje zalety jak i wady. Do głównych zalet należy ich cena oraz dostępność, natomiast do wad należy dokładność oraz prostota (mierzy tylko określony parametr).

Na rynku występują również detektory płomienia. Spełniają one bardziej precyzyjną funkcję niż same detektory gazu/czadu/pyłu. Rozróżnia się 3 typy detektorów płomienia: Ultrafioletowy, Podczerwony i Ultrafioletowo-Podczerwony.

Czujnik ultrafioletowy (UV - ultraviolet) działają poprzez wykrywanie promieniowania UV w punkcie zapłonu. Tego rodzaju czujniki mają szybki czas reakcji oraz dużą skuteczność (prawie wszystkie pożary emitują promieniowanie UV). Z tego względu też są one wrażliwe na iskry oraz wyładowania atmosferyczne co zaburza ich poprawną detekcję.

Czujnik podczerwieni (IR - infrared) działa poprzez sprawdzanie pasma widma podczerwieni w płomieniu. Detekcja tego pasma wymaga migoczącego ruchu płomienia, który może niekoniecznie występować w formie pożaru (lampa, piec, kominek).

Czujnik UV – IR posiada zarówno funkcję czujnika UV jak i czujnika IR. Tego typu czujnik szybko reaguje na obecność płomienia, a także jest odporny na fałszywe alarmy. Niestety wykrywa on tylko pożary węglowe które emitują zarówno promieniowanie UV jak i IR.

Na rynku występuje obecnie wiele rozwiązań wykrywania płomienia. Zdecydowana większość przeznaczona jest do wykorzystania w zakładach industrialnych na dużą skalę, gdzie precyzja i jakość są niezbędne do zapewnienia bezpieczeństwa. Znaleziony oferty czujników wachają się w rzędach tysięcy/dziesiątek tysięcy złotych.

Z tego względu też większość placówek oraz użytkowników prywatnych decyduje się na skorzystanie z prostszych wersji takich jak czujnik dymu czy czadu. Na ich potrzeby oraz budżety to wystarcza. Nie gwarantuje to jednak, że wykrycie dymu/czadu świadczy o pożarze, gdzie czujniki optyczne grają dużą rolę.

3. PERSONY

3.1. PERSONA NR 1

Poniżej na **Rys. 3.1.** znajduje się persona nr 1 – Bogumiła Schmitt.



OSOBOWOŚĆ



BOGUMIŁA SCHMITT

WIEK: 84 lata

ZAWÓD: emerytka

MIEJSCE ZAMIESZKANIA:

- miasto 200 - 500k
- mieszkanie w bloku w dzielnicy sypialnej
- mieszka sama

ZAROBKI: 3200 ZŁ NETTO (EMERYTURA)

STAN CYWILNY:

- wdowa
- dwójka dorosłych dzieci



OBAWY

1. Urządzenie będzie zbyt trudne w obsłudze
2. Urządzenie będzie za drogie
3. Urządzenie nie będzie brało pod uwagę problemów osób niepełnosprawnych

CELE

1. Urządzenie musi odpowiednio szybko reagować na możliwość pożaru
2. Metoda alarmowania musi być dostosowana do problemów zdrowotnych
3. Urządzenie nie będzie wymagało połączenia z internetem

Rys. 3.1. Persona nr 1 – Bogumiła Schmitt. [opracowanie własne]

Pani Bogumiła jak wiele starszych osób cierpi na problemy ze słuchem. Niekiedy zdarzają się zawroty głowy i ma powolniejszy czas reakcji od przeciętnej osoby. Czas wolny lubi spędzać w kuchni gotujących dla swoich dzieci, z których jedno regularnie ją odwiedza. To powiedziawszy Pani Bogumiła niekiedy pracuje jednocześnie nad wieloma rzeczami w kuchni i często zdarzy jej się o czymś zapomnieć. Może dojść do sytuacji, w której coś przepali lub zostawi włączoną

kuchenkę gazową. Jako osoba o nienajlepszym węchu mogłaby nawet nie zorientować się, że pomieszczenie może być wypełnione gazem.

Idealne rozwiązanie byłoby w stanie ostrzec starszą osobę pomimo jej problemów ze słuchem. Być może zwykłe *pikanie* nie przykułoby jej uwagi i trzeba byłoby wykorzystać alarm głosowy. Ze względu na powolny czas reakcji starszej Pani Bogumiły lepszym pomysłem mogłoby być powiadamianie jej dzieci, ale taki system nie mógłby być zależny od np. sieci wifi, gdyż osoby jak Pani Bogumiła często nie mają dostępu do internetu.

3.2. PERSONA NR 2

Poniżej na **Rys. 3.2.** znajduje się persona nr 2 – Krystyna Bąk.



OSOBOWOŚĆ



KRYSTYNA BAK

WIEK: 34 lata

ZAWÓD: przedszkolanka

MIEJSCE ZAMIESZKANIA:

- miasto 50 - 100k
- mieszka z dwójką dzieci, ojcem i mężem

ZAROBKI: 5400 zł netto

STAN CYWILNY:

- mężatka
- dwójka dzieci - 3 lata i 7 lat



OBAWY

1. Urządzenie będzie wykrywało fałszywe alarmy(np. w trakcie gotowania)
2. Urządzenie nie zadziała w sytuacji pożaru
3. Urządzenie będzie zbyt drogie do zakupu/utrzymania

CELE

1. Urządzenie inteligentnie rozpozna zagrożenie pożaru od innych codziennych czynności(np. gotowanie)
2. Urządzenie będzie łatwe i proste w obsłudze, najlepiej z aplikacją do zdalnego monitorowania

Rys. 3.2. Persona nr 2 – Krystyna Bąk. [opracowanie własne]

Krystyna Bąk to 34-letnia przedszkolanka, która mieszka w domu bliźniaku w średniej wielkości mieście. Każdy jej dzień to balansowanie między pracą a rodziną – opiekuje się dwójką dzieci, 3-letnim Antosiem i 7-letnią Zuzią, a także wspiera swojego ojca, który mieszka z nimi pod jednym dachem. Przy jej grafiku i licznych obowiązkach bezpieczeństwo domu jest dla niej sprawą priorytetową, ale nie zawsze ma czas, by o wszystkim pamiętać.

Kilka miesięcy temu w jej mieście doszło do serii pożarów w domach jednorodzinnych. Po jednym z incydentów w sąsiedztwie, który spowodował poważne straty, Krystyna zaczęła zastanawiać się nad zabezpieczeniem swojego domu, które działało by pod jej nieobecność (tj. gdy jest w pracy).

3.3. PERSONA NR 3

Poniżej na **Rys. 3.3.** znajduje się persona nr 3 – Bartek Ptak.



OSOBOWOŚĆ



BARTEK PTAK

WIEK: 45 lat

ZAWÓD: Analityk ds. Cyberbezpieczeństwa

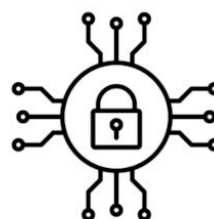
MIEJSCE ZAMIESZKANIA:

- Warszawa - 2 mln
- dom szeregowiec
- mieszka z trójką dzieci i żoną

ZAROBKI: 35000 zł brutto

STAN CYWILNY:

- żonaty
- trójka dzieci - 14 lat, 18 lat i 20 lat



OBAWY

1. Urządzenie nie będzie poprawnie działać bazując na temperaturze
2. Urządzenie nie będzie w stanie wykryć pożaru bez użycia czujników temperatury
3. Urządzenie będzie drogie

CELE

1. Urządzenie będzie miało aplikacje do monitorowania
2. Urządzenie będzie wodoodporne i trwałe
3. Urządzenie będzie działało na ograniczonych pomiarach (bez temp.)

Rys. 3.3. Persona nr 3 – Bartek Ptak. [opracowanie własne]

Bartek Ptak to 45-letni analityk do spraw cyberbezpieczeństwa w dużej korporacji w Warszawie. Mieszka na obrzeżach Warszawy ze swoimi córkami oraz żoną. Poza swoją pracą lubi majsterkować oraz pływać na łódkach po Mazurach. Bartek posiada zdany patent sternika motorowodnego i żeglarza jachtowego. Później zrobił również uprawnienia na sternika morskiego. Wypływa na rejsy średnio 2 razy do roku. Poza Mazurami bardzo lubi rejsy po wodach Morza Śródziemnego, na które jeździ z rodziną od ponad 10 lat. Na wodach śródlądowych w Polsce najczęściej pływa po Mazurach oraz Zatoce Puckiej. Bartek w wolnym czasie lubi tworzyć. Jego najnowszą budowlą jest inteligentny system podlewania ogródka zależnie od pogody oraz deski surfingowe które stworzył z córką. Bartek uważa, że w tańszych łódkach, takich jak na Mazury lub małych łódkach na morze, brakuje dobrego rozwiązania alarmującego o pożarach na łódkach. Jako osoba dobrze rozeznana w swoich zainteresowaniach, Bartek uważa, że czujnik wykrywania pożaru nie bazujący na zmianach w temperaturze (spowodowane warunkami w łódkach) byłby przydatnym produktem.

3.3.1. POŻARY NA ŁÓDKACH

Pożary na łodziach stanowią poważne zagrożenie, zwłaszcza na akwenach takich jak Mazury, gdzie intensywność ruchu turystycznego jest wysoka. Statystyki wskazują, że w Polsce użytkowanych jest około 60 tysięcy jachtów, z czego około 10 tysięcy na Pojezierzu Mazurskim. W latach 2010–2019 odnotowano 98 pożarów śródlądowych obiektów pływających, w tym łodzi, jachtów i skuterów wodnych. To pokazuje, że ryzyko takich zdarzeń jest realne i wymaga odpowiednich środków zapobiegawczych

3.3.2. WYWIAD Z BARTOSZEM PTAKIEM NA TEMAT CZUJNIKA WYKRYWANIA POŻARU NA ŁÓDKACH MAZURSKICH

Uwaga! Wywiad przedstawiony poniżej nie jest słowo w słowo wypowiedziami Pana Bartosza Ptaka a jedynie ich podsumowaniem z przeprowadzonego wywiadu!

Pytanie: *Jakie jest Pana doświadczenie z pływaniem łódkami?*

Odpowiedź: *Posiadam patent sternika motorowodnego i żeglarza jachtowego, oba zdane w 2012 roku. Później zrobiłem uprawnienia na sternika morskiego (motorowodny oraz jachtowy). Robię średnio 2 duże rejsy w roku. Wybieram się na rejsy od ponad 10 lat po wodach morza śródziemnego, głównie po wybrzeżach Grecji, Hiszpanii, Włoch, Chorwacji. Najczęściej korzystam jachtów o długości 49 stop, a po wodach śródlądowych w Polsce - najczęściej jachty Antila 27, na Mazury i Zatokę Pucką.*

Pytanie: *Jakie są Pana główne obawy dotyczące standardowych czujników pożarowych stosowanych na łodziach?*

Odpowiedź: *Moje główne obawy koncentrują się wokół skuteczności czujników wykorzystywanych na łódkach. Znaczna część łodzi używanych na mazurach jest łodziami prostymi i tanimi, nie zawierającymi czujników w kluczowych miejscach takich jak*

kuchnia/jadalnia. Te pomieszczenie jest w większości przypadków wyposażone są w palniki gazowe. Warunki na łodziach są specyficzne – wysoka wilgotność oraz zmienna temperatura są głównymi z nich. Temperatura w pokojach jadalnianych na łódkach, w trakcie gotowania osiąga bardzo wysokie wartości. Mimo dużej ilości okien wentylacja na łódkach jest ograniczona, między innymi przez małą ilość miejsca. To powoduje, że czujnik wykrywania pożaru w takim pomieszczeniu nie mógłby bazować na zmianach w temperaturze.

Pytanie: Jakie cechy powinien posiadać idealny czujnik pożarowy przeznaczony na łodzie?

Odpowiedź: Idealny czujnik pożarowy na łodzie powinien spełniać kilka kluczowych kryteriów:

- 1. Urządzenie musi być odporne na wilgoć, wibracje oraz zmienne temperatury, które są charakterystyczne dla tego środowiska.*
- 2. Preferowane są czujniki wykorzystujące technologie optyczne, takie jak detektory płomienia czy dymu, które są mniej podatne na fałszywe alarmy spowodowane zmianami temperatury. Na przykład, systemy detekcji płomienia wykorzystujące kamery wideo mogą skutecznie identyfikować źródła ognia bez polegania na pomiarze temperatury, który w tych warunkach, jak wspomniane powyżej, byłby bardzo zawodny.*
- 3. Integracja z aplikacją mobilną umożliwiającą zdalne monitorowanie stanu urządzenia oraz powiadamianie o zagrożeniach w czasie rzeczywistym zwiększa bezpieczeństwo i komfort użytkowania, w szczególności, gdy użytkownik łódki byłby zmuszony opuścić pokój, w którym coś się gotuje.*
- 4. System powinien być prosty w montażu, bez konieczności skomplikowanego okablowania (mało miejsca), oraz intuicyjny w obsłudze, co jest istotne dla użytkowników nieposiadających zaawansowanej wiedzy technicznej.*
- 5. Koszt urządzenia powinien być jak najniższy. Jest to spowodowane ograniczonym budżetem osób posiadających tanie łódki oraz zachęceniem firm wynajmujących łódki na mazurach do inwestowania w tego typu czujniki. Bardziej zaawansowane łódki(droższe), zazwyczaj posiadają tego typu czujniki.*

4. INTERESARIUSZE

Interesariusze to osoby, grupy lub organizacje, które mają wpływ na projekt lub są przez niego bezpośrednio lub pośrednio dotknięte. Mogą to być m.in. klienci, inwestorzy, pracownicy, partnerzy biznesowi, społeczności lokalne czy instytucje rządowe.

4.1. KTO ZYSKUJE?

- **Mieszkańcy i najemcy** – Otrzymują system zwiększający bezpieczeństwo, co przekłada się na szybsze wykrycie pożaru, ograniczenie strat materialnych oraz poprawę ochrony życia i zdrowia.
- **Właściciele i deweloperzy nieruchomości** – Wprowadzenie nowoczesnych systemów bezpieczeństwa zwiększa wartość nieruchomości, może przyczynić się do obniżenia kosztów ubezpieczenia oraz stanowić atut przy sprzedaży czy wynajmie.
- **Zarządcy budynków i administracje wspólnot mieszkaniowych** – Dzięki systemowi możliwe jest lepsze monitorowanie stanu bezpieczeństwa budynków i szybsza reakcja w sytuacjach kryzysowych.
- **Służby ratownicze (straż pożarna, pogotowie, policja)** – Wcześniejsze wykrycie zagrożenia pozwala na szybszą interwencję, co zmniejsza liczbę ofiar oraz rozległość strat materialnych.
- **Firmy ubezpieczeniowe** – Redukcja ryzyka pożarowego dzięki nowoczesnym systemom może skutkować mniejszą liczbą wypłat odszkodowań.
- **Producenci i dostawcy technologii** – Wprowadzenie innowacyjnych rozwiązań otwiera nowe rynki i możliwości rozwoju, zwiększając konkurencyjność firm produkujących czujniki i komponenty systemów automatyki budynkowej.
- **Firmy instalacyjne i serwisowe** – Rozwój rynku autonomicznych systemów wykrywania pożaru generuje popyt na montaż, konfigurację oraz regularne serwisowanie tych systemów.
- **Lokalne władze i organy nadzoru** – System zwiększa poziom bezpieczeństwa publicznego, co przekłada się na mniejsze obciążenie służb ratowniczych oraz lepsze zarządzanie kryzysowe w miastach.

4.2. KTO TRACI?

- **Producenci starszych technologii wykrywania pożaru** – Wprowadzenie nowoczesnego, autonomicznego systemu może ograniczyć rynek dla tradycyjnych czujników dymu, co wpłynie negatywnie na firmy nieinwestujące w rozwój nowych technologii.
- **Firmy serwisowe i instalacyjne specjalizujące się w konserwacji tradycyjnych systemów** – Modernizacja budynków i wdrażanie autonomicznych rozwiązań może zmniejszyć zapotrzebowanie na usługi serwisowe związane z utrzymaniem starszych systemów bezpieczeństwa.
- **Podmioty opierające swoje modele biznesowe na utrzymaniu starych rozwiązań** – Firmy nieprzystosowujące się do zmian rynkowych i nie inwestujące w nowe technologie mogą stracić konkurencyjność oraz udziały w rynku.

- **Użytkownicy systemów tradycyjnych (jeśli nowa technologia nie spełni oczekiwań)** – W przypadku problemów z niezawodnością nowego systemu (np. częste fałszywe alarmy lub problemy z integracją), mogą ponieść straty finansowe lub pogorszenie poziomu bezpieczeństwa, choć jest to bardziej ryzyko niż bezpośrednia strata.

5. SYNTEZA

Współczesne badania wykazują, że w Polsce występuje tendencja spadkowa w ilości pożarów z roku na rok. Pomimo tego ilość pożarów występujących w budynkach mieszkalnych, stale utrzymuje się w granicy około 25/30 tyś. pożarów rocznie. Statystyki jednoznacznie wskazują, że to właśnie ta grupa społeczna jest najmniej zaopiekowaną grupą pod względem alarmowania oraz prewencji pożarów.

Rozwój systemów wykrywania pożarów przez lata koncentrował się głównie na dużych, industrialnych rozwiązaniach lub systemach dedykowanych specjalistycznym środowiskom, takim jak obszary leśne, hale przemysłowe czy silniki. Tego typu technologie, choć zaawansowane, wymagają stosowania kosztownego sprzętu, rozbudowanej infrastruktury oraz specjalistycznej instalacji. Przekłada się to na ich ograniczoną dostępność w warunkach domowych – zarówno pod względem kosztowym, jak i praktycznym.

Z perspektywy rynkowej istnieje wyraźna luka w segmencie prostszych, bardziej przystępnych systemów, które mogłyby być skutecznie wdrażane w domostwach – szczególnie w tych, które z różnych powodów nie są objęte nowoczesnymi zabezpieczeniami przeciwpożarowymi. Znacznym usprawnieniem jest koncepcja urządzeń wykrywających pożary na wielu płaszczyznach – np. poprzez analizę dymu, temperatury, poziomu CO, ale także z wykorzystaniem analizy obrazu – przy jednoczesnym zachowaniu niskiego progu kosztowego oraz prostej integracji w warunkach domowych. Jest to znacznie lepsze rozwiązanie w porównaniu do obecnie dostępnych bazujących przeważnie na czujnikach dymu i czadu.

Podsumowując, obecny stan badań wskazuje na wyraźną potrzebę opracowania domowych, nieprzemysłowych systemów wykrywania pożarów, które łączą skuteczność z dostępnością i prostotą użytkowania. Tego typu rozwiązania mogłyby znacząco zwiększyć bezpieczeństwo osób najbardziej narażonych – przede wszystkim seniorów oraz mieszkańców starszych, mniej zabezpieczonych budynków.

6. PYTANIA HMW – HOW MIGHT WE?

- Jak możemy zaprojektować skuteczny czujnik pożaru, który działa w różnych warunkach środowiskowych, używając tanich i prostych komponentów?
- Jak możemy uprościć obsługę czujnika, aby była zrozumiała i bezpieczna zarówno dla dzieci, jak i seniorów, używając intuicyjnych interfejsów i prostych komunikatów?
- Jak możemy ograniczyć liczbę fałszywych alarmów, zachowując jednocześnie szybkie i dokładne wykrywanie zagrożenia, używając inteligentnego przetwarzania danych z wielu źródeł?
- Jak możemy umożliwić użytkownikowi zdalne monitorowanie sytuacji, nawet gdy przebywa poza domem, używając połączenia internetowego i powiadomień mobilnych?
- Jak możemy zaprojektować urządzenie odporne, niedrogie i łatwe w montażu, dostępne dla każdego użytkownika, używając powszechnie dostępnych materiałów i prostych mechanizmów instalacyjnych?

7. IDEACJA

W celu znalezienia najlepszego rozwiązania do naszego problemu, przeprowadzona została burza mózgów, aby wyłonić jak najwięcej pomysłów rozwiązania.

Pomysły:

- Czujnik dymu
- Czujnik pyłów
- Czujnik czadu
- Czujnik płomienia
- Kamery z AI rozpoznającą dym i ogień
- Integracja z inteligentnym domem
- Aplikacja do monitoringu czujników BLE
- Zwykły mikrofon analizujący dźwięki
- Czujnik zapachu spalenizny
- Czujniki w suficie/elementach przy suficie
- Czujniki przy kuchenkach/instalacjach gazowych
- Syrena alarmowa
- Migające światła dla osób słabo słyszących
- Powiadomienie do sąsiadów w razie nieobecności

Selekcja pomysłów:

Po dogłębnej analizie potencjalnych rozwiązań zdecydowaliśmy się na następujące pomysły:

1. Zintegrowany system różnych czujników w celu ograniczenia potencjalnych fałszywych alarmów.
2. Aplikacja/interfejs połączony bezprzewodowo informujący o stanie powietrza.
3. Syrena Alarmowa (może)

Powyższe pomysły znajdują praktyczne zastosowanie w wielu domach, między innymi tych w których mieszkają starsi ludzie oraz nie wymagają wielkich kosztów stworzenia. Wybierając pomysły kierowaliśmy się naszym budżetem, umiejętnościami, specyfikacjami produktów, których musimy się trzymać (np. Bateria 3.7V) oraz najważniejszymi potrzebami, o które musimy zadbać (dokładna detekcja).

8. IDENTYFIKACJA WYZWAŃ

Projekt autonomicznego systemu wczesnego wykrywania pożaru wiąże się z szeregiem wyzwań natury zarówno technicznej, jak i praktycznej. Pomimo że rozwiązanie wydaje się wykonalne z użyciem popularnych mikrokontrolerów (np. Raspberry Pi Pico 2W) oraz dostępnych na rynku czujników, realizacja wymaga uwzględnienia kilku istotnych aspektów.

8.1. ANALIZA WYKONALNOŚCI

System zakłada wykorzystanie różnych czujników do pomiaru temperatury, stężenia gazów, obecności dymu oraz cząstek pyłu zawieszonego (PM2.5/PM10). Mikrokontroler Raspberry Pi Pico 2W w połączeniu z płytką stykową dysponuje wystarczającą liczbą pinów, posiada wsparcie dla ADC oraz komunikacji cyfrowej (I2C/UART/SPI), dzięki czemu projekt jest technicznie możliwy do realizacji.

Oprócz wymienionych czujników, konieczne będzie również przygotowanie:

- układu zasilania o odpowiedniej wydajności prądowej,
- konwerterów logicznych (jeśli wymagane napięcia różnią się od 3.3V),
- bibliotek wspierających poszczególne komponenty w MicroPythonie.

8.2. TRUDNOŚCI

W trakcie realizacji projektu możemy napotkać trudności związane z testowaniem, kalibracją czujników oraz dostosowaniem systemu do zmiennych warunków środowiskowych.

8.2.1. KALIBRACJA

Niektóre komponenty, jak czujniki gazu, **wymagają kalibracji** w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych, co w warunkach domowych jest trudne do przeprowadzenia. Kalibracja wpływa na dokładność pomiaru, dlatego w prototypie należy liczyć się z ograniczoną precyzją detekcji.

8.2.2. TRUDNOŚĆ W TESTOWANIU

Jednym z największych wyzwań w projekcie jest **wiarygodne testowanie działania systemu**. Trudno jest symulować warunki rzeczywistego pożaru w sposób bezpieczny i powtarzalny. Dodatkowo, **stężenie dymu, pyłu czy gazów może znacząco różnić się w zależności od lokalizacji, rodzaju materiału spalającego się, czy wentylacji pomieszczenia**.

Z tego względu ustawienie jednolitych wartości progowych dla alarmu jest dużym wyzwaniem. Istnieje ryzyko zarówno fałszywych alarmów (przy niewielkim stężeniu cząstek), jak i niewykrycia realnego zagrożenia (przy nietypowych warunkach środowiskowych).

9. PROTOTYPOWANIE URZĄDZENIA

9.1. OKREŚLENIE WYMAGAŃ I FUNKCJONALNOŚCI URZĄDZENIA

Wymagania dla naszego systemu obejmowały zarówno aspekty funkcjonalne, jak i techniczne:

1. Wymagania funkcjonalne:

- System powinien skutecznie wykrywać pożary za pomocą czujników dymu, gazu oraz czujników temperatury.
- W przypadku wykrycia pożaru system powinien automatycznie uruchomić odpowiednie powiadomienia.
- System nie powinien uruchamiać fałszywych alarmów, które informowałyby o czymś innym niż o faktycznym pożarze.

2. Wymagania techniczne:

- **Niskie zużycie energii** – system powinien być zaprojektowany z myślą o długotrwałej pracy bez konieczności częstego ładowania. Raspberry Pi oraz czujniki (dymu, CO₂, temperatury) muszą być zoptymalizowane pod kątem energooszczędności. W razie potrzeby system powinien wykorzystywać tryby oszczędzania energii.
- **Czułość czujników** – czujniki dymu, CO₂ i temperatury muszą być wysokiej jakości i mieć odpowiednią czułość, aby wykrywać zagrożenie pożarowe w początkowej fazie. Powinny mieć minimalizację fałszywych alarmów spowodowanych np. parą wodną czy innymi czynnikami.
- **Niewielkie rozmiary i łatwa instalacja** – system wykrywania pożaru (czujniki oraz Raspberry Pi) powinien być łatwy do zainstalowania w różnych środowiskach. Powinien charakteryzować się kompaktową konstrukcją, która nie utrudnia codziennego użytkowania.

9.2. WYBÓR KOMPONENTÓW

System autonomicznej czujki pożarów ma za zadanie reagować na sygnały świadczące o możliwym wybuchu pożaru. Wczesne wykrycie zagrożenia umożliwia podjęcie szybkich działań zapobiegawczych. Dobór komponentów uwzględnia zarówno precyzję pomiarów, jak i niskie zużycie energii, co jest kluczowe dla autonomicznych urządzeń pracujących w trybie ciągłym.

9.2.1. KOMPONENTY GŁÓWNE

- **Mikrokontroler Raspberry Pi Pico 2 W** – Centralny element sterujący, odpowiedzialny za cykliczne pobieranie danych z czujników (co 5 sekund) oraz podejmowanie decyzji w oparciu o analizę tych danych. Kluczowe jest, aby mikrokontroler cechował się niskim zużyciem energii i możliwością pracy w trybie niskiego poboru mocy.
- **Akumulator Li-Pol 3500 mAh 1S 3,7V [20]** – przedstawiona na **Rys. 9.1.** zapewnia niezależne, długotrwałe zasilanie całemu układowi czujki pożarowej, co jest kluczowe dla jej autonomicznego działania. Dzięki dużej pojemności i kompaktowym wymiarom doskonale sprawdza się w urządzeniach mobilnych, wymagających energooszczędnej pracy.



Rys. 9.1. Akumulator Li-Pol 3500 mAh. [opracowanie własne]

- **Interfejsy komunikacyjne** – Umożliwiają integrację z czujnikami i innymi komponentami (np. I²C dla BME680 i MiCS-5524, interfejs one-wire dla opcjonalnego DS18B20).
- **Wyświetlacz Pico e-Paper 2.13** [21] – Stosowany do prezentacji aktualnych wyników pomiarów oraz stanu systemu. Ekran e-Paper charakteryzuje się bardzo niskim zużyciem energii i łatwą integracją dzięki dedykowanej bibliotece.

9.2.2. CZUJNIKI

LISTA CZUJNIKÓW, KTÓRE MAMY:

- BME680
- GP2Y1010AU0F
- MiCS-5524

9.2.2.1. CZUJNIK ŚRODOWISKOWY - BME680 [16]

Funkcje: Pomiar temperatury, wilgotności, ciśnienia oraz VOC.

Zalety:

- Niski pobór mocy (mikroampery w trybie czuwania, kilkadziesiąt mA przy aktywności).
- Wysoka dokładność pomiarów warunków środowiskowych, co umożliwia monitorowanie zmian w otoczeniu.

Ograniczenia:

Pomiar VOC nie obejmuje wszystkich rodzajów gazów pożarowych, dlatego konieczne jest wsparcie dodatkowymi czujnikami.

9.2.2.2. CZUJNIK DYMU I PYŁU (OPTYCZNY) - GP2Y1010AU0F [17]

Funkcje: Detekcja dymu i zawieszonych cząstek, które stanowią jeden z wczesnych wskaźników pożaru.

Zalety:

- Niski pobór prądu – około 20 mA w trybie aktywnym, praktycznie zerowy w trybie standby.
- Zasilanie napięciem 3.3V, co ułatwia integrację z niskonapięciowymi systemami.

Ograniczenia:

Dedykowany głównie do wykrywania cząstek dymu, a nie bezpośrednio gazów spalinowych.

9.2.2.3. CZUJNIK GAZÓW PALNYCH I SPALINOWYCH - MiCS-5524 [18]

Funkcje: Wykrywanie gazów takich jak metan, propan czy inne składniki spalin, które mogą występować w pożarach.

Zalety:

- Niski pobór mocy (około 5–10 mA), co jest korzystne przy ciągłej pracy systemu.
- Kompaktowy rozmiar.
- Możliwość integracji poprzez interfejs analogowy, co ułatwia kalibrację.

Ograniczenia:

Wymaga kalibracji charakterystyki pomiarowej, typowej dla czujników gazu, ale przy odpowiednich procedurach nie wpływa negatywnie na niezawodność systemu.

9.2.2.4. OPCJONALNY CZUJNIK TEMPERATURY (CYFROWY) - DS18B20 [19]

Funkcje: Szybki pomiar temperatury, co pozwala na ultraszybką detekcję gwałtownego wzrostu temperatury.

Zalety:

- Prosty interfejs one-wire,
- niski pobór energii,
- niski koszt.

Decyzja projektowa:

Ze względu na częstotliwość pomiarów (co 5 sekund) oraz wskaźnik temperatury z BME680, DS18B20 uznano za opcjonalny, ale stanowi on dodatkową możliwość w systemach wymagających ultraszybkiej reakcji.

9.2.2.5. OPCJONALNY CZUJNIK PŁOMIENIA

Moduły wykrywania płomienia dostępne na rynku są albo bardzo drogie (ze względu na wysoką jakość czujników oraz wmontowane oprogramowanie odpowiedzialne za konwersje danych), albo jest to moduł bazujący na popularnym czujniku YG1006. Dokumentacja tego czujnika zamieszczona jest na repozytorium.

Tutaj pojawia się problem. Ze względu na chińską, taną produkcję tego czujnika, biblioteki oraz dane na temat otrzymywanych danych są bardzo ograniczone.

W przypadku wykorzystania takiego czujnika, wymagane będą dogłębne testy w celu określenia działania tego czujnika oraz pomierzenie danych, które czujnik zwraca w konkretnych sytuacjach.

Jest na rynku czujnik modFLAME-5CH do którego są przewodniki na platformie YouTube z którego najpewniej trzeba skorzystać. **Żeby skorzystać z tego czujnika należy go najpierw po zakupie przetestować, aby określić pobór prądu oraz zasięg w jakim czujnik wykrywa płomień.** Dopiero wtedy będzie można go zintegrować z resztą modułu.

9.2.2.6. PODSUMOWANIE CZUJNIKÓW

W **Tab. 9.1.** przedstawiliśmy podsumowanie użytych przez nas czujników oraz czujnika DS18B20, na którego ostatecznie się nie zdecydowaliśmy.

Tab. 9.1. Podsumowanie czujników. [opracowanie własne]

Czujnik	Funkcje	Zalety	Ograniczenia
BME680	Pomiar temperatury, wilgotności, ciśnienia, VOC	Niski pobór mocy, wysoka dokładność pomiarów warunków środowiskowych	Pomiar VOC nie obejmuje wszystkich gazów pożarowych, potrzeba dodatkowych czujników
GP2Y1010AU0F	Detekcja dymu i zawieszonych cząstek	Niski pobór prądu, zasilanie 3.3V, łatwa integracja z niskonapięciowymi systemami	Dedykowany głównie do wykrywania cząstek dymu, nie gazów spalinowych
MICS-5524	Wykrywanie gazów (metan, propan, składniki spalin)	Niski pobór mocy, kompaktowy rozmiar, łatwa kalibracja	Wymaga kalibracji charakterystyki pomiarowej, co może wpłynąć na niezawodność systemu
DS18B20 (opcjonalny)	Szybki pomiar temperatury	Prosty interfejs one-wire, niski pobór energii, niski koszt	Opcjonalny, z powodu częstotliwości pomiarów i zbieżności z czujnikiem BME680

9.2.2.7. INNE ROZWAŻANE CZUJNIKI

W **Tab. 9.2.** przedstawiliśmy inne rozważane przez nas czujniki w porównaniu z czujnikiem, który wybraliśmy, czyli GP2Y1010AU0F.

Tab. 9.2. Inne rozważane czujniki dymu/pyłu/gazu. [opracowanie własne]

Nazwa	Typ czujnika	Zalety	Wady
GP2Y1010AU0F	Analogowy dym/pył	Tani, łatwy dostęp	Wymaga sterowania LED, działa na 5V
PMS5003 / PMS7003	Cyfrowy PM2.5/PM10 (UART)	Dokładny, cyfrowy, dane w PM2.5/PM10, łatwa integracja	Droższy, większy, potrzeba UART
MQ-2, MQ-135 itp.	Analogowy gaz/dym	Bardzo tani, różne warianty (dym, CO, gaz, amoniak)	Bardzo nieprecyzyjne, wymagają kalibracji, duży pobór mocy (grzałka)
SMOG sensor SDS011	Cyfrowy PM2.5/PM10 (UART)	Bardzo dokładny, stosowany w profesjonalnych pomiarach	Drogi, duży, UART (ale dokładny)

Po analizie różnych dostępnych czujników, ostateczny wybór padł na czujnik GP2Y1010AU0F, który został uznany za najlepszy ze względu na niski pobór prądu oraz łatwą dostępność na rynku. Inne czujniki, takie jak PMS5003, były rozważane, jednak ze względu na wyższą cenę oraz potrzeby komunikacji przez UART, nie zostały ostatecznie wybrane. Dodatkowo, niektóre czujniki, jak np. SDS011, nie były dostępne w sprzedaży, co utrudniło ich użycie. Mając już czujnik PMS5003 oraz BME680 zastanawialiśmy się, czy to by już wystarczyło. Wyniki naszych rozważań przedstawiliśmy w **Tab. 9.3.** poniżej.

Tab. 9.3. Sprawdzenie czy PMS5003 i BME680 wystarczy. [opracowanie własne]

Parametr	BME680	PMS5003	Czy wystarczy?
Temperatura	TAK (dokładna)	NIE	Tak
Wilgotność	TAK	NIE	Raczej mniej ważne przy pożarze.
Ciśnienie	TAK	NIE	Raczej nieistotne.
VOC (gazy)	Ograniczone (VOC, ale nie metan/propan)	NIE	Nie wykryje metanu, propanu, butanu.
Pył/dym	NIE	TAK (PM2.5 i PM10)	Świetne do wykrywania dymu!

Metan, propan, gaz ziemny	NIE	NIE	NIE — trzeba dodatkowy czujnik.
----------------------------------	-----	-----	---------------------------------

Jak widać, potrzebny był jeszcze jakiś czujnik do gazu ziemnego, propanu i butanu. Dlatego w **Tab. 9.4.** poniżej przedstawiliśmy czujniki, które rozważaliśmy w celu ulepszenia układu.

Tab. 9.4. Opcjonalne dodatkowe czujniki. [opracowanie własne]

Funkcja	Czujnik dodatkowy	Powód
Gaz ziemny, propan, butan (wybuchowe gazy)	MQ-4 (metan), MQ-5 (propan-butan), albo bardziej precyzyjne	Detekcja gazów wybuchowych, kluczowa w kuchni/piwnicy
Szybki wzrost temperatury	DS18B20 (cyfrowy, 1-wire) lub termopara typu K	Szybsza reakcja na pożar niż BME680

System został zaprojektowany tak, aby wykonywać pomiary co 5 sekund, co uznaliśmy za wystarczające z punktu widzenia wczesnego wykrywania pożaru. W praktyce, większość pożarów można wykryć i odpowiednio zareagować w ciągu pierwszych kilku sekund ich rozwoju. Z tego względu **dodatkowy czujnik temperatury** nie wnosił istotnej wartości do systemu, który i tak opiera się na szybkiej detekcji dymu oraz gazów.

Czujniki z serii MQ (np. MQ-4, MQ-5) zostały odrzucone głównie ze względu na bardzo wysoki pobór prądu – typowo około 150 mA podczas pracy – co czyni je nieefektywnymi energetycznie w zastosowaniach bateryjnych lub energooszczędnych. Dodatkowo wymagają one nagrzewania się grzałki do temperatury roboczej, co nie tylko zwiększa zużycie energii, ale również wydłuża czas do uzyskania stabilnych wyników pomiarów.

Czujnik PMS5003 oferuje bardzo dobrą dokładność pomiaru stężeń pyłów zawieszonych (PM2.5 i PM10) oraz możliwość komunikacji przez UART. Jego średni pobór prądu wynosi około 100 mA i posiada on tryb uśpienia. Mimo to, wybudzanie czujnika trwa kilka sekund, co ogranicza jego zastosowanie w systemach, które wymagają szybkiej reakcji lub niskiego opóźnienia po wznowieniu pracy, a nasz takowym jest.

Z powyższych powodów ostateczny wybór padł na czujnik **GP2Y1010AU0F**. Choć jego czułość jest niższa w porównaniu do PMS5003 i wykrywa dopiero większe stężenia dymu, to jednak cechuje się bardzo niskim poborem prądu oraz prostą integracją z systemem. W kontekście zakładanych warunków środowiskowych – takich jak pomieszczenia mieszkalne, kuchnie czy wnętrza łodzi – jego parametry są wystarczające do skutecznego wykrywania potencjalnych zagrożeń pożarowych. Nie oznacza to, że nie miał solidnej konkurencji z czujnikiem MAX30105, co przedstawiliśmy w **Tab. 9.5.** poniżej.

Tab. 9.5. Porównanie czujnika GP2Y1010AU0F z konkurencyjnym MAX30105. [opracowanie własne]

Czujnik	Typ	Pobór prądu	Co mierzy?
GP2Y1010AU0F	Dym/pył, analogowy IR	20 mA aktywnie, μ A w standby	Dym, PM, pył

MAX30105	IR czujnik cząstek (laser)	1.5 - 5 mA	Dym, mgła, ogień
-----------------	----------------------------	-------------------	------------------

Czujnik **MAX30105** został wstępnie rozważony jako potencjalny komponent systemu wykrywania pożaru ze względu na **bardzo niski pobór prądu** oraz możliwość **wykrywania płomienia** poprzez analizę rozproszenia światła. Jego parametry techniczne czynią go atrakcyjnym rozwiązaniem dla systemów wymagających niskiego zużycia energii.

Ostatecznie jednak zrezygnowano z jego zastosowania z przyczyn praktycznych. Czujnik MAX30105 jest bardzo **trudno dostępny na rynku** – często bywa mylony z innymi modelami z tej samej serii (np. MAX30100, MAX30102), a jeśli już jest dostępny, to **czas realizacji zamówienia jest bardzo długi**. Ze względu na tę ograniczoną dostępność nie było również możliwe wcześniejsze przetestowanie jego działania ani zaprogramowanie prototypu z jego wykorzystaniem.

W związku z powyższym, jako alternatywę wybrano czujnik GP2Y1010AU0F, który – mimo niższej czułości i braku detekcji płomienia – jest łatwo dostępny, dobrze udokumentowany oraz wystarczający do realizacji założonych funkcji w projekcie.

Pozostała kwestia gazów – czadu, metanu, propanu, itd. Poniższa **Tab. 9.6.** przedstawia porównanie owych czujników.

Tab. 9.6. Porównanie czujników gazów. [opracowanie własne]

Czujnik	Co wykrywa	Pobór mocy	Interfejs
SGP30	VOC, CO ₂ eq.	~48 mA (aktywne), μA (standby)	I ² C
CCS811	VOC, eCO ₂ (ekwiwalent CO ₂)	~12 mA (aktywnie), <1 mA (IDLE)	I ² C
MiCS-6814	CO, NO ₂ , NH ₃ (dość szeroki, ale analog)	ok. 10-20 mA	Analog/I ² C przez ADC
ENS160	VOC, AQI, eCO ₂	~8.3 mA	I ² C/SPI

Ostatecznie jednak zdecydowaliśmy się na inny, lecz z tej samej serii – MiCS5524. Jest w zupełności wystarczający oraz o wiele łatwiej go kupić niż pozostałe. W **Tab. 9.7.** poniżej znajduje się jego porównanie z innymi powszechnymi takimi czujnikami – z serii MQ.

Tab. 9.7. Porównanie czujnika MiCS-5524 z czujnikami serii MQ. [opracowanie własne]

Czujnik	Plusy	Minusy
MiCS-5524	Mały, tani, niskie zużycie (~5-10 mA) , wyjście analogowe, LPG	Trzeba skalibrować krzywą, analogowe
MQ-5/MQ-6	Bardzo tanie, powszechne	WYSOKI pobór (200 mA) , wolne nagrzewanie, mniej stabilne

Jednym z istotnych wyzwań związanych z wykorzystaniem czujników jest konieczność ich kalibracji. Czujniki te wymagają przeprowadzenia procesu kalibracji w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych, do czego nie mamy dostępu. Pomimo tego, uzyskane wyniki pomiarów wykazywały logiczną i spójną zależność z warunkami rzeczywistymi, co pozwoliło na ich wykorzystanie w prototypie.

Dodatkowo integracja czujników z mikrokontrolerem Raspberry Pi Pico napotkała na pewne trudności techniczne. W szczególności, niektóre dostępne biblioteki były domyślnie przygotowane do pracy z przetwornikami analogowo-cyfrowymi (ADC) o rozdzielczości 10-bitowej, co wymagało ich modyfikacji, ponieważ Raspberry Pi Pico posiada 12-bitowy przetwornik ADC (w praktyce 16-bitowy rejestr, ale skuteczna rozdzielczość to 12 bitów). W jednej z bibliotek brakowało również pełnego wsparcia sterownika, co wymusiło przepisanie fragmentów kodu – oryginalnie przeznaczonego dla platformy Arduino – na język MicroPython.

9.3. RESEARCH PROGÓW ŚWIADCZĄCYCH O POŻARZE

9.3.1. TEMPERATURA

Aby skutecznie monitorować temperaturę w pomieszczeniach i wcześniej wykrywać pożar, najczęściej stosuje się dwa rodzaje czujników [22]:

1. **Czujniki różniczkowe ciepła:** Reagują na szybki wzrost temperatury w pomieszczeniu. Typowe progi alarmowe dla tych czujników wynoszą od 5°C do 10°C na minutę. Oznacza to, że jeśli temperatura wzrasta o więcej niż 5°C–10°C w ciągu jednej minuty, czujnik uruchamia alarm.
2. **Czujniki nadmiarowe ciepła:** Reagują na osiągnięcie określonego, stałego progu temperatury. Standardowe wartości progowe dla tych czujników wynoszą najczęściej 55°C - 65°C. Przekroczenie tego progu powoduje aktywację alarmu.

9.3.2. CZAD

Urządzenia dostępne na rynku z załączoną dokumentacją, np. JKD-512COM [27] mają ustawiony próg 300 PPM w ciągu 3 minut, aby włączył się alarm lub np. FireProtect Plus Jeweller [28], który ma następujące ustawienia, przedstawione w **Tab. 9.8**.

Tab. 9.8. Czas, po którym włącza się alarm po przekroczeniu określonego stężenia CO dla urządzenia FireProtect Plus Jeweller. [opracowanie własne]

Alarm przy przekroczeniu poziomu CO:	
30 ppm (0,003%)	po 120 minutach lub dłużej
50 ppm (0,005%)	po 60–89 minutach
100 ppm (0,01%)	po 10–39 minutach
300 ppm (0,03%)	po 3 minutach

Te wartości nie satysfakcjonowałyby nas, gdyż alarm o pożarze powinien być uruchamiany najszybciej jak to możliwe, a nie (zakładając przekroczenie najwyższego progu) po 3 minutach.

Ponadto, nasz czujnik jest analogowy, przez co otrzymujemy wartość zero jedynekową, czy ta substancja jest, czy jej nie ma w powietrzu.

9.3.3. PYŁY ZAWIESZONE

W 2021 roku Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) zaktualizowała swoje wytyczne dotyczące jakości powietrza, w tym poziomów stężenia pyłów zawieszonych PM_{2.5} i PM₁₀, aby lepiej chronić zdrowie publiczne [29].

PM_{2.5} (cząsteczki o średnicy mniejszej niż 2,5 mikrona):

- **Średnioroczne stężenie:** nie powinno przekraczać 5 µg/m³.
- **Stężenie dobowo-średnie:** nie powinno przekraczać 15 µg/m³.

PM₁₀ (cząsteczki o średnicy mniejszej niż 10 mikronów):

- **Średnioroczne stężenie:** nie powinno przekraczać 15 µg/m³.
- **Stężenie dobowo-średnie:** nie powinno przekraczać 45 µg/m³.

Jednakże pojawia się problem dla obszarów, w których często występują pożary, przykładowo dla Kalifornii [30] w okresach, w których występuje dużo pożarów, wartości PM_{2.5} i PM₁₀ to odpowiednio 90 µg/m³ i 190 µg/m³. Dlatego pojawia nam się problem – jak mierzyć to stężenie. W przypadku wczesnego stadium pożaru kluczowym czynnikiem jest wartość PM_{2.5}.

Zdecydowaliśmy się na **wartość progową 100 µg/m³** dla tego czynnika, która w połączeniu z innymi przekroczonymi progami (np. temperatury) powinna dawać oczekiwany rezultat, czyli włączenie się alarmu.

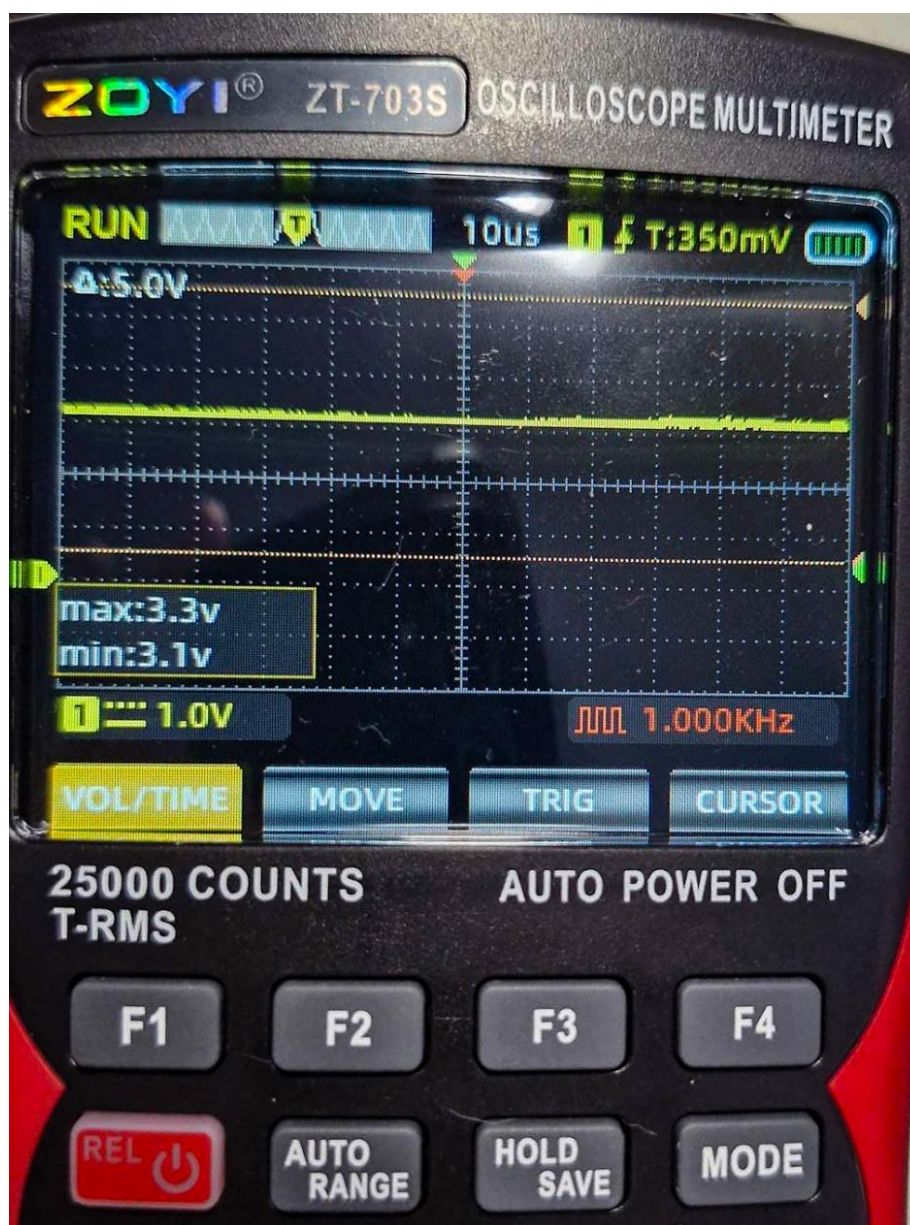
9.4. WDROŻENIE PROTOTYPU I WYNIKI TESTÓW

9.4.1. INTEGRACJA PRZETWORNIKA ADS1115

Moduł DFRobot ADS1115 został zintegrowany z Raspberry Pi Pico 2 W przez magistralę I²C. Kod sterujący powstał w MicroPythonie na podstawie przykładu dostępnego pod adresem <https://how2electronics.com/ads1115-16-bit-adc-module-with-raspberry-pi-pico/>.

9.4.2. CHARAKTERYSTYKA STABILIZATORA LF33CV

Zastosowano liniowy stabilizator LDO LF33CV (3,3 V, THTO220). Pomiary oscyloskopowe przedstawione na **Rys. 9.2.** wykazały, że napięcie z pinu 3,3 V przed regulatorem wahało się w zakresie 3,10–3,30 V, natomiast po regulacji utrzymuje się na poziomie ok. 3,27 V.



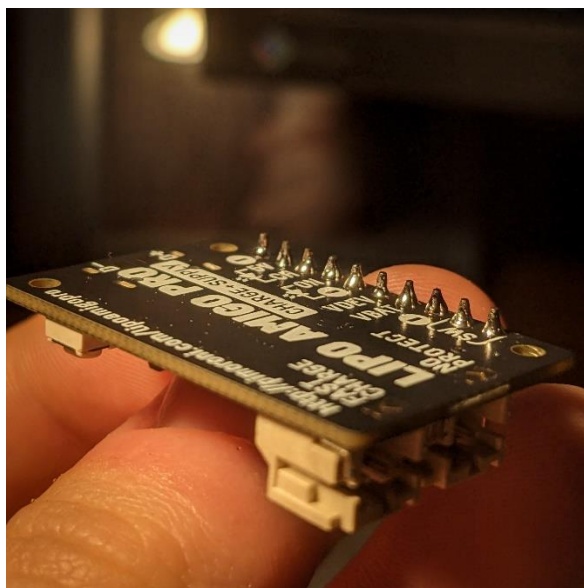
Rys. 9.2. Pomiar oscyloskopowy napięcia. [opracowanie własne]

9.4.3. WERYFIKACJA ZASILANIA BATERyjNEGO I UKŁADU ŁADOWANIA

Dane z zasobów internetowych wykazują sprzeczne wartości; rzeczywisty pobór prądu przez czujnik MiCS-5524 został zmierzony na poziomie około 30 mA, zamiast 7 mA deklarowanych w niektórych źródłach.

Przeprowadzone testy potwierdziły prawidłowe funkcjonowanie układu zasilania z akumulatora Li-Pol 3,7 V oraz procesu jego ładowania, bez zauważalnych zakłóceń w stabilności pracy prototypu. Wykorzystujemy ładowarkę LiPo Amigo Pro, do której konieczne było przylutowanie złącz typu goldpin (raster 2,54 mm), które zapewniają stabilne połączenie elektryczne z pozostałymi elementami układu. Proces lutowania został wykonany ręcznie z użyciem standardowej cyny bezołowiowej oraz stacji lutowniczej z regulacją temperatury. Zastosowanie goldpinów umożliwiło szybkie i wielokrotne podłączanie modułu w trakcie

testów oraz zapewniło stabilność mechaniczną i poprawne przewodzenie sygnałów elektrycznych. Na **Rys. 9.3.** zostały przedstawione gotowe luty.



Rys. 9.3. Luty goldpinów do ładowarki. [opracowanie własne]

Dopiero po wykonaniu tej czynności możliwe było zintegrowanie ładowarki z układem oraz dalsze testowanie ładowania ogniwa Li-Po.

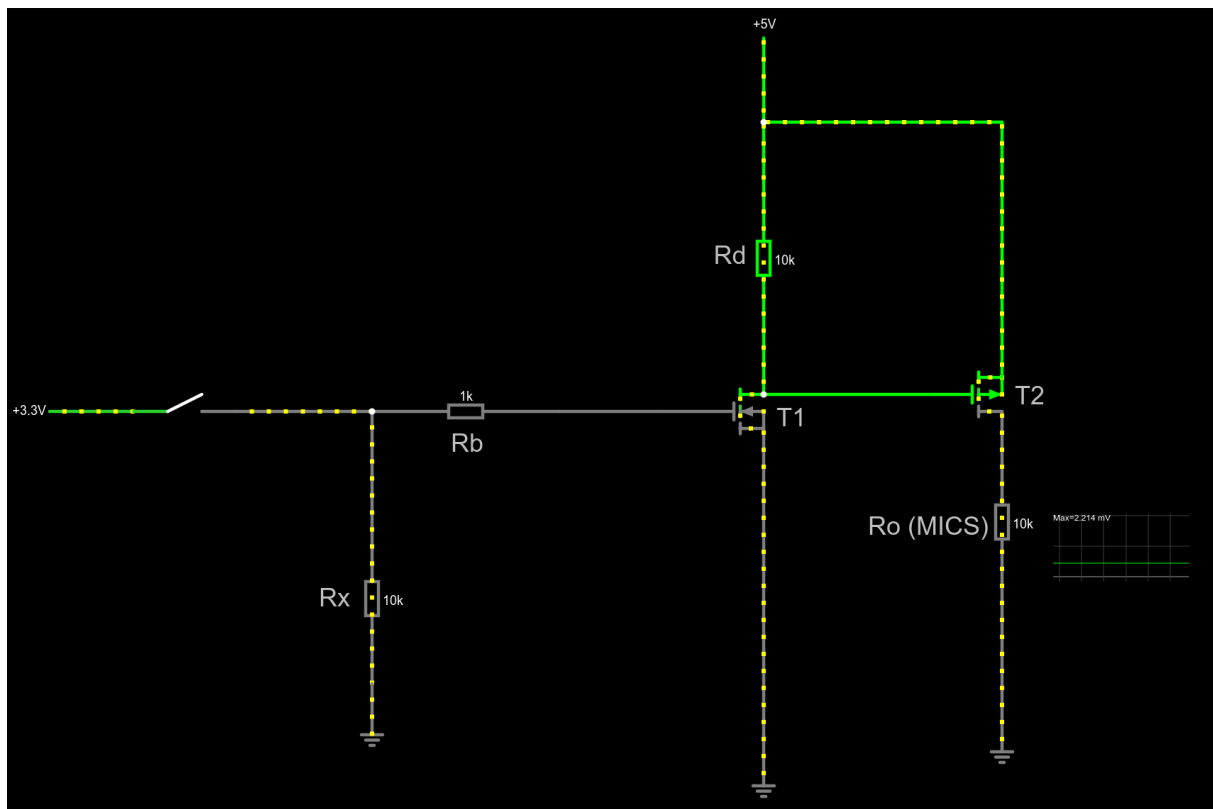
9.4.4. POMIAR I OPTYMALIZACJA POBORU PRĄDU

9.4.4.1. TRYB AKTYWNY

W trybie aktywnym urządzenie przeprowadza pełen cykl pomiarowy oraz analizę danych. Maksymalny pobór prądu w tej fazie wynosi ok. **128 mA**, co wynika ze skumulowanego zużycia przez wszystkie aktywne komponenty.

9.4.4.2. WYŁĄCZENIE CZUJNIKA MiCS5524

W celu zaimplementowania funkcji usypiania czujnika MICS5524, konieczne jest podanie napięcia 5 V. Ze względu na fakt, że mikrokontroler Raspberry Pi Pico 2W pracuje w logice 3,3 V, zaprojektowaliśmy układ przełączający oparty o tranzystory MOSFET przedstawiony na **Rys. 9.4.**, który umożliwia podanie stanu wysokiego (5 V) na wejście czujnika przy wykorzystaniu sygnału sterującego 3,3 V z mikrokontrolera. Rozwiązanie to zapewnia zgodność napięciową między układem sterującym a czujnikiem oraz umożliwia pełną kontrolę stanu uśpienia czujnika z poziomu Raspberry Pi Pico 2W.



Rys. 9.4. Schemat przełącznika tranzystorowego. [opracowanie własne]

Oznaczenia:

T1 – MOSFET typu N,

T2 – MOSFET typu P,

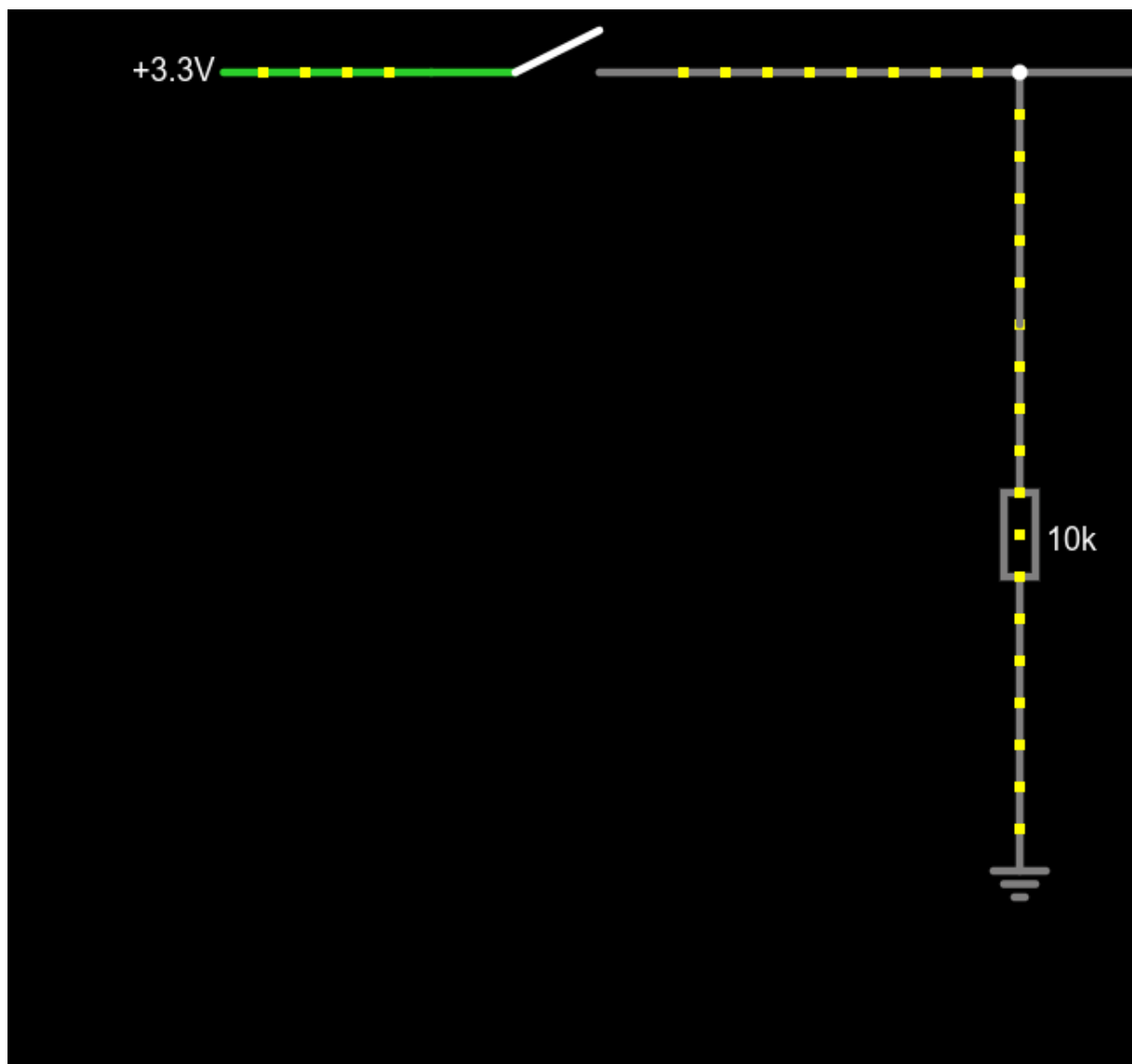
Rb - rezystor podłączony między bramkę T1 a napięcie sterujące tą bramką, ograniczający prąd idący na bramkę,

Rx – rezystor podłączony między napięcie sterujące bramką T1 a masę,

Rd – rezystor podłączony między potencjał 5V a dren tranzystora T1,

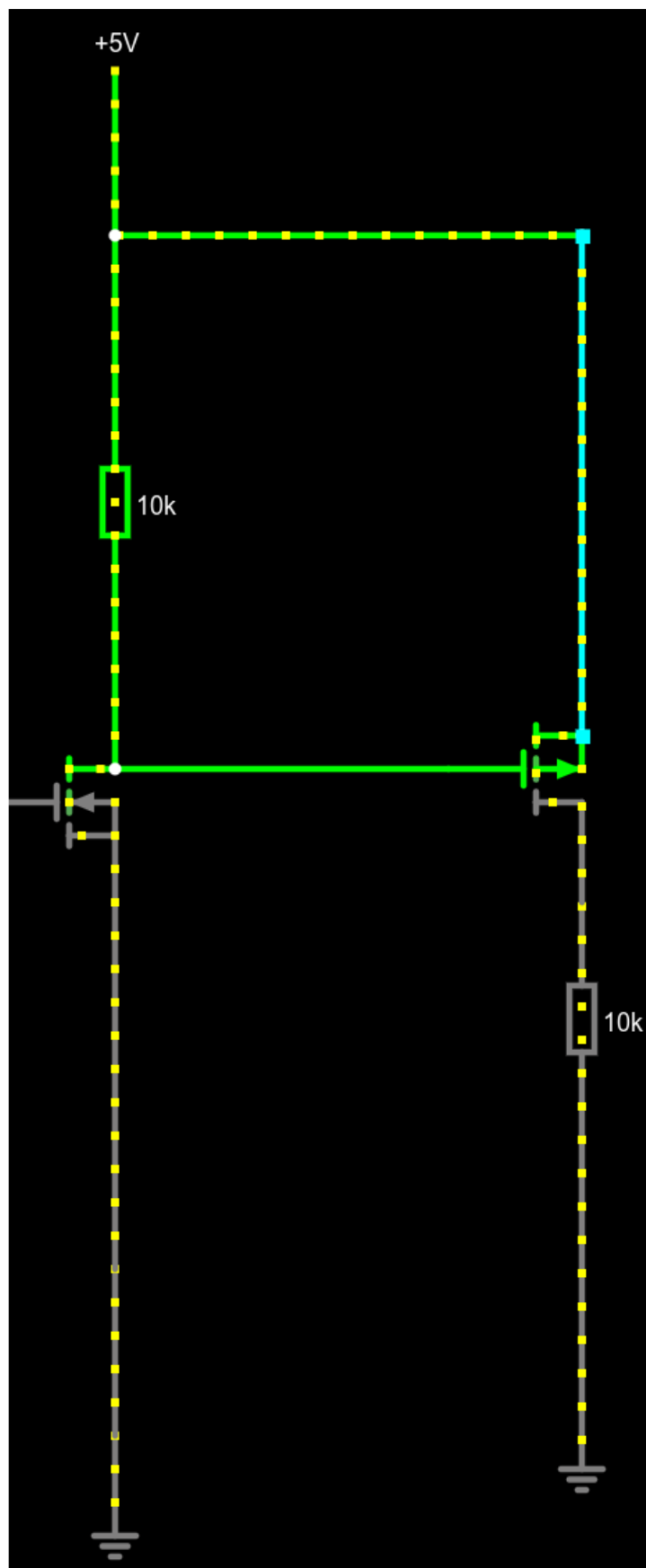
Ro – rezystor symulujący czujnik MICS, podłączony między dren a masę tranzystora T2.

Ponieważ złącze bramka - źródło przedstawione na **Rys. 9.5.** ma pewną pojemność, do przewodu idącego do bramki tranzystora T1 podpięliśmy rezystor Rx = 10k idący do masy, aby go rozładowywać (w przypadku wystąpienia nieustalonego stanu na bramce tranzystora). W przeciwnym razie mogłoby dojść do sytuacji, w której „przerwalibyśmy” zasilanie 3,3 V, zaś dalej podawalibyśmy 5 V na czujnik – przełącznik nie zmieniałby swojego stanu.



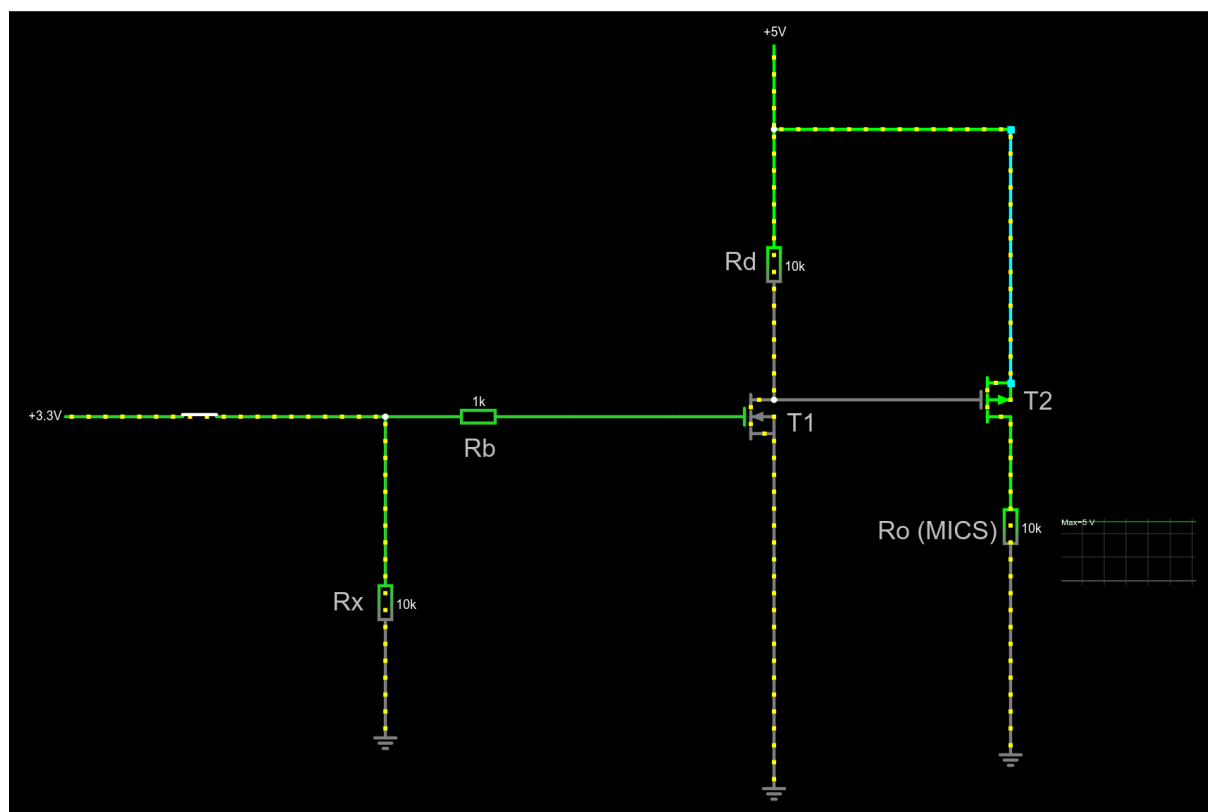
Rys. 9.5. Złącze bramka – źródło. [opracowanie własne]

Przy braku napięcia na bramce tranzystora T1, potencjał pomiędzy drenem, a źródłem tego tranzystora wynosi 5 V. Dren MOSFET'a T1 podłączamy bezpośrednio do bramki tranzystora T2, a potencjał 5 V do jego (T2) źródła. Tym samym w sytuacji na **Rys. 9.6.** (gdy przełącznik jest wyłączony), różnica w napięciu pomiędzy bramką tranzystora T2, a jego źródłem wynosi około 0V – pozostaje więc on w stanie odcięcia (napięcie doprowadzane do czujnika (R_o) jest ~ 0 V).



Rys. 9.6. Układ przy wyłączonej przełączniku. [opracowanie własne]

Przy ustawieniu pinu (pin 21) na stan wysoki, tranzystor T1 (którego prąd drenu ogranicza rezystor R_d) wchodzi w stan nasycenia. Tym samym na bramce tranzystora T2 pojawia się bardzo niewielkie napięcie, podczas gdy na jego źródle dalej jest potencjał 5 V. Tym samym T2 otwiera się i na czujniku MiCS (w naszej symulacji to rezystor 10 k Ω podłączony między dren T2 a masę) pojawia się 5 V – czujnik wchodzi w stan uśpienia, co przedstawiliśmy na **Rys. 9.7**.



Rys. 9.7. Układ przy wejściu czujnika w stan uśpienia. [opracowanie własne]

Wyłączenie czujnika MiCS5524 poprzez odcięcie jego zasilania za pomocą układu tranzystorowego pozwala zmniejszyć całkowity pobór prądu układu o około **~30 mA**. To istotna oszczędność w trybie czuwania, która znacząco wydłuża czas pracy urządzenia na baterii, zwłaszcza że czujnik nie musi być aktywny przez cały czas.

9.4.4.3. TRYB UŚPIENIA UKŁADU

W trybie uśpienia układ minimalizuje aktywność mikrokontrolera oraz większości komponentów, ograniczając średni pobór prądu do około **~28,94 mA**. W tym stanie zasilane są jedynie niezbędne elementy utrzymujące gotowość do wybudzenia układu, co pozwala znacząco wydłużyć czas pracy na zasilaniu bateryjnym.

9.4.5. TESTOWANIE DZIAŁANIA CZUJNIKA UV

W procesie testowania wziął udział czujnik światła ultrafioletowego - analogowy moduł - Waveshare 9537. W celu sprawdzenia jego działania skonstruowany został krótki kod napisany w μ Pythonie zaimplementowany na płytce Raspberry Pi Pico. Do testów została wykorzystana ta płytka ze względu na wbudowany w niej przetwornik ADC niezbędny do pomiarów przy użyciu tego czujnika.

Program zwracał wartości od 0 do 65535 w zależności od wykrywanego światła UV (im większa wartość zwrócona tym większe wykryte światło) oraz wartości napięcia od 0 do 3.3V.

W procesie testowania sprawdzone zostały płomień (2-3 cm oraz 10-15 cm), żarówki ledowe oraz żarówki halogenowe. Testowanie miało miejsce w dzień (widoczne słońce) oraz noc (niewidoczne słońce).

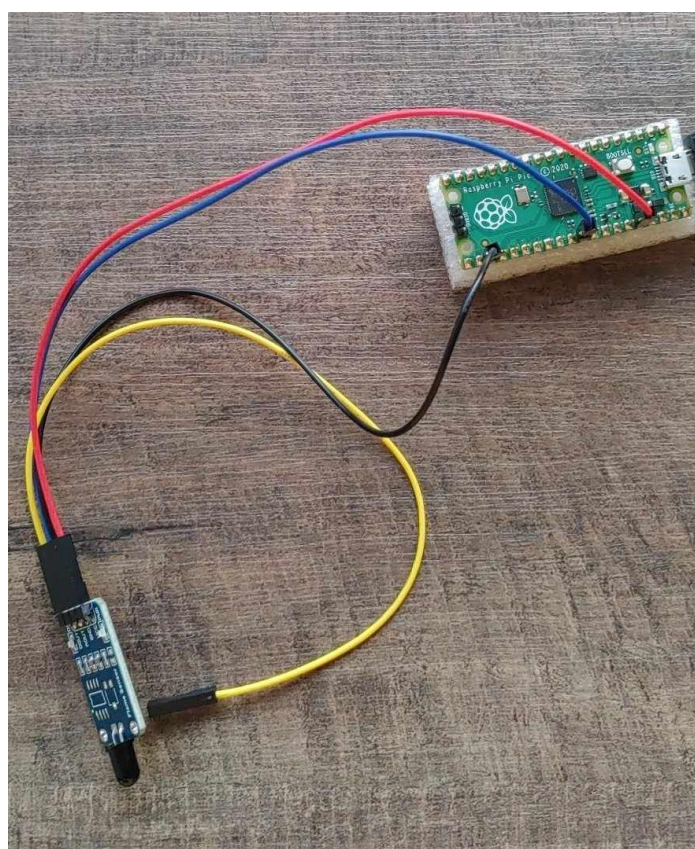
Zarówno w dzień jak i w noc czujnik bez ingerencji innych źródeł światła zwracał wartość między 0 a 50. Po zbliżeniu płomienia do czujnika w różnych odległościach, wartości wykrywane nie zmieniały się (zarówno w trakcie palenia, a także element zapłonu). Po zbliżeniu do żarówek czujnik zmieniał wartość między 200 a 300.

Jak widać znaczącą zmianę dało się zaobserwować w trakcie zbliżania do żarówki, a nie do płomienia. Na dodatek zmiana ta nie była wielka (była obserwowalna).

Z tego względu uznane zostało, że czujnik ten nie jest wart dalszego wykorzystania.

9.4.6. TESTOWANIE CZUJNIKA PŁOMIENIA

W procesie testowania wziął udział czujnik płomienia 760 – 1100 nm - analogowy - Waveshare 9521 przedstawiony na **Rys. 9.8**. W celu sprawdzenia jego działania skonstruowany został krótki kod w MicroPythonie zaimplementowany na płytce Raspberry Pi Pico. Do testów została wykorzystana ta płytka ze względu na wbudowany w niej przetwornik ADC niezbędny do pomiarów przy użyciu tego czujnika.



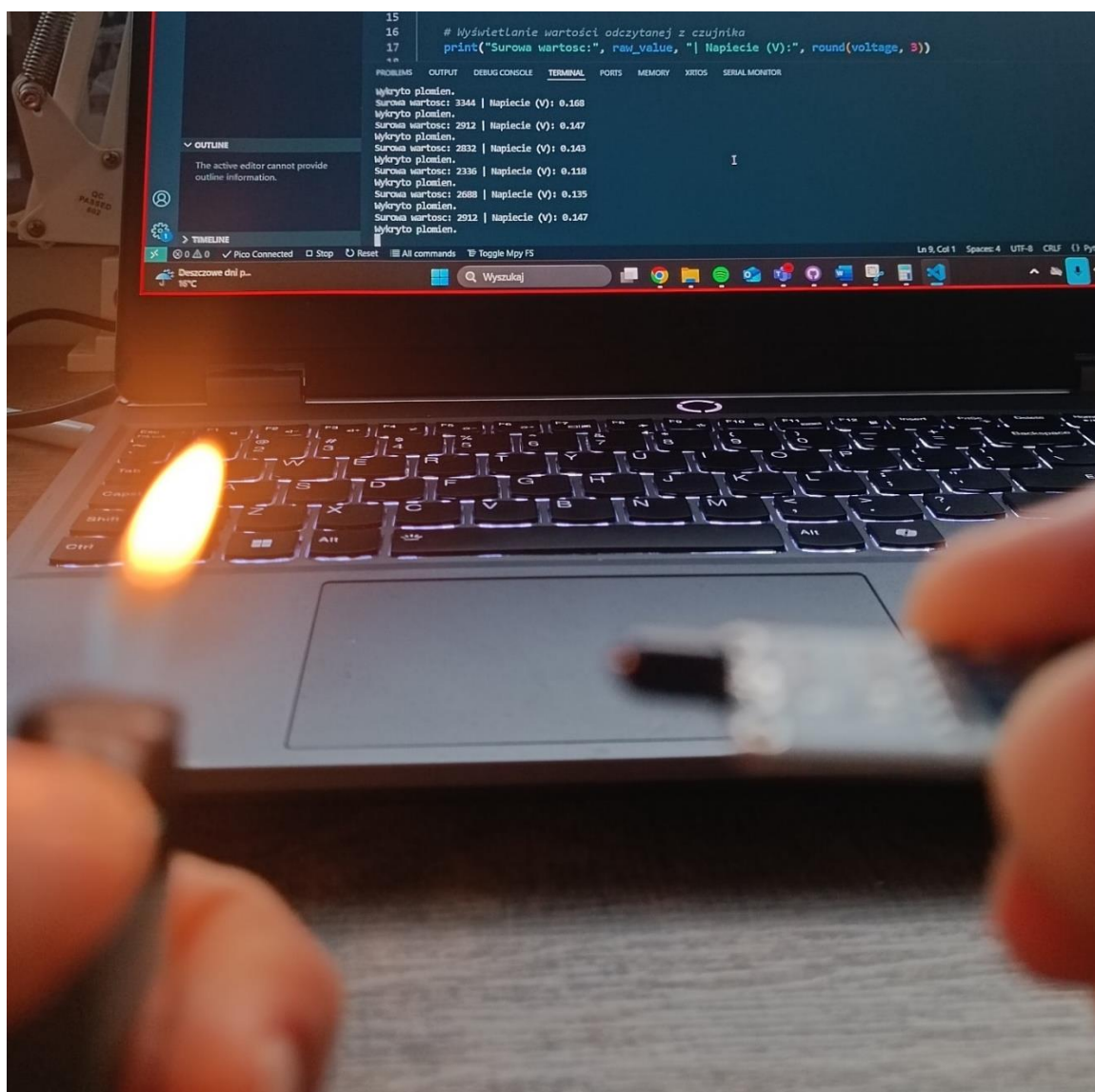
Rys. 9.8. Podłączany czujnik płomienia do testowania. [opracowanie własne]

Program zwracał wartości od 0 do 65535 w zależności od wykrywanego światła (Ważne! Im mniejsza wartość zwrócona tym bliżej (dokładniej) wykryty płomień) oraz wartości napięcia od 0 do 3,3V.

W procesie testowania sprawdzony został płomień (2 - 3 cm oraz 10 - 15 cm), żarówki ledowe oraz żarówki halogenowe. Testowanie miało miejsce w dzień (widoczne słońce) oraz noc (niewidoczne słońce).

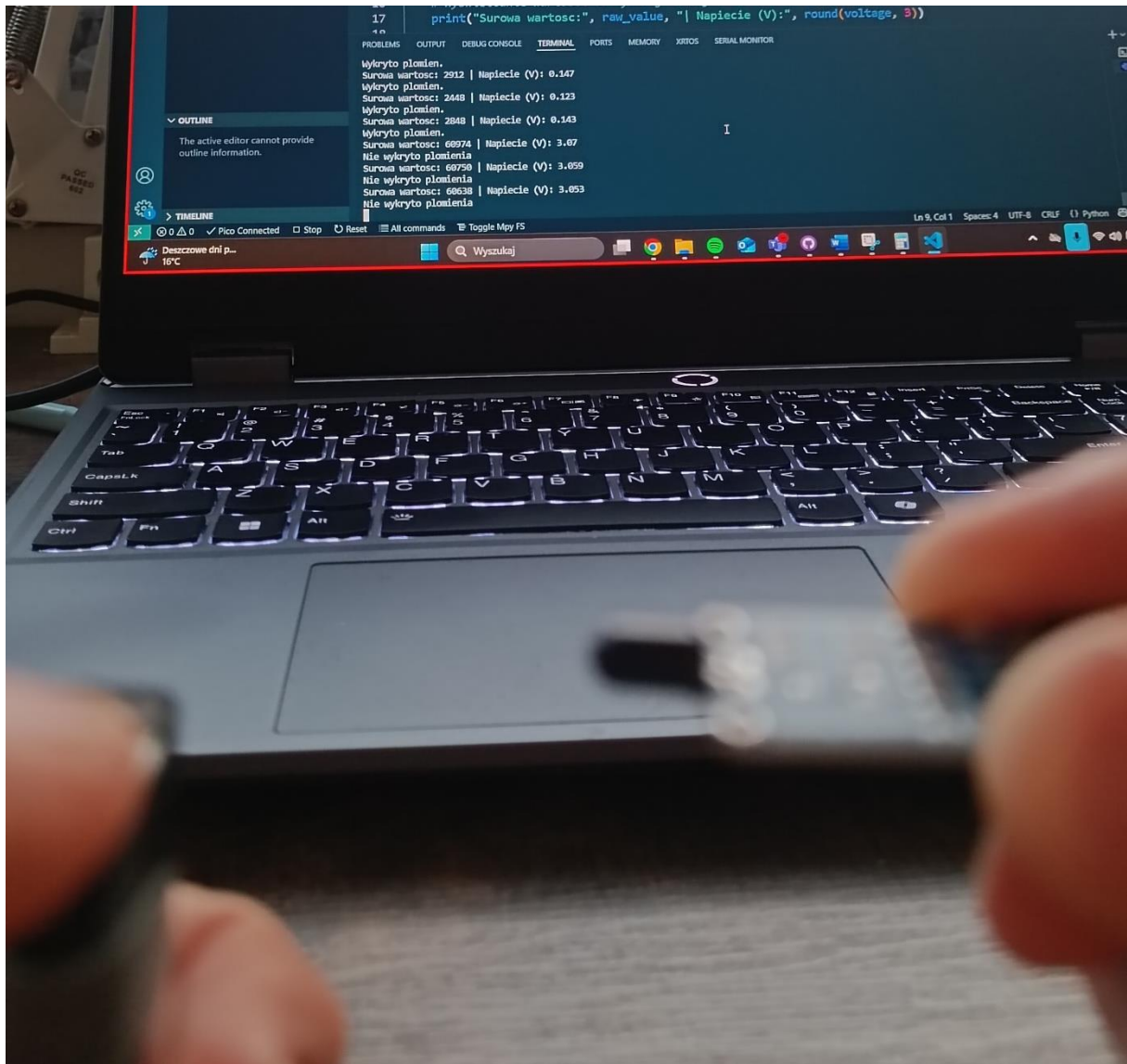
Zarówno w dzień jak i w noc czujnik bez ingerencji innych źródeł światła zwracał wartość maksymalną między 3 a 3,3 V. Czujnik nie wykrywał światła zapalanego w pokoju jako płomienia.

Najpierw przebadany został mały płomień (2 - 3 cm) – **Rys. 9.9**. Widać, że wartości oscylują w przedziale 0,11 – 0,17V. Płomień po zbliżeniu do czujnika na mniej więcej 20 - 30 cm zostawał wykrywany przez czujnik, odczyt zmieniał się na wartość bliską 0V (zdarzają się nieregularne uskoki do 0,5V) oraz na czujniku zapalała się czerwona dioda informująca o wykryciu płomienia.



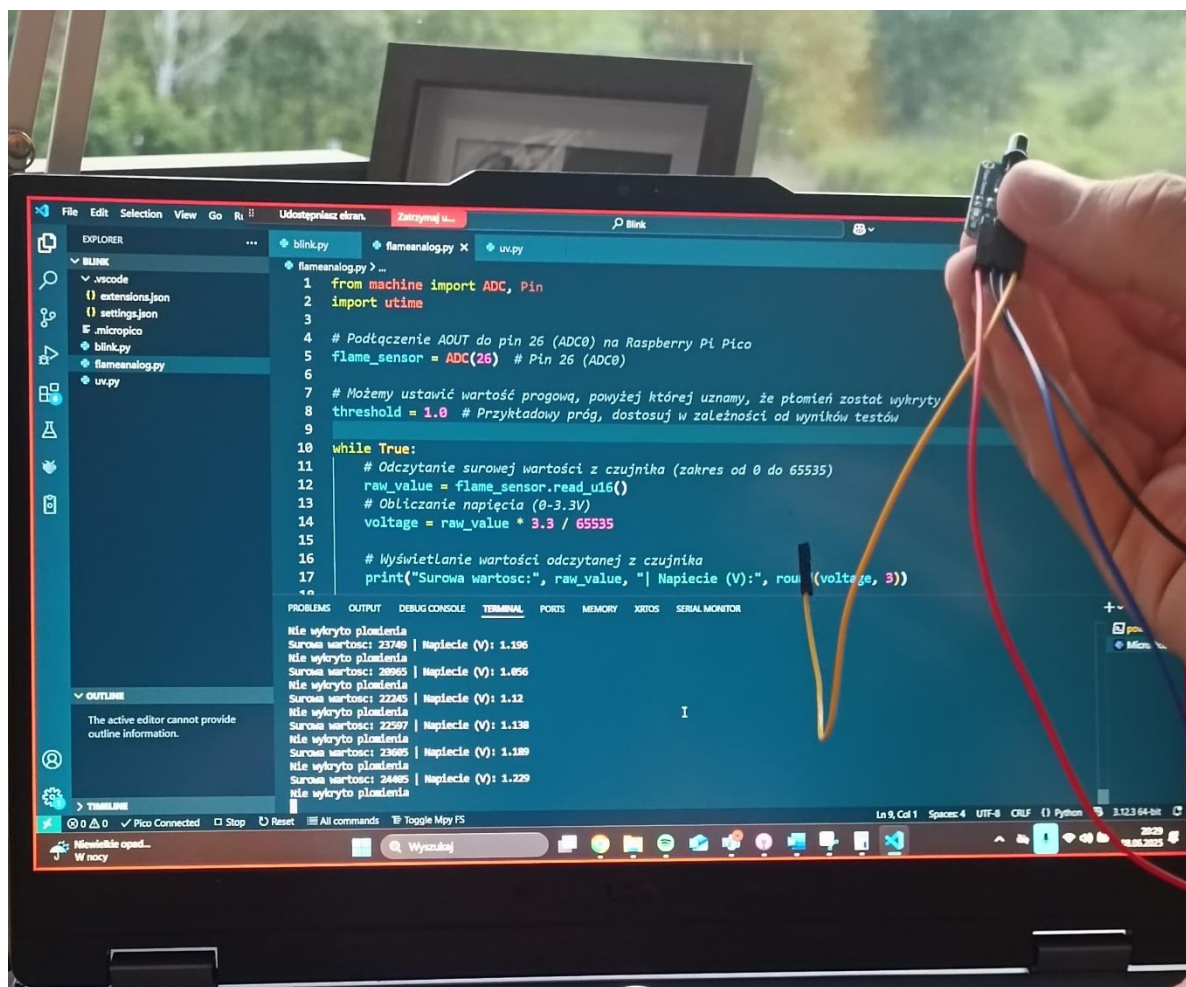
Rys. 9.9. Testowanie czujnika płomienia blisko zapalniczki (ok. 5 cm). [opracowanie własne]

Na **Rys. 9.10.** widać, że po wyłączeniu zapalniczki, wartości napięcia wracają do poprzedniego stanu i wskazują wartości powyżej 3V (stan niewykrytego płomienia).



Rys. 9.10. Testowanie czujnika płomienia bez zapalniczki. [opracowanie własne]

Na **Rys. 9.11.** widać, że po przekroczeniu wartości około 30 cm o niedużą odległość, wartości zaczynają szybko wzrastać. Pokazuje to, że niewielkie ustępstwa od wartości granicznej powodują znaczne zmiany w wartościach zwracanych przez czujnik, co bardzo ogranicza jego możliwości.



Rys. 9.12. Czujnik płomienia zwrócony w kierunku okna – testowanie. [opracowanie własne]

Te dane pokazują, że wykorzystanie takiego czujnika miałoby sens, w przypadku implementacji tego modułu w zamkniętym pomieszczeniu (bez okien), bądź w ramach weryfikacji punktowej występowania płomienia (np. przy kuchence gazowej gdzie promienie światła nie dochodzą).

Można by również korzystać z tego wykrywacza płomieni jako końcowy krok weryfikacji, czy reszta czujników poprawnie wykryła płomień. Niestety takie zastosowanie nie omija niezadowolających rezultatów uzyskanych z testowania tego czujnika (wykrywanie okna a nie pożaru).

Jeszcze innym pomysłem byłaby weryfikacja czy czujnik skierowany jest na okno czy nie. Jeżeli nie jest skierowany bądź jest ciemno na dworze, możnaby z tego czujnika skorzystać choć wyniki nadal będą bardzo ograniczone. Dla czujnika skierowanego na okno, nie wykryje on pożaru.

Dla każdego badanego obiektu (płomień oraz żarówka) wraz z oddalaniem malała odczytywana wartość napięcia aż do momentu osiągnięcia momentu "łapania", tj. około 10 cm od czujnika (wtedy czujnik przestawał wykrywać obecność i zwracał 0V).

Wadą tego czujnika jest również wąski kąt wykrywania (ok 30°) oraz fakt, że czujnik lepiej wykrywał w poziomie niż w pionie (na boki trochę łapał, w dół i w górę nie łapał).

W celu wykorzystania czujnika należałoby przebadać jego działanie na dużych płomieniach, dużo większych niż te przebadane, oraz innych źródłach światła. Dodatkowo trzeba by wykorzystać większą ilość tych czujników, aby monitorować większy teren.

9.5. POMIARY I OPTIMALIZACJA POBORU PRĄDU Z PPK2

W niniejszej sekcji zaprezentowano szczegółowy opis pomiarów poboru prądu oraz przeprowadzonych optymalizacji. Wszystkie pomiary wykonano przy użyciu narzędzia **Nordic Power Profiler Kit 2 (PPK2)** w konfiguracji pośredniczącej pomiędzy akumulatorem a układem Raspberry Pi Pico 2W.

9.5.1. KONFIGURACJA SPRZĘTU Z PPK2

Poniżej przedstawiono szczegóły połączeń i metodyki pomiarowej:

- +device z ładowarki odpięto od VSYS z Pico i podpięto do VIN PPK.
- Wyjście VOUT z PPK2 podłączono do wejścia VSYS Pico 2W.
- Przyłączono wspólne masy (GND) pomiędzy ładowarką, PPK2 oraz płytką Pico.
- PPK2 podłączono do portu USB komputera, umożliwiając rejestrację i wizualizację pobieranego prądu w czasie rzeczywistym.

9.5.2. OPROGRAMOWANIE I WERYFIKACJA DZIAŁANIA PPK2

Dla pracy z PPK2 wykorzystano aplikację nRF Connect for Desktop [32], co pozwoliło na konfigurowanie parametrów pomiarowych oraz zbieranie logów prądowych.

9.5.3. ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW

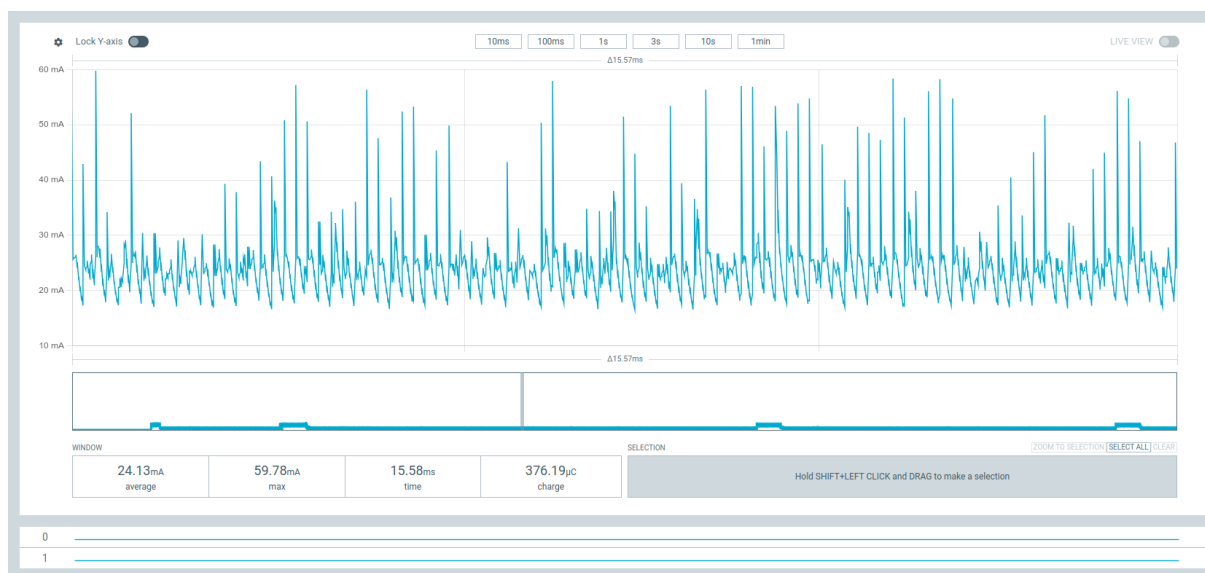
Wyniki pomiarów poboru prądu z podłączonymi czujnikami przedstawiliśmy na **Rys. 9.13**.



Rys. 9.13. Wyniki pomiarów poboru prądu. [opracowanie własne]

Średni pobór prądu w trakcie działania urządzenia to około **29 mA**, a maksymalny podczas robienia pomiarów wynosi około **129 mA**. Według naszych obliczeń, układ ten wytrzyma około 5 dni, co spełnia założenia projektowe.

Na **Rys. 9.13.** powyżej wygląda jakby pobór prądu był mniej więcej ustabilizowany na około 60 mA (podczas nie wykonywania pomiarów), jednakże jest to złudzenie i po powiększeniu wykresu na **Rys. 9.14.** widać, że są to różne wartości z zakresu $\approx 17 - 60$ mA.



Rys. 9.14. Powiększony odcinek pomiaru poboru prądu. [opracowanie własne]

W **Tab. 9.9.** zestawiliśmy średnie wartości poboru prądu poszczególnych komponentów układu w trybie aktywnym oraz uśpienia, co pozwala zidentyfikować najbardziej energochłonne moduły (np. czujnik MiCS-5524 i ADS1115) oraz określić elementy, które warto wyłączyć lub wprowadzać w stan niskiego poboru dla optymalizacji zużycia energii.

Tab. 9.9. Pomiary średniego poboru prądu poszczególnych komponentów.

Element	Średni prąd w trakcie działania [mA]	Średni prąd w stanie spoczynku [µA]
Przetłącznik z tranzystorów	1	1000
Czujnik MiCS-5524	30	10
Czujnik BME680	7-8	150
Konwerter ADC (ADS1115)	13	200
Czujnik GP2Y1010AU0F (dym/pył)	12-15	1000
STEP-UP	1	1000
PICO 2W	20+	20000+
PICO 2W	20+	20000+

9.6. UKŁAD PODŁĄCZENIA KOMPONENTÓW W PROJEKCIE

9.6.1. WYŚWIETLACZ E-PAPER

- **SPI0:**
 - GP10 (SCK) → SCK wyświetlacza
 - GP11 (MOSI) → DIN wyświetlacza
- **Piny sterujące:**
 - GP12 → RST (Reset)
 - GP8 → DC (Data/Command)
 - GP9 → CS (Chip Select)
 - GP13 → BUSY (Status)

9.6.2. CZUJNIK BME680

- **I2C0:**
 - GP4 (SDA) → SDA BME680
 - GP5 (SCL) → SCL BME680
- **Zasilanie:** 3,3V i GND

9.6.3. CZUJNIK GP2Y1010AU0F

- **PWM LED:**
 - GP22 → LED (sterowanie diodą IR)
- **Analogowy output:**
 - AOUT → A0 ADS1115

9.6.4. CZUJNIK MICS-5524

- **Sterowanie zasilaniem:**
 - GP21 → EN (włączanie czujnika)
- **Analogowy output:**
 - Ao → A3 ADS1115

9.6.5. ADS1115 (PRZETWORNIK ADC)

- **I2C1:**
 - GP18 (SDA) → SDA ADS1115
 - GP19 (SCL) → SCL ADS1115
- **Kanały analogowe:**
 - A0 → Czujnik Pyłu
 - A2 → Pomiar baterii VBAT ładowarki przez dzielnik napięcia ~0.8
 - A3 → Czujnik Gazów MICS-5524 przez dzielnik napięcia ~0.8
- **Zasilanie:** 3,3V i GND

9.6.6. POMIAR BATERII

- **Dzielnik napięcia:**
 - VBAT → dzielnik napięcia ~0.8 → A2 ADS1115

9.6.7. BUZZER

- **PWM:**
 - GP0 → + Buzzera
- GND → masa Buzzera

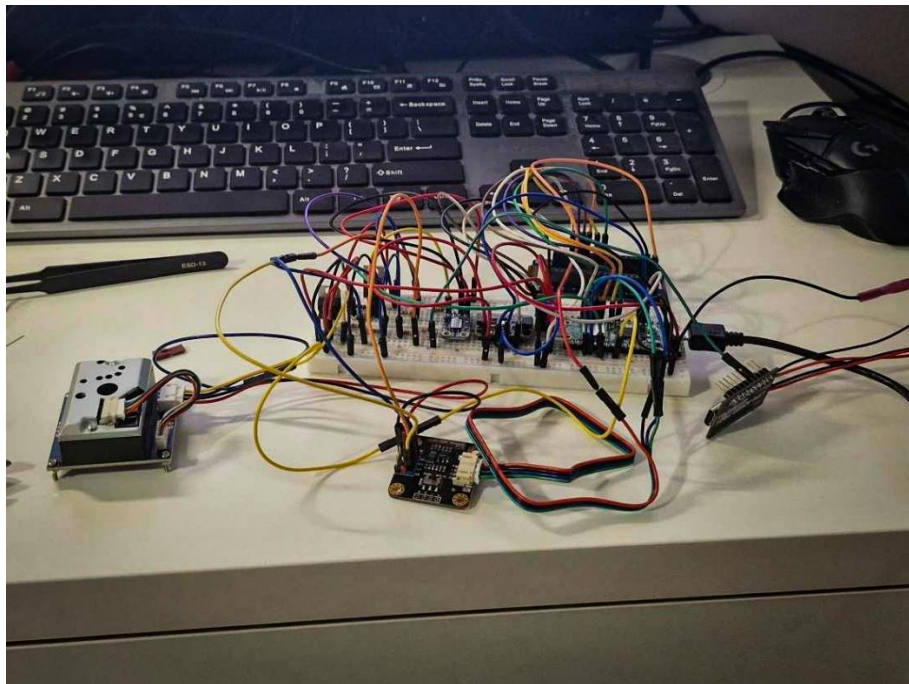
9.6.8. ZASILANIE

- Napięcie baterii – VSYS
- VSYS – stabilizator (3V3)
- 3V3 – czujniki GP2Y, BME680 i ADS1115
- VSYS – przetwornica STEP-UP (5V)
- 5V – MICS5524
- 5V – dren tranzystora T1.

9.6.9. Przełącznik

- GP21 – bramka T1

Po podłączeniu wszystkich modułów, nasz zbudowany układ został przedstawiony na **Rys. 9.15**.



Rys. 9.15. Układ z podłączonymi wszystkimi czujnikami i modułami. [opracowanie własne]

10. OPIS OPROGRAMOWANIA

10.1. OGÓLNA ARCHITEKTURA SYSTEMU

System składa się z modułów obsługujących różne czujniki środowiskowe (gazów, temperatury, wilgotności, pyłu), wyświetlacz e-paper oraz funkcje alarmowe. Główny program (`main.py`) koordynuje pracę wszystkich komponentów, okresowo odczytuje dane z czujników i aktualizuje wyświetlacz. System został zaprojektowany do pracy na mikrokontrolerze Raspberry Pi Pico 2W i został napisany w języku MicroPython. Całość została zaprojektowana tak, aby bardzo łatwo było ją rozbudowywać o nowe komponenty. Każdy element urządzenia, który wymagał oprogramowania ma swój osobny moduł.

10.2. OPIS PLIKÓW

10.2.1. MODUŁ USŁUGI PRZETWORNIKA ADC (ADS1115)

W naszym systemie za moduł obsługi przetwornika ADC odpowiada plik **`adconv.py`**.

Klasa `ADCReader`:

- inicjalizuje komunikację I2C z przetwornikiem ADS1115,
- udostępnia metody do odczytu wartości z kanałów ADC:
 - `read_value (channel)` - odczyt surowej wartości z wybranego kanału (0-3)
 - `val_to_voltage (val)` - konwersja odczytu ADC na napięcie
- automatycznie wykrywa adres urządzenia na szynie I2C,
- obsługuje konfigurację rejestrów przetwornika dla poszczególnych kanałów.

10.2.2. MODUŁ DO BATERII

Plik **`batt.py`** jest modułem wykorzystywanym do monitorowania stanu baterii. Zawiera on **klasę `Battery`**, która:

- wykorzystuje `ADCReader` do pomiaru napięcia baterii,
- zawiera tablicę `BATTERY_DATA` mapującą napięcia na procent naładowania,
- metody:
 - `read_voltage()` - odczytuje i przelicza napięcie baterii
 - `voltage_to_percentage()` - konwertuje napięcie na procent naładowania z interpolacją między punktami charakterystyki

10.2.3. MODUŁ OBSŁUGI CZUJNIKA BME680

Plik **`bme680.py`** odpowiada za obsługę czujnika BME680 i zawiera dwie klasy:

1. Klasa `Adafruit_BME680`:

- bazowa implementacja obsługi czujnika,
- zawiera algorytmy kalibracji i przeliczania surowych odczytów na wartości fizyczne,
- udostępnia właściwości:
 - temperature, pressure, humidity, gas, altitude
- automatyczna kompensacja temperaturowa.

2. Klasa BME680_I2C:

- implementacja komunikacji przez I2C,
- dziedziczy z Adafruit_BME680, implementuje metody `_read` i `_write`.

10.2.4. MODUŁ OBSŁUGI MiCS-5524

Moduł obsługi czujnika gazów DFRobot MICS-5524 zawiera dwie klasy:

1. Klasa DFRobot_MICS:

- bazowa implementacja obsługi czujnika,
- zawiera algorytmy detekcji i pomiaru stężeń różnych gazów,
- metody:
 - `get_gas_ppm(gas_type)` - zwraca stężenie gazu w ppm
 - `get_gas_exist(gas_type)` - sprawdza obecność gazu
 - `warm_up_time(minute)` - procedura kalibracji

2. Klasa DFRobot_MISC_ADC:

- implementacja dla wersji czujnika z wyjściem analogowym,
- wykorzystuje ADCReader do odczytu wartości,
- zarządza zasilaniem czujnika przez pin GPIO

10.2.5. MODUŁ OBSŁUGI CZUJNIKA PYŁU ZAWIESZONEGO

Moduł `dustsensor.py` odpowiada za obsługę czujnika pyłu zawieszonego. Zawiera on klasę `Dust`, która:

- wykorzystuje ADCReader do odczytu sygnału
- implementuje filtr uśredniający odczyty (`Filter()`)
- metoda `dust_concentration()`:
 - Steruje diodą IR czujnika
 - Przelicza odczyt ADC na stężenie pyłu w $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - Uwzględnia napięcie referencyjne i charakterystykę czujnika

10.2.6. MODUŁ OBSŁUGI WYŚWIETLACZA E-PAPIEROWEGO

Plik ***picoepaper2in13v4.py*** to moduł odpowiadający za obsługę wyświetlacza e-papierowego 2.13". Zawiera **klasę** ***EPD_2in13_V4_Portrait*** oraz **klasę** ***EPD_2in13_V4_Landscape***, które zawierają:

- implementacja niskopoziomowej komunikacji z wyświetlaczem,
- obsługa bufora ramki (framebuf),
- funkcje:
 - inicjalizacja i reset
 - czyszczenie ekranu
 - wyświetlanie tekstu i grafiki
 - zarządzanie energią (tryb uśpienia)
- optymalizacje dla różnych orientacji ekranu.

10.2.7. MODUŁ GENEROWANIA DŹWIĘKÓW ALARMOWYCH

Plik ***ring.py*** to moduł, który odpowiada za generowanie dźwięków alarmowych przez wykorzystywany przez nas Buzzer. Zawiera on **klasę** ***EarTorture***, który:

- wykorzystuje PWM do generowania dźwięków,
- zawiera zdefiniowane melodie alarmowe (słownik melodies),
- metoda `playMelody(key)` - odtwarza wybraną melodię,
- sterowanie głośnością przez zmianę wypełnienia PWM.

10.2.8. GŁÓWNY PROGRAM SYSTEMU

Plik ***main.py*** to główny program systemu i zawiera **klasę** ***Device***, która:

- integruje wszystkie moduły czujników,
- zarządza okresowym odczytem danych (timer),
- implementuje logikę wyświetlania i alarmów,
- główne funkcje:
 - `display()` - aktualizacja wyświetlacza
 - `sensorsCallback()` - odczyt wszystkich czujników
 - `changed()` - wykrywanie istotnych zmian wartości
 - `play_alarm()` - aktywacja alarmu

- zawiera progi alarmowe dla różnych parametrów.

10.3. INTERAKCJE MIĘDZY MODUŁAMI

10.3.1. STRUKTURA PRZEPŁYWU DANYCH

W naszym przypadku struktura przepływu danych wygląda tak, że:

- *main.py* koordynuje pracę całego systemu
- ADCReader (*adconv.py*) służy jako wspólny interfejs do odczytu analogowego dla:
 - czujnika baterii (*batt.py*)
 - czujnika pyłu (*dustsensor.py*)
 - czujnika gazów (*DFRobot_MICS.py*)
- Czujnik BME680 komunikuje się bezpośrednio przez I2C

10.3.2. CYKL PRACY

Podstawowe informacje o cyklu pracy naszego układu:

- Timer wywołuje okresowo metodę `display()`
- odczyt wszystkich czujników przez `sensorsCallback()`
- sprawdzenie istotnych zmian wartości (`changed()`)
- aktualizacja wyświetlacza tylko przy odczuwalnych zmianach
- aktywacja alarmu przy przekroczeniu progów

10.3.3. ZARZĄDZANIE ENERGIĄ

W naszym układzie:

- czujnik gazów MICS jest włączany tylko na czas pomiaru,
- wyświetlacz e-papierowy przechodzi w tryb uśpienia po aktualizacji,
- dioda czujnika pyłu włączana jest pulsacyjnie,
- BME680 przechodzi w stan uśpienia.

10.4. CHARAKTERYSTYKA DZIAŁANIA

System działa wykonując okresowe pomiary (co ~30 sekund). Wyświetlacz aktualizowany jest tylko gdy wystąpią istotne zmiany w odczytach, co minimalizuje pobór mocy. W przypadku wykrycia niebezpiecznych stężeń gazów, wysokiego poziomu pyłu lub innych zagrożeń, system aktywuje alarm dźwiękowy.

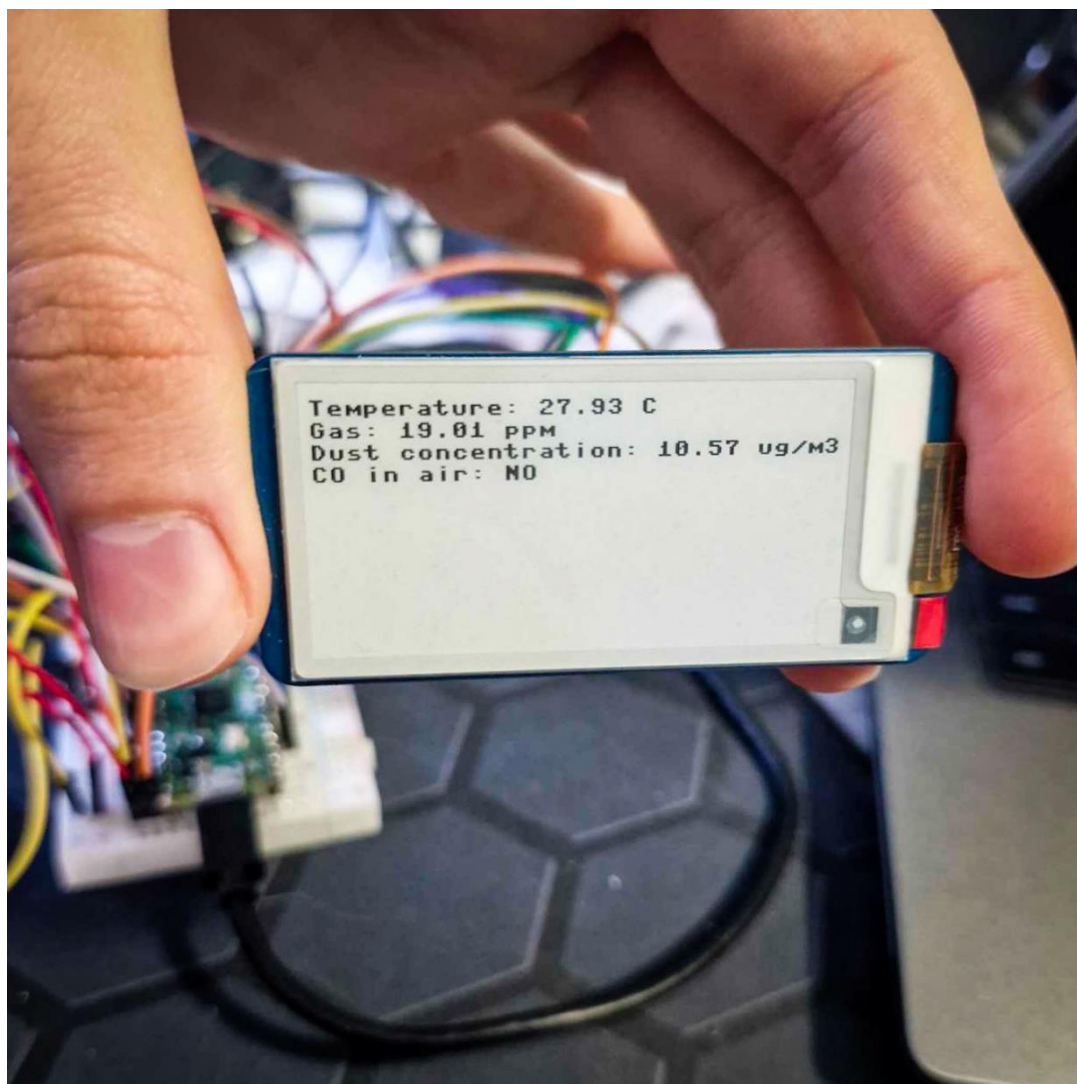
Modułowa budowa pozwala na łatwą wymianę lub dodanie nowych czujników. Bardzo łatwo jest rozbudować nasze urządzenie o dodatkową funkcjonalność. Czujnik MICS5524 również

dobrze co CO wykrywa gaz ziemny – co może przydać się chociażby w kotłowniach, ale również domowych kuchniach. Dzięki temu w jaki sposób został zaprogramowany system uruchamiania buzzera - łatwo jest dodać nowe melodie odpowiadające różnym ostrzeżeniom. Większość komponentów została zaprojektowana z myślą o niskim poborze mocy, co jest istotne w aplikacjach bateryjnych. Wykonujemy pomiary w minimalnym odstępie czasu, który pozwala powstrzymać ogień.

11. TESTOWANIE

11.1. TESTOWANIE W NORMALNYCH WARUNKACH

Po podłączeniu układu w warunkach neutralnych, możemy wyświetlać (**Rys. 11.1.**) wartości zwracane przez czujniki na naszym wyświetlaczu (ePaper). Jest na nim zawarta temperatura, gaz, stężenie pyłów zawieszonych oraz występowaniu czadu w powietrzu.



Rys. 11.1. Wyświetlanie mierzonych wartości na ePaperze. [opracowanie własne]

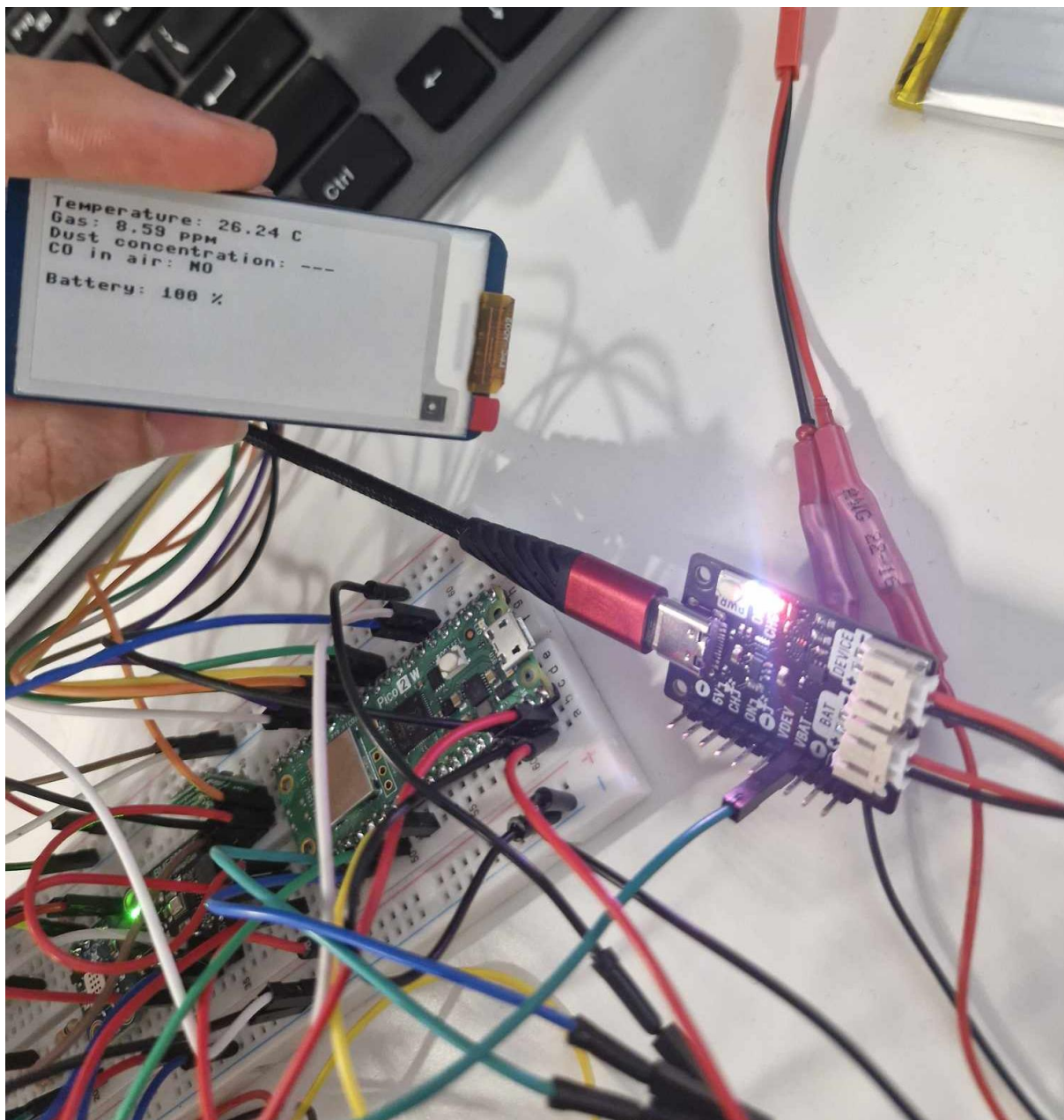
Jak widać, w bardzo ciepłym pomieszczeniu wskazał on temperaturę 27,93°C, stężenie gazu 19,01 ppm, stężenie pyłów 10,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i brak czadu.

Następnie napisaliśmy kod, dzięki któremu możemy wyświetlać także stopień naładowania baterii naszego urządzenia, co zostało przedstawione na **Rys. 11.2.**



Rys. 11.2. Dodana wartość naładowania baterii na ePaperze. [opracowanie własne]

Stan naładowania baterii wskazuje 80%. Po naładowaniu wskazywał 100%, co potwierdza działanie naszego programu, co przedstawiliśmy na **Rys. 11.3**.



Rys. 11.3. Bateria naładowana na 100%. [opracowanie własne]

11.2. TESTOWANIE ZE ŹRÓDŁEM OGNIA

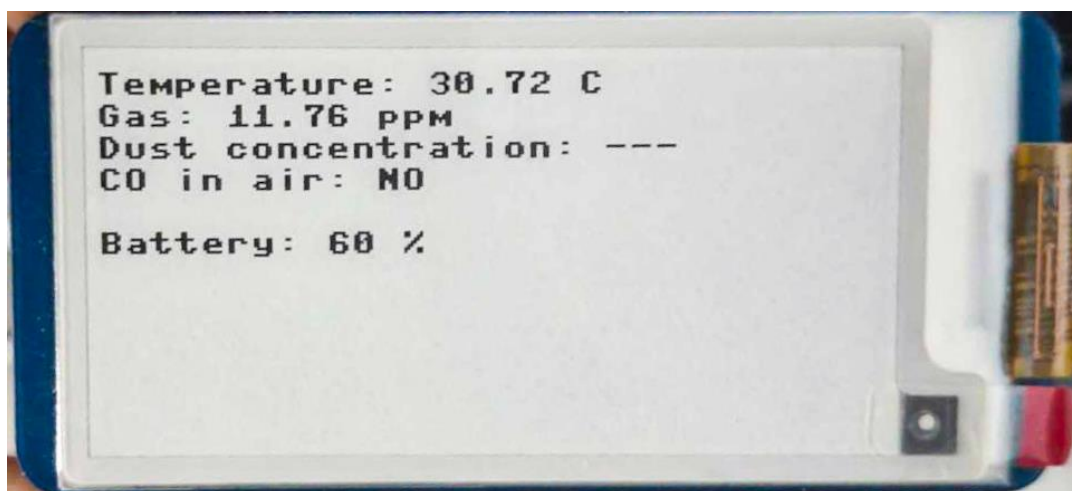
W celu zweryfikowania poprawności działania naszego skończonego urządzenia, wykonana została seria testów przy użyciu naszego sprzętu oraz źródła ognia.

W procesie testowania, sprawdzane były zmiany następujących wartości:

- temperatura,
- stężenie gazu,
- stężenie pyłów,
- czad w powietrzu,
- napięcie na baterii.

Do pierwszego testu wykorzystaliśmy świecę.

- Procedura:
 - Zapalono dużą świecę w pobliżu urządzenia.
 - Obserwowano zmiany wskazań temperatury, stężenia pyłów i gazu.
 - Zgaszono płomień, aby sprawdzić czułość czujnika dymu.
- Wyniki zostały przedstawione na **Rys. 11.4.**:



Rys. 11.4. Wyniki testowania całego układu ze świecą. [opracowanie własne]

Widzimy, że nastąpiły zmiany w odczycie:

- **Temperatura:** Wzrost o $\sim 4^{\circ}\text{C}$ w bliskim sąsiedztwie płomienia.
- **Gaz:** Wzrost do ~ 12 ppm
- **Pyły:** Bez zmian
- **Czad (CO):** Brak wykrycia
- Obserwacje i wnioski:

Urządzenie skutecznie wykrywa gaz i wzrost temperatury, ale zmiana wartości podczas gaszenia świeczki (napiecie) były na tyle małe, że na ekranie dalej wyświetlała się ta sama wartość „---”. W momencie testowania mikrokontroler był podłączony do komputera, na ekranie którego wyświetlane były wartości napięcia na pinie AOUT czujnika dymu. Pomimo interpretacji wyniku jako „---” przez program, napięcie wzrosło zauważalnie, około 10-cio krotnie do 0.1+V, aczkolwiek dalej nie przekraczając wartości 0.2V oznaczającą pojawienie się dymu (wartość podana przez producenta). Potwierdziło to działanie czujnika, a jednocześnie spełniło nasze założenie, aby dym z większych świec, tudzież papierosa, nie były interpretowane jako pożar. Poznaliśmy też czułość owego czujnika.

11.3. TESTOWANIE W KUCHNI

W pokoju, w neutralnych warunkach, nasze urządzenie zwracało wartości przedstawione na **Rys. 11.5.**



Rys. 11.5. Wartości zwracane w normalnych warunkach. [opracowanie własne]

Podczas testów zauważono, że gdy sąsiedzi gotowali, urządzenie rejestrowało **zmiany w stężeniu gazów** osiągając poziom ~60ppm, ale pozostałe wartości zostały bez zmian, co zostało przedstawione na **Rys. 11.6**.



Rys. 11.6. Wartości zwracane przy wydzielających się cząsteczek z kuchni sąsiadów. [opracowanie własne]

12. WNIOSKI

Utworzenie autonomicznego układu wykrywania pożaru pozwoliło nam na zdobycie wiedzy na temat integracji wielu różnych czujników w jeden moduł, oraz umiejętności konstruowania układów niewymagających regularnej interakcji z użytkownikiem.

W ramach podsumowania projektu, należy zweryfikować zgodność naszego układu z wymaganiami ogólnymi zawartymi w pliku projektu.

1. Opis wymagań i kryteria wyboru czujników (elementów) dodatkowych (jeśli trzeba) – każdy element wykorzystany w naszym układzie został dokładnie przeanalizowany pod kątem efektywności, ceny oraz działania aby wybrać te komponenty które w najlepszy sposób spełniały nasze wymagania
2. Ustalenie optymalnego czasu pomiędzy pomiarami – powszechnie w środowisku strażaków uważa się, że każdemu pożarowi można zapobiec, jeżeli wykryje się go w przeciągu 30 sekund. Z tego wniosku pomiar wykonywany jest co 30 sekund jako najoptymalniejszy odstęp między wykonywaniem pomiarów.
3. Wyłączanie zasilania procesora oraz elementów (np. czujników) nie wymagających ciągłego zasilania – w naszym układzie został wyłączony moduł Wi-Fi oraz Bluetooth mikrokontrolera. Wszystkie pozostałe czujniki wprowadzane zostają w tryb uśpienia gdy nie wykonują one żadnego pomiaru. Jest to zastosowane aby zminimalizować pobór prądu przez nasze urządzenie i tym samym zwiększyć jego żywotność.
4. Wykrywanie sytuacji awaryjnych – nasz moduł sprawdza wszelkie parametry na których jest w stanie dokładnie i poprawnie wykryć występowanie pożaru w celu detekcji sytuacji kryzysowych, w których to wybuch pożaru ma miejsce.
5. Prezentowanie na bieżąco wyników pomiarów na wyświetlaczu e-paper – nasz układ posiada wyświetlacz e-paper zintegrowany wraz z czujnikami w jedną spójną całość. Dzięki temu jesteśmy w stanie wyświetlać wszystkie dane pomiarowe zbierane przez nasze czujniki (włącznie ze stanem naładowania baterii) na wyświetlaczu.
6. Czytelne sygnalizowanie wykonywania pomiaru – wykonywanie pomiaru oznajmione jest poprzez dyskretne ale jasno widoczne odświeżanie ekranu inicjalizowane poprzez kilkukrotną zmianę zabarwienia tła.
7. Wykonywanie pomiarów wykonanego układu: pobór prądu, parametry czasowe, parametry pomiaru czujników – nasz układ wyświetla wszystkie wykonywane pomiary, zarówno te z otoczenia jak i samego układu, na wyświetlaczu e-paper które przedstawia użytkownikowi w sposób łatwy i czytelny. Parametry czasowe są stałe a wykonanie pomiaru jest oznaczane wyraźnym mignięciem tła.
8. Działanie z zasilaniem z akumulatora LiPo 3,6/3,7V – nasz układ jest tak skonstruowany, aby w sposób ergonomiczny oraz bezbłędny funkcjonował na zasilaniu z akumulatora LiPo 3,7V o pojemności 3500mAh.

Nasz autonomiczny system wykrywania pożarów na jednym akumulatorze LiPo 3,7V działa trochę ponad 5 dób bez ładowania.

Z podsumowania wynika, że nasz układ spełnia wszelkie założenia i działa jak należy.

13. POMYSŁY NA PRZYSZŁOŚĆ

13.1. ROZWÓJ SPRZĘTOWY

Dodatkowe czujniki:

1. **Czujnik formaldehydu (HCHO)** - do wykrywania szkodliwych związków organicznych
2. **Czujnik CO₂** - do monitorowania jakości powietrza w pomieszczeniach
3. **Czujnik światła** - automatyczne dostosowanie czułości alarmu w zależności od pory dnia
4. **Czujnik ruchu PIR** - aktywacja trybu alarmowego przy wykryciu ruchu
5. **Moduł GPS** - rejestracja lokalizacji zdarzeń (np. dla możliwości tworzenia statystyk)

Ulepszenia istniejących funkcji:

1. **Obudowa urządzenia**- zoptymalizowana pod kątem przepływu powietrza
2. **Zasilanie awaryjne** - superkondensator lub dodatkowa bateria
3. **Optymalizacja poboru mocy** - głębsze stany uśpienia między pomiarami

13.2. ROZWÓJ OPROGRAMOWANIA

Funkcje alarmowe:

1. **Hierarchia alarmów** - różne poziomy zagrożenia
2. **Alarm głosowy z komunikatami** - zamiast prostego sygnału dźwiękowego
3. **Automatyczne powiadomienia** - SMS/e-mail przy wykryciu zagrożenia
4. **Rejestracja zdarzeń** - zapis historii alarmów i odczytów

Integracja z systemami smart home:

1. **Komunikacja WiFi/LoRaWAN** - integracja z platformami IoT
2. **Protokoły MQTT/HTTP** - przesyłanie danych do chmury
3. **Automatyczne uruchamianie wentylacji** - współpraca z systemami HVAC
4. **Integracja z systemem alarmowym** - współpraca z centralą alarmową

13.3. ROZWÓJ INTERFEJSU UŻYTKOWNIKA

Aplikacja mobilna:

1. **Podgląd danych w czasie rzeczywistym**
2. **Historia pomiarów i wykresy**
3. **Konfiguracja progów alarmowych**

4. Powiadomienia push
5. Zdalne testowanie czujki
6. Mapa zagrożeń dla wielu czujek

Interfejs webowy:

1. Panel administracyjny
2. Raporty i analizy
3. Konfiguracja grup czujek
4. Integracja z innymi systemami

13.4. ROZWÓJ SYSTEMOWY

Sieć czujek:

1. **Architektura mesh** - czujki komunikujące się między sobą
2. **Autokonfiguracja** - łatwe dodawanie nowych urządzeń
3. **Geolokalizacja alarmów** - precyzyjne określenie źródła zagrożenia
4. **Algorytmy analizy trendów** - wczesne wykrywanie anomalii

Funkcje społecznościowe:

1. Mapa zagrożeń w skali miasta
2. Powiadomienia dla społeczności lokalnej
3. Integracja ze służbami ratunkowymi

13.5. PROPOZYCJE WDROŻEŃ

13.5.1. WERSJA DOMOWA

- Niskokosztowa czujka z podstawowymi funkcjami
- Integracja z systemami smart home
- Prosta aplikacja mobilna

13.5.2. WERSJA PRZEMYSŁOWA

- Certyfikaty bezpieczeństwa
- Modułowa konstrukcja
- Zaawansowana analiza danych
- Integracja z systemami BMS

13.5.3. WERSJA SPOŁECZNOŚCIOWA

- Sieć czujek w budynkach publicznych

- Otwarte API do integracji
- Platforma analityczna dla władz lokalnych

13.6. PODSUMOWANIE

Proponowane rozszerzenia znacząco zwiększają funkcjonalność podstawowej czujki, przekształcając ją w kompleksowy system monitorowania jakości powietrza i bezpieczeństwa. Kluczowe kierunki rozwoju to:

1. **Rozbudowa funkcji detekcji** - nowe czujniki i lepsze algorytmy
2. **Integracja z ekosystemem IoT** - komunikacja i automatyzacja
3. **Zaawansowana analiza danych** - przewidywanie i zapobieganie zagrożeniom
4. **Przyjazny interfejs użytkownika** - dostępność i łatwość obsługi

Realizacja tych pomysłów pozwoli stworzyć produkt konkurencyjny na rynku rozwiązań smart home i systemów bezpieczeństwa, oferujący unikalną kombinację funkcji detekcji zagrożeń i monitorowania powietrza.

14. BIBLIOGRAFIA

- [1] Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej. Statystyczne podsumowanie 2024 roku, gov, 03.01.2025
<https://www.gov.pl/web/kgpsp/statystyczne-podsumowanie-2024-roku> [dostęp: 08.06.2025]
- [2] Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej. Interwencje strażaków w 2023 roku, gov, 02.01.2024
<https://www.gov.pl/web/kgpsp/interwencje-strazakow-w-2023-roku> [dostęp: 08.06.2025]
- [3] Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej. Statystyczne podsumowanie interwencji strażaków w 2022 roku, gov, 02.01.2023
<https://www.gov.pl/web/kgpsp/interwencje-podsumowanie-2022> [dostęp: 08.06.2025]
- [4] Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej. Stop pożarom traw, gov, 2020
<https://www.gov.pl/web/kppsp-wolsztyn/stop-pozarom-traw> [dostęp: 08.06.2025]
- [5] <https://internationalfireandsafetyjournal.com/causes-of-fire/> [dostęp: 08.06.2025]
- [6] <https://www.cfp.co.uk/what-are-the-common-causes-of-workplace-fires/> [dostęp: 08.06.2025]
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/Fire> [dostęp: 08.06.2025]
- [8] <https://www.usfa.fema.gov/statistics/reports/fire-causes/> [dostęp: 08.06.2025]
- [9] <https://www.gov.pl/web/kppsp-gniezno/pozary---najczestsze-przyczyny-powstania> [dostęp: 08.06.2025]
- [10] Hochiki *Understanding Different Fire Detection Technology and its Application*
<https://www.hochikieurope.com/whitepapers/Applications.pdf> [dostęp: 08.06.2025]
- [11] <https://www.thermocable.com/what-is-linear-heat-detection-and-how-does-it-work/> [dostęp: 08.06.2025]
- [12] <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/auto-2020-0131/html/> [dostęp: 08.06.2025]
- [13] <https://thestrategybridge.org/the-bridge/2020/10/8/autonomous-systems-in-the-combat-environment-the-key-or-the-curse-to-the-us?> [dostęp: 08.06.2025]
- [14] <https://secwww.jhuapl.edu/techdigest/Content/techdigest/pdf/V26-N04/26-04-Watson.pdf> [dostęp: 08.06.2025]
- [15] <https://www.ppoz.pl/czytelnia/ratownictwo-i-ochrona-ludnosci/Pozar-na-wodach-srodladowych/idn%3A2371> [dostęp: 08.06.2025]
- [16] <https://botland.com.pl/czujniki-multifunkcyjne/23393-wielofunkcyjny-czujnik-srodowiskowy-4w1-temperatury-wilgotnosci-cisnienia-i-gazu-bme680-i2c-spi-waveshare-24245.html> [dostęp: 08.06.2025]

- [17] <https://botland.com.pl/czujniki-czystosci-powietrza/4480-czujnik-pylu-stezenia-czastek-monitor-czystosci-powietrza-pm25-gp2y1010au0f-modul-waveshare-10500-5904422374006.html> [dostęp: 08.06.2025]
- [18] <https://botland.com.pl/czujniki-gazow/20379-fermion-czujnik-czadu-alkoholu-i-lotnych-zwiazkow-organicznych-mics-5524-mems-dfrobot-sen0440-6959420920600.html> [dostęp: 08.06.2025]
- [19] <https://botland.com.pl/cyfrowe-czujniki-temperatury/165-czujnik-temperatury-ds18b20-cyfrowy-1-wire-tht-5904422366513.html> [dostęp: 08.06.2025]
- [20] https://botland.com.pl/produkty-wycofane/3833-akumulator-li-pol-3700mah-37v.html?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTEAAR45HDOhti2SZyDNtHuMCMfcvLEJzkm94SJE6lbsEw8LyJ3RgtdcrlDBiboEgA_aem_S-wRQ3-rQ3N5EFy7Xi2X0w [dostęp: 08.06.2025]
- [21] <https://kamami.pl/wyswietlacze-e-papier/584088-pico-epaper-213-modul-z-wyswietlaczem-e-paper-213-250x122-dla-raspberry-pi-pico-5906623425327.html> [dostęp: 08.06.2025]
- [22] <https://regiodom.pl/czujniki-dymu-i-czujniki-temperatury-dla-bezpieczenstwa/ar/c9-15542434> [dostęp: 08.06.2025]
- [23] <https://airmech.pl/produkty/bezpieczenstwo/marzynistyczne-czujniki-dymu/> [dostęp: 08.06.2025]
- [24] https://www.mediaexpert.pl/lp,czujniki-w-supercenach?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwzMi_BhACEiwAX4YZUCiTSWf8onnkI5astWbYyaGGv7pIBcGQoy_HMEZtPNfZLM_aiR8-9RoCmVUQAvD_BwE [dostęp: 08.06.2025]
- [25] <https://czujniki.co/13-czujniki-dymu/> [dostęp: 08.06.2025]
- [26] <https://www.crowcon.com/pl/article/what-is-a-flame-detector-and-how-does-it-work/>
- [27] <https://benetech.eu/product/czujnik-czadu-jkd-512com> [dostęp: 08.06.2025]
- [28] <https://ajax.systems/products/specs/fireprotect-plus-jeweller> [dostęp: 08.06.2025]
- [29] World Health Organization - „WHO global air quality guidelines”, 22.09.2021 [dostęp: 08.06.2025]
- [30] <https://iaqscience.lbl.gov/wildfires> [dostęp: 08.06.2025]
- [31] <https://www.warta.pl/korpo/arttykul/czy-272-pozary-dziennie-to-duzo/> [dostęp: 08.06.2025]
- [32] <https://www.nordicsemi.com/Products/Development-tools/nrf-connect-for-desktop> [dostęp: 08.06.2025]

15. SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1.1. Liczba pożarów w 2024 r. – podział na kategorie. [opracowanie własne].....	7
Rys. 1.2. Liczba pożarów w 2023 r. – podział na kategorie. [opracowanie własne].....	9
Rys. 1.3. Pożary w 2022 roku. [źródło: https://www.gov.pl/web/kgpsp/interwencje-podsumowanie-2022]	10
Rys. 3.1. Persona nr 1 – Bogumiła Schmitt. [opracowanie własne]	19
Rys. 3.2. Persona nr 2 – Krystyna Bąk. [opracowanie własne]	20
Rys. 3.3. Persona nr 3 – Bartek Ptak. [opracowanie własne]	21
Rys. 9.1. Akumulator Li-Pol 3500 mAh. [opracowanie własne]	31
Rys. 9.2. Pomiary oscyloskopowe napięcia. [opracowanie własne]	39
Rys. 9.3. Luty goldpinów do ładowarki. [opracowanie własne]	40
Rys. 9.4. Schemat przełącznika tranzystorowego. [opracowanie własne]	41
Rys. 9.5. Złącze bramka – źródło. [opracowanie własne]	42
Rys. 9.6. Układ przy wyłączonym przełączniku. [opracowanie własne]	43
Rys. 9.7. Układ przy wejściu czujnika w stan uśpienia. [opracowanie własne]	44
Rys. 9.8. Podłączany czujnik płomienia do testowania. [opracowanie własne]	45
Rys. 9.9. Testowanie czujnika płomienia blisko zapalniczki (ok. 5 cm). [opracowanie własne]	46
Rys. 9.10. Testowanie czujnika płomienia bez zapalniczki. [opracowanie własne]	47
Rys. 9.11. Testowanie czujnika płomienia w odległości ok. 35 cm od zapalniczki. [opracowanie własne]	48
Rys. 9.12. Czujnik płomienia zwrócony w kierunku okna – testowanie. [opracowanie własne]	49
Rys. 9.13. Wyniki pomiarów poboru prądu. [opracowanie własne]	50
Rys. 9.14. Powiększony odcinek pomiaru poboru prądu. [opracowanie własne]	51
Rys. 9.15. Układ z podłączonymi wszystkimi czujnikami i modułami. [opracowanie własne]	53
Rys. 11.1. Wyświetlanie mierzonych wartości na ePaperze. [opracowanie własne]	59
Rys. 11.2. Dodana wartość naładowania baterii na ePaperze. [opracowanie własne]	60
Rys. 11.3. Bateria naładowana na 100%. [opracowanie własne]	61
Rys. 11.4. Wyniki testowania całego układu ze świecą. [opracowanie własne]	62
Rys. 11.5. Wartości zwracane w normalnych warunkach. [opracowanie własne]	63
Rys. 11.6. Wartości zwracane przy wydzielających się cząsteczek z kuchni sąsiadów. [opracowanie własne]	64

16. SPIS TABEL

Tab. 1.1. Zastosowania autonomicznych systemów. [opracowanie własne]	16
Tab. 9.1. Podsumowanie czujników. [opracowanie własne]	33
Tab. 9.2. Inne rozważane czujniki dymu/pyłu/gazu. [opracowanie własne]	34
Tab. 9.3. Sprawdzenie czy PMS5003 i BME680 wystarczą. [opracowanie własne]	34
Tab. 9.4. Opcjonalne dodatkowe czujniki. [opracowanie własne]	35
Tab. 9.5. Porównanie czujnika GP2Y1010AU0F z konkurencyjnym MAX30105. [opracowanie własne]	35
Tab. 9.6. Porównanie czujników gazów. [opracowanie własne]	36
Tab. 9.7. Porównanie czujnika MiCS-5524 z czujnikami serii MQ. [opracowanie własne]	36
Tab. 9.8. Czas, po którym włącza się alarm po przekroczeniu określonego stężenia CO dla urządzenia FireProtect Plus Jeweller. [opracowanie własne]	37
Tab. 9.9. Pomiary średniego poboru prądu poszczególnych komponentów.....	51